



IST AKPRIND

INSTITUT SAINS & TEKNOLOGI AKPRIND
Y O G Y A K A R T A

Guiding You to a Bright Future

ISSN: 1979-911X



SEMINAR NASIONAL APLIKASI SAINS DAN TEKNOLOGI

PROSIDING

TEMA :

**Membangun Daya Saing Bangsa
Dengan Kemandirian Sains dan Teknologi**

Sabtu, 15 November 2014
Kampus IST AKPRIND Yogyakarta

PROSIDING

C

SEMINAR NASIONAL
APLIKASI SAINS & TEKNOLOGI (SNAST)
2014

Yogyakarta, 15 November 2014

Diselenggarakan oleh:
INSTITUT SAINS & TEKNOLOGI AKPRIND
YOGYAKARTA

ORGANISASI

Pelindung Pengarah	Dr. Ir. Sudarsono, M.T Ir. Saiful Huda, M.T Dra. Naniek Widyastuti, M.T Ir. Miftahussalam, M.T Muhammad Sholeh, S.T, M.T Hadi Prasetya Susena, S.T, M.Si Ir. Dwi Indah Purnamawati, M.Si	
Penanggung Jawab Ketua Pelaksana Wakil Ketua Sekretaris	Muhammad Sholeh, S.T,M.T Dr. Ir. Amir Hamzah, M.T Ir. Joko Waluyo, M.T Syafriudin, S.T, M.T Fivry Wellda Maulana,S.T,M.T A.A. Putu Susastriawan, S.T, M.Tech	
Komite Pelaksana	Ir.Joko Susetyo, M.T Endang Widuri Asih, S.T, M.T M. Andang Novianta, S.T, M.T Sri Rahayu Gusmarwani, S.T, M.T Catur Iswahyudi, S.Kom,S.E, M.Cs Bambang Kusmartono, S.T, M.T Subandi, S.T,M.T Agoes Duniawan, S.T,M.T Ir. Hari Wibowo, M.T Suwanto Raharjo, S.Si, M.Kom Slamet Hani, S.T, M.T Dr. Ir. Hj. Titin Isna Oesman, MM Dwi Setya Wahyudi, S.T Uning lestari, S.T, M.Kom Ir.Muhammad Suyanto, M.T Ani Purwanti, S.T, M.Eng Beni Firman, S.T, M.Eng Maria Titah, S.T, M.Cs Arie Noor Rakhman, S.T, M.T	Rr. Yuliana Rachmawati K, M.T Sri Hastutiningrum, S.T, M.Si C. Indri Parwati, S.T, M.T Ir. Prastyono Eko Pambudi, M.T Emmy Setyaningsih, S.Si, M.Kom Mujiman, S.T, M.T Siti Saudah, S.Pd, M.Hum Dra. Arifah Budhyati M.Z Purnawan, S.T, M.Eng Ir. Muhammad Yusuf, M.T Retno Isnewayanti, SIP Ir. Adi Purwanto, MT Ir. Gatot Santosa, MT Joko Triyono, S.Kom, M.Cs Aji Pranoto, S.Pd, M.Pd Dra. Meilina Muharni Sigit Hernowo, S.E Teddy Kurniawan, S.Kom Miftah Farid, A.Md
Reviewer	Prof. Dr. Soebanar Prof. Dr. Indarto Prof. Adhi Susanto, M.Sc, Ph.D Prof. Dr. Ing.Ir. Iping Supriana, DEA Prof. Dr. Udi subakti Prof. Ir. Sukandarrumidi,M.Cs, Ph.D Prof. Dr. S. Djalal Tanjung M Dr. Ir. Abdul Kadir, M.T Dr. Ratna Wardani, S.Si, M.T Sukamta, Ph.D Ir. Ganjar Andaka, Ph.D Dr. Sri Mulyaningsih Dr. Muchlis, M.Sc Dr. Ir. Hj. Titin Isna Oesman	UGM UGM UGM ITB ITS IST AKPRIND IST AKPRIND UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA UNY IST AKPRIND IST AKPRIND IST AKPRIND IST AKPRIND IST AKPRIND

Sekretariat:

Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta

Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan Yogyakarta

Telp. 0274 563029, Fax. 0274 563827

Website: snast.akprind.ac.id, Email : snast@akprind.ac.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur marilah kita panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karuniaNya, sehingga pada hari ini, Sabtu 15 Nopember 2014 kita dapat berkumpul dan berpartisipasi untuk mengikuti Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST 2014) dengan tema “*Membangun Daya Saing Bangsa dengan Kemandirian dan Teknologi*” di Auditorium Kampus Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

Seminar ini merupakan agenda dua tahunan Institut sebagai upaya merealisasikan salah satu misi Institut pengembangan teknologi melalui aplikasi hasil-hasil penelitian sains dan teknologi. Penyelenggaraan SNAST 2014, merupakan kelanjutan dari SNAST2012, SNAST 2010, dan SNAST 2008 yang bertujuan mendorong para dosen dan peneliti untuk meningkatkan peran Sains dan Teknologi untuk membangun daya saing dan kemandirian bangsa.

Di era globalisasi di segala bidang ini, dunia bergerak cepat menuju masyarakat berbasis sains (*science-based society*), bisnis yang berbasis pada ilmu pengetahuan (*knowledge-based bussiness enterprises*), dan terwujudnya suatu budaya baru berbasis iptek. Oleh karena itu membangun masyarakat berbasis pengetahuan (*knowledge-based society*) sangat diperlukan dalam mendorong terciptanya kemampuan dan kemandirian teknologi suatu bangsa, yang pada gilirannya akan mendorong dan meningkatkan daya saing bangsa. Kita tentu menyadari bahwa ketergantungan teknologi bangsa kita masih sangat tinggi, demikian juga kemandirian bangsa kita di berbagai bidang masih sangat rendah. Untuk itu, sebagai institusi yang bergerak di bidang pendidikan sains dan teknologi, IST AKPRIND merasa ikut bertanggung jawab untuk ikut berkontribusi dalam membangun kemandirian bangsa melalui pengembangan sains dan teknologi di tengah masyarakat.

Seminar ini diikuti oleh 155 makalah yang layak diterbitkan dalam Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi 2014 (ISSN1979-911X). Makalah-makalah tersebut terbagi dalam beberapa bidang antar lain bidang komputer/informatika 58 makalah, bidang mesin/industri 48 makalah, bidang elektro 27 makalah dan yang lain-lain 22 makalah. Harapan kami, semoga seminar ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, dan dapat menghasilkan pemikiran yang dapat disumbangkan secara nyata demi kemajuan sains dan teknologi.

Pada kesempatan ini Panitia mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat Bapak Prof.Dr.Ir. Johny Wahyuadi M. Soedarsono, DEA dan Bapak Dr.Ir. Tumiran, M.Eng sebagai pembicara utama seminar ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada tim reviewer, tim editor, pemakalah dan peserta seminar, seluruh panitia dan Pimpinan Institut, serta semua pihak yang turut serta berpartisipasi aktif dalam pelaksanaan seminar ini.

Panitia telah berusaha semaksimal mungkin agar seminar ini dapat terselenggara dengan sebaik-baiknya, namun kami menyadari tentu masih banyak kekurangan. Untuk itu, kami mohon maaf atas segala kekurangan tersebut, kritik dan saran sangat kami harapkan demi perbaikan Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi pada masa mendatang.

Yogyakarta, 15 November 2014
Ketua Pelaksana



Dr.Ir.Amir Hamzah, M.T

SAMBUTAN REKTOR INSTITUT SAINS & TEKNOLOGI AKPRIND

Pada Acara Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2014

Sabtu, 15 November 2014

***Bismillahirrahmanirrahim., Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh.
Selamat Pagi dan Salam Sejahtera.***

Yang terhormat Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta, atau yang mewakili,
Yang terhormat Koordinator Kopertis Wilayah V DIY, atau yang mewakili,
Yang terhormat Ketua APTISI Daerah Istimewa Yogyakarta, atau yang mewakili,
Yang terhormat Keynote Speaker dan Invited Speaker,
Yang terhormat Pengurus Pleno Yayasan Pembina Potensi Pembangunan,
Yang saya hormati segenap Pejabat dan dosen di lingkungan IST AKPRIND Yogyakarta, serta peserta seminar dan Tamu Undangan.

Puji dan syukur marilah kita panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Kuasa, karena hanya atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya yang tiada terhingga, hari ini kita dapat hadir bersama-sama untuk mengikuti seminar nasional di Auditorium Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

Hadirin yang saya hormati.

Perguruan tinggi selalu menjadi kawah candradimuka bagi setiap perkembangan sains dan teknologi. Keajaiban sains dan teknologi modern, dalam banyak hal lahir dari pergulatan para akademisi dan ilmuwan di perguruan tinggi. Riset di perguruan tinggi selalu membawa misi, bahwa ilmu pengetahuan seyogyanya dapat diakses oleh sebanyak mungkin orang, dan beserta itu membawa kebaikan bagi mereka.

Unsur yang sangat menentukan daya saing bangsa adalah kualitas sumber daya manusia (SDM) serta ilmu pengetahuan (IPTEK). Kalau globalisasi dianggap sebagai suatu perlombaan, maka yang diperlombakan sebenarnya adalah kualitas SDM dan penguasaan IPTEK. Sekarang kita sedang menuju ke arah dunia yang dinamis, yang ditandai oleh "*brainpower industries and synthesized comparative advantage*". Oleh karena itu, kedua hal itu harus diberikan prioritas yang tinggi. SDM yang berkualitas adalah yang bersikap maju dan berpikir modern, yang produktif dan profesional. Pada SDM yang demikian itulah kita membangun IPTEK karena kemampuan IPTEK bukan hanya tercermin dari peralatan yang dimiliki, melainkan kemampuan kreatif dan inovatif dari manusianya.

Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi yang diselenggarakan oleh Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta bertujuan untuk mendiseminasikan pengetahuan sains dan teknologi, serta hasil karya ilmiah agar tercipta komunikasi antar masyarakat akademisi, praktisi industri, perencana, dan peneliti yang mengangkat persoalan-persoalan nyata di bidang sains dan teknologi, baik dari segi aplikasi, perkembangan, pengaruh serta penanggulangannya di dunia industri yang semakin kompetitif.

Hadirin, peserta seminar dan tamu undangan yang saya hormati.

Ketika dunia memasuki millenium ketiga, semua bangsa maju sepakat untuk menyatakan bahwa penguasaan Iptek merupakan prasyarat dalam meraih kemakmuran. Teknologi, dalam kancah perekonomian global sudah dianggap sebagai investasi dominan dalam pembangunan ekonomi. Kekayaan sumber daya alam bukan lagi penentu keberhasilan ekonomi suatu bangsa. Oleh karena itu, membangun masyarakat berbasis pengetahuan (*knowledge-based society*) sangat diperlukan dalam mendorong terciptanya kemampuan teknologi suatu bangsa.

Tersedianya SDM yang menguasai iptek dalam jumlah, mutu dan memiliki daya beli yang memadai hasil dari lembaga-lembaga pendidikan akan mendorong tumbuhnya lembaga, dunia dan industri berbasis ilmu pengetahuan yang dapat menyerap tenaga kerja produktif, yang dapat menghaikan barang, jasa dan produk-produk yang berdaya saing tinggi. Asumsinya adalah untuk

mendapatkan tenaga kerja yang berkualitas harus dilihat dari kualitas sistem pendidikan yang ada di suatu negara. Artinya, jika suatu negara memiliki sistem pendidikan yang baik, maka sistem itu akan mampu melahirkan tenaga kerja yang baik. Mengapa kita harus menumbuhkan kreativitas dan inovasi dalam meningkatkan mutu pendidikan, karena pendidikan itu merupakan masalah bangsa. Jika lulusan tak bermutu maka selain waktu dan biaya yang terbuang, maka SDM juga tidak akan mampu bersaing. Disinilah diperlukan adanya kepedulian yang tinggi terhadap *Quality control* dan *Quality assurance*.

Hadirin yang saya muliakan.

Upaya untuk meningkatkan daya saing Indonesia di berbagai bidang, tidak cukup semata-mata menjadi tanggung jawab pemerintah, meskipun tentu saja pemerintah harus menjadi motor dalam upaya ini. Sesuai dengan konsep *good governance*, setidaknya ada dua pilar lain yang harus terlibat dalam upaya ini yaitu swasta dan *civil society*. Bahkan, lebih jauh upaya meningkatkan daya saing bangsa ini merupakan tugas dan tanggung jawab semua komponen anak bangsa ini. Upaya peningkatan daya saing bangsa ini penting bukan semata-mata untuk meningkatkan peringkat atau martabat kita dalam pergaulan internasional, melainkan juga untuk mengemban amanah memakmurkan negeri dengan cara mengelola semua potensi bangsa ini secara optimal.

Daya saing bangsa dapat dibangun dengan baik bila ditopang perguruan tinggi yang bagus dan kuat, yang mampu melahirkan orang terdidik, mahir, dan berkeahlian. Dalam konteks globalisasi, pendidikan tinggi memainkan peran sentral dalam membangun masyarakat berpengetahuan, tercermin pada munculnya lapisan kelas menengah terdidik dan kaum profesional yang menjadi kekuatan penentu kemajuan ekonomi.

Institut Sains & Teknologi AKPRIND sebagai perguruan tinggi bidang sains & teknologi memiliki peran dan posisi yang strategis, antara lain dalam menyebarluaskan informasi hasil-hasil penelitian melalui berbagai media, yang tujuan akhirnya dapat diketahui oleh semua pihak dan dengan harapan dapat meningkatkan daya guna atau penggunaan hasil-hasil penelitian.

Melalui seminar ini diharapkan pula dapat dijalin kerjasama yang sinergis antara Perguruan Tinggi dengan industri serta pemerintah untuk meningkatkan pemanfaatan hasil penelitian yang dilaksanakan di Perguruan Tinggi dalam rangka membangun daya saing bangsa yang mandiri. Atas dasar itulah, Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) yang pada tahun 2014 mengambil tema "**Membangun Daya Saing Bangsa Dengan Kemandirian Sains dan Teknologi**".

Sebagai penutup sambutan saya,

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M. Sudarsono, DEA (Guru Besar Departemen Metalurgi & Material Universitas Indonesia) atas kesediaan sebagai keynote speaker. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Dr. Ir. Tumiran, M.Eng (Anggota Dewan Energi Nasional) atas kesediaan menjadi pembicara utama dalam seminar ini.

Kepada seluruh panitia yang terlibat, saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang tulus atas dedikasi, profesionalisme, loyalitas dan kerja keras dalam mempersiapkan acara ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh pihak dan sponsor yang telah membantu sehingga acara ini dapat terselenggara dengan baik.

Kepada seluruh hadirin dan tamu undangan, saya ucapkan selamat mengikuti seminar. Semoga kita dapat mengambil manfaat dan ilmu dari kegiatan ini.

Sekian, terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 15 Nopember 2014

Rektor,



Dr. Ir. Sudarsono, M.T

NIK. 88 0255 359 E

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Susunan Organisasi	ii
Kata Pengantar	iii
Sambutan Rektor IST AKPRIND	iv
Daftar Isi	vi

BIDANG ELEKTRO

1	Fungsi Minyak Isolasi Pada Transformator Yang Berkapasitas Besar <i>H. Sabari, H. Suhardi</i>	C-1
2	Monitoring Vibrasi Rotating Equipment Di Industri Dengan Menggunakan Wirelesshart <i>Nandang Taryana</i>	C-7
3	Analisa Throughput Pada Sistem Cdma Yang Mendukung Layanan Multimedia Dengan Kontrol Daya Tidak Sempurna <i>Gatot Santoso</i>	C-13
4	Desain Sistem Kendali Mesin Pcb Milling Berbasis Image Processing <i>Slamet Budiprayitno, Eko Setijadi, Septian Dwi Chandra, Angga Rian Pranaka</i>	C-23
5	Korelasi Suhu Dan Intensitas Cahaya Terhadap Daya Pada Solar Cell <i>Subandi, Slamet Hani</i>	C-31
6.	Karakteristik Kabel Jenis Nyfgby Terhadap Pengujian Tegangan Tembus <i>Slamet Hani</i>	C-41
7.	Karakteristik Pengujian Minyak Nabati Sebagai Alternatif Isolasi Pengganti Minyak Transformator Distribusi 20 Kv <i>Muhammad Suyanto</i>	C-51
8	Sistem Pengamatan Dan Pengendalian Kualitas Air Jarak Jauh <i>Pius Yozy Merucahyo, Martanto, B.Wuri Harini dan Antonius Tri Priantoro</i>	C-57
9	Analisa Dan Perencanaan Fiber To The Home (Ftth) Pada Survey Homepass Sto Solo Di Area Klaten Selatan <i>Alfin Hikmaturokhman, Defitri</i>	C-63
10	Pengaruh Ukuran Kapasitor Terhadap Karakteristik Keluaran Generator Induksi 1 Fase <i>Agus Supardi, Dedi Ary Prasetya, Joko Susilo</i>	C-71
11	Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Pelanggan Rumah Tangga Kapasitas Kontrak Daya 450 Va <i>Sudirman Palaloi</i>	C-79
12	Aplikasi Rancang Bangun Alat Penetes Penggumpal Getah Karet Secara Otomatis <i>Untung Priyanto, Fauzie B, Noor S</i>	C-89
13	Identifikasi Jumlah Citra Nener Menggunakan Metode Blob <i>Ruly Sutrisno Sinukun, Stevanus Hardi, Mauridhi Hery Purnomo</i>	C-99
14	Analisis Potensi Penghematan Energi Pada Boiler Di Pabrik Tekstil <i>Sudirman Palaloi</i>	C-105
15	Analisis <i>Insertion Loss</i> Untuk Filter Daya Berbasis <i>Electromagnetic Compatibility</i> <i>E Kurniawan, Ngapuli I. S., Darwanto D., D Hamdani, P Wibawa</i>	C-115

- 16 *High-Speed Analog To Digital Converter: Studi Dan Pengukuran* C-123
Arief Suryadi Satyawan, Dayat Kurniawan
- 17 Desain Sepeda Statis Dengan Generator Magnet Permanen Sebagai Penghasil C-131
Energi Listrik Yang Ramah Lingkungan
Hasyim Asy'ari, Muhammad Alfatih Hendrawan, Muhammad Wasi Al Hakim
- 18 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Matahari Dengan Penjejak Panas Berbasis Mesin C-137
Stirling
Syafriyudin, A.A. Putu.Susatriawan
- 19 Respon Pose Robot Berbasis Emosi Wajah 2D Menggunakan Metode Naive Bayes C-143
Fajar Hermawanto, Surya Sumpeno, Mauridhi Hery Purnomo
- 20 Sistem Penangkal Petir Pada Instalasi Vital Atau Gedung Bertingkat Di Pt. Telkom C-149
Tegal
G.Suprijono, M.Tohar
- 21 Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Saluran 20 KV Di PT. PLN (Persero) APJ C-159
Yogyakarta
Mujiman, Tukino
- 22 Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis Akibat Adanya Beban Lebih C-165
Wahyu K. Raharja, Any K. Yapie, Firdaus O. Utama
- 23 Analisis Perbaikan Tegangan Pada Subsistem Dengan Pemasangan Kapasitor Bank C-171
Dengan ETAP Versi 7.0
Wiwik Handajadi
- 24 Kendali Jarak Jauh Lewat Telepon Berbasis Mikrokontroler AT89C51 C-179
Irawadi Buyung, Made Dedyk Partana
- 25 Rancang Bangun Kontrol Tekanan Eksponensial Ruang Evaporasi Mesin Destilasi C-187
Minyak Atsiri Daun Cengkih
Yulianto, Diah Meilany, Bambang Priyadi
- 26 Pengukur Kadar Air Pada Kayu Olahan Dengan Piranti Berbasis Mikrokontroler C-195
AT89C51
Sigit Priyambodo, Andrea Albert Kotten

BIDANG KIMIA

- 27 Aplikasi Simultaneous Detoxification-Fermentation Untuk Berbagai Bahan C-205
Lignoselulosa
Sri Rahayu Gusmarwani, Endang Widuri Asih Ganjar Andaka
- 28 Adsorpsi Logam Berat Timbal Dan Kadmium Pada Limbah Batik Menggunakan C-211
Biosorbent Pulpa Kopi Terxanthasi
Indah Riwayati, Indah Hartati, Helmy Purwanto, Suwardiyono
- 29 Pengaruh Suhu Dan Perbandingan Katalis Zeolit Terhadap Karakteristik Produk C-217
Pirólisis Kayu Jati (*Tectona Grandist Lf*)
Emi Erawati, Wahyudi Budi Sediawan, Eni Budiayati, Wawan Kurnia
- 30 Karakterisasi Minyak Pupa Sutera Sebagai Alternatif Bahan Baku C-225
Pembuatan Surfaktan "Biodegradable"
Ery Fatarina Purwaningtyas, Mega Kasmiyatun, MF. Sri Mulyaningsih
- 31 Pengambilan Lipid Dari Mikroalga Basah Dengan Cara Ekstraksi Dalam Autoklaf. C-231
Ani Purwanti

- 32 Aplikasi *Low Methoxyl Pectin* (LMP) Kulit Pisang Sebagai Biosorben Logam Kadmium. C-239
Laeli Kurniasari, Indah Hartati, Nur Satik
- 33 Influence of Temperature to Bio-Oil Yield from Organic Waste Pyrolysis Process C-245
Sukarjo, H., Cahyono, M.S., Wardoyo
- 34 Pengaruh Jenis Non-Pelarut dan Penambahan Polimer Hidrofilik Terhadap Struktur Morphologi Membran Polietersulfon C-249
Nasrul Arahman

BIDANG MATEMATIKA

- 35 Segmentasi Pelanggan PLN Menggunakan Fuzzy Klustering Short Time Series C-253
Maria Titah Jatipaningrum
- 36 Visualisasi Graf Dan Algoritma-Algoritma Dalam Teori Graf Menggunakan Beberapa Paket *Software* C-259
Yudi Setyawan
- 37 Package Plgun-In R Untuk Pemetaan Autokorelasi Spasial Pada Kualitas Air C-269
Heruna Tanty, Rokhana Dwi Bakti, Edy Irwansyah
- 38 Aplikasi Metode K-Nearest Neighbor Dan Analisis Diskriminan Untuk Analisis Resiko Kredit Pada Koperasi Simpan Pinjam Di Kopinkra Sumber Rejeki C-275
Ririn Dwi Jayanti, Noeryanti
- 39 Estimasi Penyesuaian Likuiditas Terhadap Value At Risk Dengan Metode Varian Kovarian C-285
Noviana Pratiwi

BIDANG LINGKUNGAN

- 40 Pemakaian Biodiesel Pada Transportasi Dan Industri Mengurangi Dampak Emisinya Terhadap Lingkungan C-293
Agung Wijono
- 41 Pengaruh Susunan Bahan Terhadap Waktu Pengomposan Sampah Pasar Pada Komposter Beraerasi C-301
TA. Bambang Irawan, Padmawati M.
- 42 Adsorpsi Radionuklida Co-60 Dan Sr-90 Dengan Hasil Imobilisasi Bentonit-Asam Humat C-307
Hadi Prasetyo Suseno
- 43 Pemeriksaan Bakteriologis Air Minum Dari Depot Air Minum Isi Ulang C-315
Yuli Pratiwi
- 44 Pembuatan Pulp Dari Serat Aren (*Arenga Pinnata*) Dengan Proses Nitrat Soda C-323
Purnawan, Cyrilla Indri Parwati

BIDANG GEOLOGI

- 45 Pendugaan Zona Mineralisasi Galena (PbS) Di Daerah Mekar Jaya, Sukabumi C-331
Menggunakan Metode Induksi Polarisasi (IP)
Sapto Heru Yuwanto
- 46 Analisis Pengaruh Metode Pencucian Bijih Bauksit Dan Pengendapan Bauksit C-337
Terhadap Kandungan Silika Reaktif Di Kabupaten Landak, Kalimantan Barat
Ichsan Marta, Syafrizal, Irwan Iskandar
- 47 Ada Apa Dengan Wilayah Bentang Alam Karst? C-347
Sukandarrumidi, Fivry Wellda Maulana
- 48 Selektifitas Pelindian Reduktif Bijih Mangan Nusa Tenggara Timur Dengan C-355
Menggunakan Molases Sebagai Reduktor Dalam Suasana Asam
Slamet Sumardi, Mohammad Zaki Mubarak, Nuryadi Saleh
- 49 Analisis Geokimia Mineral Logam Dari *Stream Sediment* Dan Batuan Alterasi C-361
Daerah Wonotirto Dan Sekitarnya, Kecamatan Wonotirto, Kabupaten Blitar
Propinsi Jawa Timur
Ferdinandus Wunda, Miftahussalam
- 50 Karakteristik Sifat Fisik Kembang Susut Lumpur Sidoarjo Dan Implikasinya C-367
Terhadap Potensi Bencana Amblesan Berikut Mitigasinya Di Kecamatan Porong
Dan Sekitarnya, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur
Arie Noor Rakhman

FUNGSI MINYAK ISOLASI PADA TRANSFORMATOR YANG BERKAPASITAS BESAR

H. Sabari¹, H. Suhardi²

^{1,2}Program Studi T. Elektro, Politeknik Harapan Bersama Tegal
E-mail : hajisabari@gmail.com, suhardith@gmail.com

ABSTRACT

As we understand, together, that electricity is a vital requirement for human life. Therefore the electricity needs for the Indonesian nation must always be available. It is engaged by the Indonesian state to supply electrical energy are PT. PLN (Persero). To support the supply of electric power, especially in urban areas then equipments- listrik equipment in PT. PLN should always be in good condition and primed. One of the electrical equipment that must be maintained in good condition and is a prime transformers and transformers power distribution commonly called a large-capacity transformer, the transformer which serves to change from high voltage (150 kV) into a medium voltage (20 kV). Then in the middle of the voltage change to low voltage (380 V) for subsequent use in consumer households and so on. So to maintain the reliability of the transformer which must be guarded one of which is the insulating oil in the transformer. Oil isolation serves to cool the primary and secondary windings of wire that is on the transformer and also serves to isolate the entanglement between the primary and secondary windings and also between the transformer body. So in this paper we give the title: FUNCTION IN ISOLATION TRANSFORMER OIL CAPACITY THAT BIG.

Keywords: transformer insulating oil as a coolant

PENDAHULUAN

Transformator adalah merupakan alat yang berfungsi untuk memindahkan Energi listrik dari sisi primer ke sisi sekunder melalui induksi magnet. Adapun cara pemindahannya yaitu melalui belitan primer dan belitan sekunder. Jika transformator tersebut berkapasitas kecil maka permasalahan panas yang ditimbulkan oleh karena aliran listrik tidak menjadi masalah. Tetapi jika transformator tersebut berkapasitas besar maka panas yang ditimbulkan akan menjadi masalah utama, sebab panas tersebut dapat merusak lapisan email dari kawat belitan yang dipakai pada transformator. Untuk mengatasi hal tersebut maka belitan tersebut harus di dinginkan dengan di rendam memakai minyak isolasi atau yang dikenal dengan minyak transformator.

Penulis melaksanakan studi kasus pada pemeliharaan transformator tenaga yang berkapasitas 60 MVA di Gardu Induk 150 KV Kebasen Tegal yang dilaksanakan pada tanggal 18 Juni 2014. Lokasi Gardu Induk Kebasen terletak kurang lebih 5km dari pusat Kota Tegal. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas minyak trafo yang dipakai pada transformator tenaga yang berkapasitas 60 MVA di Gardu Induk 150 KV Kebasen Tegal. Tujuan lainnya adalah untuk menentukan apakah minyak pada transformator yang telah dipelihara masih layak dipakai atau tidak.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi penelitian lapangan, studi pustaka dan analisis. Penelitian lapangan meliputi : pengambilan contoh minyak, pengukuran tegangan tembus minyak trafo, dan warna minyak trafo.

Pada transformator terdapat dua kumparan yaitu kumparan primer, dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan ditentukan oleh rasio jumlah lilitan pada masing-masing kumparan. Tegangan masuk disebut tegangan primer sedangkan tegangan keluaran disebut tegangan sekunder. Perbandingan tegangan primer dibanding sekunder sama dengan perbandingan kumparan primer dibanding kumparan sekunder. Kedua kumparan tergabung secara magnetik di dalam inti, tetapi kedua kumparan tersebut tidak tergabung secara elektrik.

Arus bolak – balik dapat ditransformasikan dengan cara tersebut di atas, karena mempunyai perubahan fluks magnetik yang selalu berubah.

Pada arus searah transformasi secara diatas tidak bisa karena pada arus searah fluks magnetiknya tetap dimana fluks magnetik tetap tidak akan menghasilkan gaya gerak listrik. Cara mentransformasikan arus searah yaitu dengan jalan memotong-motong arus searah tersebut agar berfrekuensi atau membuat inverter. Cara tersebut dalam penulisan laporan ini tidak dibahas karena penulis hanya membahas transformator dan minyak isolasi. Gambar dibawah ini adalah gambar transformator secara umum dimana konstruksi transformator tersebut secara umum dibedakan menjadi dua bagian yaitu konstruksi transformator tipe inti, dan konstruksi transformator tipe cangkang.

Konstruksi inti yaitu tempat kedudukan kawat-kawat kumparan berada di sisi luar baik kumparan primer maupun kumparan sekundernya. Sedangkan pada tipe cangkang, tempat kedudukan kawat kumparan berada ditengah sehingga posisi kumparan dikelilingi oleh kern.

Jenis – jenis transformator dapat dibagi menjadi beberapa macam dimana sangat tergantung dari beberapa faktor yang membedakannya. Dari jenis-jenis tersebut dapat dibagi menjadi :

- a. Jenis fasa tegangan
- b. Perbandingan transformasi
- c. Pendinginan transformator
- d. Letak kumparan terhadap inti
- e. Konstruksi inti transformator
- f. Kegunaan

Setiap transformasi selalu mempunyai jumlah lilitan tertentu setiap voltnya. Jumlah lilitan per voltnya sangat ditentukan oleh luas inti kern. Sedangkan yang dimaksud dengan perbandingan transformasi ialah perbandingan banyaknya lilitan primer dengan lilitan sekunder.

- a. Lilitan primer biasanya digunakan untuk input atau masukan tegangan-tegangan sedangkan lilitan sekunder adalah hasil transformasi dari lilitan sekunder.

- b. Perbandingan transformasi ini biasa ditulis dengan rumus yang sangat umum yaitu :

$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{E_p}{E_s}$$

a=Hasil perbandingan

N_p =Banyaknya lilitan primer

N_s =Banyaknya lilitan sekunder

E_p =Tegangan primer (volt)

E_s =Tegangan sekunder (volt)

- c. Hasil perbandingan bisa untuk indikator bila :
a > 1 berarti transformator penurun tegangan
a < 1 berarti transformator penaik tegangan

Sesuai dengan penjelasan diatas, maka sebuah transformator tenaga berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi menengah 20kV ke tegangan distribusi 220/380V sehingga dengan demikian, peralatan utamanya adalah unit Minyak Transformator itu sendiri, antara lain:

1. Inti Besi/Kernel

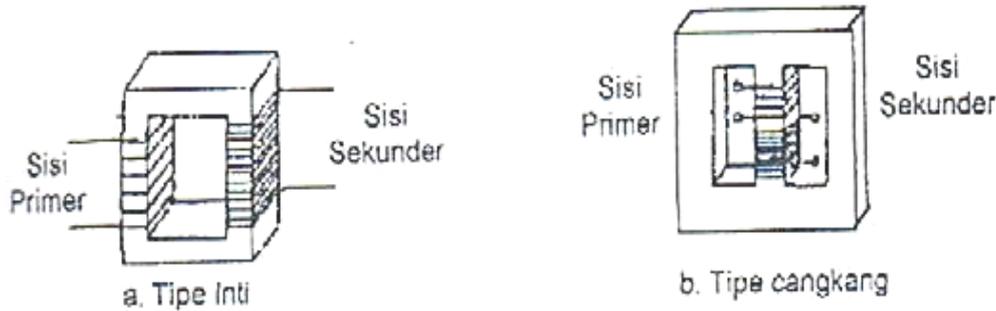
Inti besi berfungsi untuk membangkitkan dan mempermudah jalan fluks yang timbul akibat adanya arus listrik dalam belitan atau kumparan Minyak Transformator. Bahan inti tersebut terbuat dari lempengan-lempengan baja tipis mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang diakibatkan oleh arus eddy (eddy current).

2. Kumparan Minyak Transformator

Kumparan Minyak Transformator Kumparan Minyak Transformator terdiri dari beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk kumparan, dan kumparan tersebut diisolasi, baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan menggunakan isolasi padat seperti karton, pertina dan lain-lain. Terdapat dua kumparan pada inti tersebut yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Jika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/ arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menimbulkan induksi tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya beban) maka mengalir arus pada kumparan tersebut. Sehingga pada kumparan ini berfungsi sebagai alat transformasi tegangan dan arus. Khusus jenis Minyak Transformator tenaga tipe basah, kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak-Minyak Transformator, terutama Minyak Transformator-Minyak Transformator tenaga yang berkapasitas

besar, karena minyak Transformator mempunyai sifat sebagai media pemindah panas dan bersifat pula sebagai isolasi (tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Untuk itu minyak Transformator harus memenuhi persyaratan sbb:

- a. Ketahanan isolasi harus tinggi (>10kV/mm)
- b. Berat jenis harus kecil, sehingga partikel- partikel di dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- c. Penyalur panas yang baik.
- d. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yg dapat membahayakan.
- e. Sifat kimia yang stabil.



Gambar 1 kumparan transformator tegangan dan arus

PEMBAHASAN

Minyak transformator yang dipakai untuk mendinginkan belitan primer maupun sekunder harus selalu dalam kondisi baik dan memenuhi standar tegangan tembus yang diijinkan oleh PT. PLN Sebab-sebab menurunnya harga tegangan tembus dari minyak transformator antara lain : Pertama, adanya kelembapan udara, hal ini dapat mempengaruhi harga tegangan tembus dari minyak isolasi trafo.

Kedua, adanya panas yang di timbulkan dari aliran listrik yang melewati belitan trafo maka minyak isolasinya ikut menjadi panas dan berpotensi timbulnya karbon yang akan mempengaruhi harga tegangan tembus dari minyak isolasi tersebut.

Ketiga, Jika minyak isolasi tersebut dipakai terlalu lama maka sesuai dengan umur dari minyak tersebut akan menjadikan rendahnya tegangan tembus dari minyak isolasi tersebut.

Cara mengatasi kondisi minyak yang harga tegangan tembusnya rendah yaitu dengan cara di rekondisioning dengan menfilter minyak isolasi tersebut melalui mesin filter minyak trafo yaitu dengan membuang kadar air dari minyak isolasi tersebut. Jika minyak isolasi tersebut warnanya sudah sangat kotor maka harus diganti dengan minyak yang baru.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Tegangan Tembus Minyak Transformator Pada Transformator Yang Berkapasitas 60 Mvadi Gardu Induk Kebasen Tegal Tgl 18 Juni 2014

NO	URAIAN KEGIATAN	ACUAN		HASIL PENGUKURAN
		STANDARD IEC 156		
		TEGANGAN	TEG. TEMBUS YG. DIJINKAN	
1	TEGANGAN TEMBUS MINYAK (Diukur pada Suhu 32° C)	< 70 kV	>=30 kV/2,5mm	-
		70 – 170 kV	>=40 kV/2,5mm	77,7/2,5mm
		>170 kV	>=50 kV/2,5mm	-

 PT. PLN (PERSERO) P3B JB
AREA PELAKSANA PEMELIHARAAN PURWOKERTO
JARGI KEBASEN DAN BREBES



GAMBAR TRAFODARI SAMPING



GAMBAR TRAFODARI DEPAN



GAMBAR TRAFODARI SAMPING

Gambar 2 Tata letak posisi dari Transformator pada Gardu Induk

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran tegangan tembus transformator 60 MVA pada Gardu Induk 150 KV Kebasen yang dilaksanakan pada tanggal 18 Juni 2014 dan dibandingkan dengan referensi standar IEC

156, maka dapat disimpulkan bahwa minyak isolasi pada transformator 60 MVA di Gardu Induk 150 KV Kebasen masih layak dioperasikan.


 PT. PLN (PERSERO) P.3B.JB
 AREA PELAKSANAAN PEMELIHARAAN
 PURWOKERTO

LEMBAR HASIL PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR
PENGUJIAN / PENGUKURAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK ISOLASI

APP : Purwokerto
 MERK/TYPER : *Paulist / ONAF*
 LOKASI GI : Kebasen
 TEG. / DAYA : 150 KV / 60 MVA
 NO. TRAFU : 501070078
 TANGGAL : 18 Juni 2014

NO	URAIAN KEGIATAN	ACUAN		HASIL (KV / 2,5 mm) Selang Waktu 5 Menit	KONDISI AWAL	TINDAKAN	KONDISI AKHIR	KESIMPULAN
		STANDARD IEC 156 TEGANGAN	TEG. TEMBUS YG. DIJINKAN					
1	1 - MINYAK BAGIAN ATAS	< 70 KV 70 - 170 KV > 170 KV	>= 30 KV/2,5mm >= 40 KV/2,5mm >= 50 KV/2,5mm	1			78	
				2			78	
				3			78	
				4			77,6	
				5			77,3	
				6			72,3	
Rata 2							77,76	
2	2 - MINYAK BAGIAN BAWAH	< 70 KV 70 - 170 KV > 170 KV	>= 30 KV/2,5mm >= 40 KV/2,5mm >= 50 KV/2,5mm	1			46,5	
				2			46,5	
				3			40,5	
				4			40,3	
				5			40,3	
				6			40,1	
Rata 2							42,3	
3	3 - MINYAK OLTC	< 70 KV 70 - 170 KV > 170 KV	>= 30 KV/2,5mm >= 40 KV/2,5mm >= 50 KV/2,5mm	1				
				2				
				3				
				4				
				5				
				6				
Rata 2								

CATATAN : *- Hasil dan foto-lens untuk kondisi sampel minyak bagian atas*
 Pengawas Pekerjaan : *[Signature]*
 Pelaksana : 1. Rokhman
 2. Mubli Rokhman

DAFTAR PUSTAKA

- Hage. "Komponen-Komponen Transformator," [http : dunia listrik.blogspot. com200901komponen-komponen-transformator.html](http://dunia.listrik.blogspot.com/2009/01/komponen-komponen-transformator.html) [26 April 2009]
- Hamma. (2001, April). *Elektro Indonesia : Transformator Daya dan Cara Pengujiannya* [25 paragraf]. 7(36). [26 April 2009].
- Isnanto. (2009, Januari)"Transformator Distribusi," [http: masisnanto.blogdetik. com 20090123 transformator-distribusi.html](http://masisnanto.blogdetik.com/2009/01/23-transformator-distribusi.html) [26 April 2009].
- Kadir, A. 1989. *Transformator*. Jakarta : Gramedia.
- Mustafa, D. (2008, November). *Techno : Transformator Listrik Tenaga* [35 paragraf]. [26 April 2009]

MONITORING VIBRASI ROTATING EQUIPMENT DI INDUSTRI DENGAN MENGUNAKAN WIRELESSHART

Nandang Taryana¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITENAS Bandung
e-mail :yanztar17@gmail.com,

ABSTRACT

Vibration is the most important issue in a Rotating Equipment such as pumps. Vibration Monitoring with a pump then, will be identified slightest change of the pump. In addition to conventional monitoring techniques require many operators who also takes a long time, this makes it difficult in terms of predicting failure due to a change in the structure of the tool material. Ideally, all Rotating Equipment to be monitored, but the cost to do so would be prohibitive. Monitoring Techniques for Rotating Equipment such as pumps has increased rapidly in recent years, including the wireless vibration monitoring can help to predict when a failure will occur and maintenance of warning about the health status of equipment. Vibration data is transmitted from the pump, for example through a wireless gateway, This allows us to monitor vibration during operation, and the trend of the data we are able to determine when the pump will fail. Real-time information from the wireless vibration transmitter provides valuable insights which can prevent unplanned shutdowns and increase the scheduling of maintenance and reliability. In this study the authors use a method of monitoring vibration of the pump by using the method of WirelessHART. WirelessHART is a new technology that provides an easy and safe means to access data, without the need for wires and cables. WirelessHART is able to generate monitoring data that describe the performance of a. The results illustrate the monitoring station without any additional due to environmental influences.

KeyWords: Pompa, Vibration Monitoring, Wireless Network, WirelessHART

PENDAHULUAN

Dunia industri sangat menginginkan suatu jenis pompa yang dapat beroperasi maksimal dan tahan dioperasikan dalam jangka waktu yang lama, hal ini tidak terlepas dari jenis pompa, pemasangan dan pengoperasian yang tepat sehingga akan bekerja sesuai dengan peruntukannya. Untuk menentukan suatu peralatan bekerja sesuai dengan kondisi terbaiknya diperlukan indikator, biasanya indikator yang sering digunakan adalah indikator yang dengan cepat mendapatkan hasilnya seperti vibrasi dan temperatur. Kegagalan pada komponen pompa yang sering tidak diperhatikan adalah kerusakan pada impeller dan casing, hal ini terjadi akibat kavitasi. Kavitasi adalah peristiwa terbentuknya gelembung-gelembung uap di dalam cairan yang dipompa akibat turunnya tekanan cairan sampai di bawah tekanan uap jenuh cairan pada suhu operasi pompa. Pengaruh kavitasi yang terjadi pada pompa I sangatlah merugikan. Dalam hal kavitasi bagian pada pompa yang sering mengalami kavitasi adalah sisi isap pompa, sudu pompa, maupun di saluran pipa. Indikasi kavitasi adalah timbulnya gelembung-gelembung uap, suara-suara bising (*noise*) dan getaran (*vibrasi*) serta kerusakan pada komponen pompa tatkala gelembung-gelembung fluida tersebut pecah ketika melalui daerah yang lebih tinggi tekanannya.

Pengukuran sinyal vibrasi pompa merupakan salah satu teknik dalam *predictive maintenance*, yaitu perawatan berbasis kondisi pompa ketika beroperasi dengan diagnosis terhadap kinerja. Sinyal vibrasi dari suatu pompa merupakan salah satu indikator yang akan menunjukkan kondisi mekanis dari suatu pompa, apakah pompa itu beroperasi dalam keadaan baik atau tidak. Semakin kecil nilai suatu *vibrasi* akan menjadi semakin baiklah peralatan itu, dan sebaliknya apabila suatu peralatan yang beroperasi mempunyai vibrasi yang besar atau tinggi, maka kondisi peralatan tersebut cukup rawan akan kerusakan. Keunggulan penggunaan pengukuran karakteristik getaran sebagai indikator perawatan karena memberikan kemudahan pengujian dan titik pengujian tepat pada gaya penggerak, respon vibrasi memberikan informasi gejala maksimum dan pengujian dilakukan tanpa menyambung dan mengganggu operasi peralatan tersebut.

Dengan perkembangan teknologi industri modern, sistem industri skala besar dibangun oleh beberapa mesin dan peralatan yang berorientasi otomasi, efisiensi tinggi, akurasi tinggi dan kinerja

serta kompleksitas meningkat[1]. Kemudian, hubungan yang sangat dekat antara beberapa mesin dan peralatan membuat sistem menuntut adanya kehandalan dan sekuritas yang membuat sistem lebih canggih. Dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan terhadap safety dan kestabilan operasi peralatan dalam sistem industri skala besar, kondisi peralatan utama serta kondisi bermacam-macam peralatan tambahan dalam sistem perlu untuk dimonitor[2]. Sebagai hasilnya kondisi sistem monitoring menjadi lebih kompleks dalam konstruksinya serta lebih sulit dalam konfigurasinya. Seperti diketahui sistem monitoring vibrasi bisa menjadi lebih kompleks daripada sistem monitoring kondisi yang lainnya. Vibrasi yang merupakan parameter penting dari operasi peralatan mencakup berbagai informasi yang berguna, dan dapat digunakan untuk mendiagnosis kesalahan [3]. Namun sistem monitoring vibrasi tradisional yang dihubungkan oleh banyak kabel sinyal dan mudahnya terjadi pencampuran berbagai sinyal untuk interferensi yang menyebabkan keandalan hasil monitoringnya berkurang. Selain itu, sistem monitoring vibrasi juga terbatas dalam aplikasinya karena sistemnya yang kompleks dalam membangunnya, mahal biayanya, berat instalasi dan commissioningnya, fleksibilitas rendah, dan sulit dalam pemeliharaannya [7-9].

Untuk mengatasi jumlah sistem monitoring vibrasi tradisional yang tersebar secara geografis dari mesin dan peralatan secara on-line, metode penerapan teknologi WirelessHART untuk sistem monitoring vibrasi mesin dan peralatan akan dipresentasikan[6]. Karena penggunaan komunikasi nirkabel, sistem monitoring vibrasi tidak lagi dibatasi oleh kabel, yang secara efektif memecahkan masalah yang sulit sistem kabel di lapangan. Lebih jauh, fleksibilitas dan skalabilitas dari jaringan sensor nirkabel membuat, menambah, menghapus atau mengganti setiap node pengukuran mudah sehingga biaya investasi, kompleksitas, beban kerja instalasi, commissioning, dan pemeliharaan sistem monitoring yang sangat berkurang. Sistem ini sangat cocok untuk monitoring vibrasi secara remote dari struktur yang kompleks dan berskala besar dari peralatan yang didistribusikan secara luas.

WirelessHART yang merupakan pengembangan dari protokol komunikasi instrumentasi standar HART7 yang telah dirilis bulan september 2007, menjadi pilihan sebagai untuk keperluan Monitoring Vibrasi pada Rotating Equipment seperti Pompa. WirelessHART adalah protokol dari jaringan komunikasi “wireless mesh” untuk aplikasi pada process automation. Dimana wirelessHART juga mempunyai kapabilitas Protokol Hart yang menjadi nilai lebih dalam me’maintain’ existing wired device, memberikan perintah kepada device dan menjadi “tools” untuk mendiagnosa instrument device.

Wireless Hart network terdiri dari 3 komponen utama : Pertama, wireless field device yang dikonek ke process atau equipment di lapangan, dimana ini bisa terdiri dari native wireless (device yang murni wirelessHart) ataupun existing instrument device yang telah ditambahkan THUM, sehingga dapat mengirimkan data parameter dari device secara “wireless” ke Host dengan melalui Gateway.

Kedua, smart Gateway, yang menjadi jembatan komunikasi antara field device dengan Host nya. Ketiga, network Manager yang bertanggung jawab dalam mengkonfigurasi network, managing message routes dan memonitor “kesehatan” dari jaringan. Dimana network manager ini dapat terintegrasi ke dalam Gateway, host application ataupun process automation controller.

WirelessHART beroperasi pada 2.4 GHz. Dengan bentuk jaringan “mesh” , maka setiap device dalam jaringan “mesh” dapat berlaku / melayani sebagai router untuk menyampaikan “message” dari device yang lain, hal ini yang menambah luas atau jauh dari jaringan dan menjadi redundant komunikasi routes yang meingkatkan reliability dari jaringan ini menjadi 99.9%.

Smart Wireless memiliki 5 (lima) layer security untuk mengamankan jalur komunikasi antar wireless devices. Pertama. Setiap data yang dikirim akan dienkripsi sehingga data yang dikirimkan diacak agar tidak dapat terbaca. Kedua. Setiap wireless device yang akan join ke network harus melalui process autentikasi. hanya device yang memiliki network ID dan join key yang sama dengan gateway yang dapat join ke network. Ketiga. Setiap data yang dikirimkan akan diverifikasi oleh gateway bahwa data itu valid dan complete. Keempat. Frequency yang digunakan oleh WirelessHART adalah 2.4 GHz. Didalam frequency range 2.4GHz terdapat 15 slot/channel yang tersedia. WirelessHART device akan menggunakan salah satu dari 15 channel itu dan akan berpindah-pindah channel tiap kali mengirimkan datanya. Kelima. Key untuk encryption algorithm dapat dirotasi atau diubah setiap periode tertentu untuk advance security.

Konsep dari wirelessHART sendiri adalah : Pertama. Memberikan visibility kepada operator, maintenance ataupun management mengenai kondisi yang ada di Plant mereka, ini memberikan data yang tepat dan akurat dalam setiap pengambilan keputusan, baik dalam hal penentuan Cost budget ataupun dalam aktifitas maintenance terhadap equipment. Kedua. Meningkatkan availability dari device dalam melayani proses produksi. Ketiga. Dengan jaringan “mesh”, wirelessHART memberikan reliability sampai 99.9% akan system ini. Keempat. Memberikan fleksibilitas dalam instalasi dan pengoperasian device, dimana hal ini mudah dalam mengaplikasikannya atau memindahkan dari suatu tempat ke tempat lain, atau dari suatu aplikasi ke aplikasi lain. Kelima. Memberikan kemudahan dalam penginstalan device. Keenam. Memberikan akses untuk mengetahui “healthy” dari device tersebut. Ketujuh. Memberikan powerful informasi mengenai “kesehatan” dari suatu system, pompa misalnya, dengan menambahkan beberapa device lain, maka akan didapat status “kesehatan” dari pompa tersebut (terlampir EAM , Essential Asset Monitoring-file).

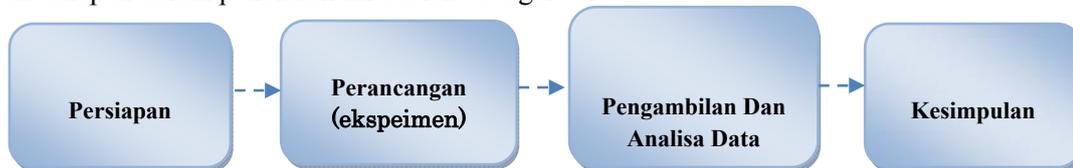
WirelessHART ini menjadi “backbone” yang terpisah dari “backbone process control” yang selama ini ada, dimana “backbone” wirelessHART ini, menjadi backbone untuk maintenance dalam meningkatkan availability dan reliability equipment mereka, dan memberikan visibility baik team maintenance maupun operator / produksi dalam melihat “plant” mereka, serta memberikan kemudahan kepada Managemet dalam melakukan “Plant modernization” pada system yang selama ini tidak termonitor ataupun masih dalam local monitor yang berdasar periodic time monitor.

METODE

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan adalah milik PT. Indonesia Power Darajat Garut Jawa Barat yang terletak di ruang kendalinya. Peralatan tersebut terdiri dari software dan hardware yang sudah terintegrasi pada sistem kendali, produk Emerson Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hardware yang terdiri dari : 1) alat monitoring vibrasi(Vibration Transmitter); 2) perangkat WirelessHART yang sudah terpasang; dan 4) Komputer sistem
2. Software yang digunakan : software bawaannya dari peralatan wirelessHART Emerson.
3. Perancangan Hardware wirelessHART digambarkan sebagai:

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1 Alur Tahapan Penelitian



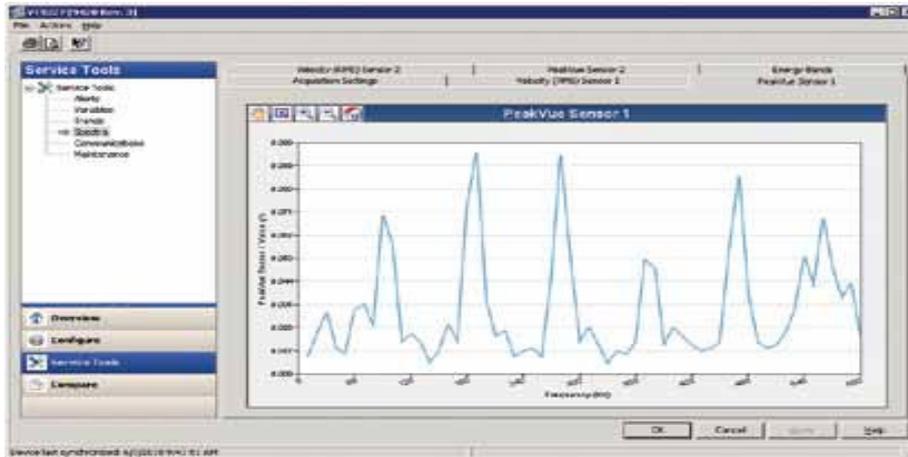
Gambar 2 Transmitter Vibrasi Nirkabel untuk monitoring vibrasi per detik.



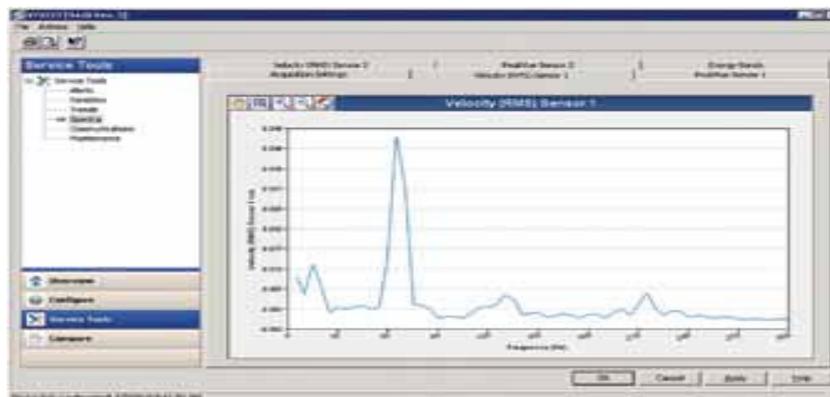
Gambar 3 Pemasangan Transmitter monitoring Vibrasi pada badan pompa

PEMBAHASAN

Monitoring Vibrasi dilakukan pada sebuah pompa yang sedang bekerja untuk mengetahui sejauh mana kinerja pompa tersebut. Pengujian sistem ini ditujukan untuk mengetahui sejauh mana kinerja sistem dengan menggunakan jaringan nirkabel wirelessHART dapat digunakan dengan baik. Dari hasil monitoring vibrasi dari pompa dapat disajikan pada Gambar 4 sebagai berikut

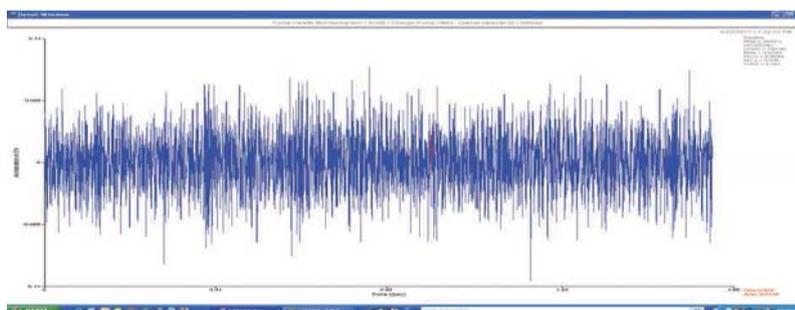


Gambar 4. Hasil monitoring dari Vibrasi Pompa dengan WirelessHART 1

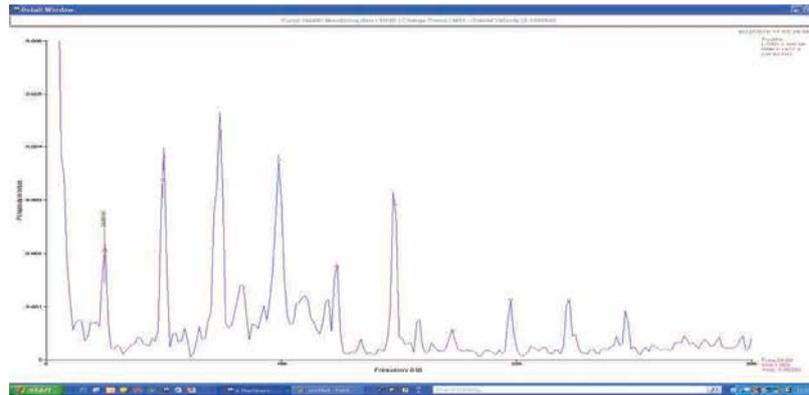


Gambar 5. Hasil monitoring dari Vibrasi Pompa dengan Wireless HART 2

Informasi dari Gambar 4 dan Gambar 5 dapat digunakan sebagai sarana untuk manajemen aset seperti pompa, motor atau peralatan yang lainnya seperti kompresor, valve atau rotating equipment yang lainnya. Sementara pada Gambar 6 memperlihatkan bagaimana sebuah pompa memiliki kinerja ditentukan oleh bentuk gelombang yang ditunjukkan, semakin banyak puncak-puncak gelombannya semakin tinggi frekuensi vibrasi pompa tersebut.

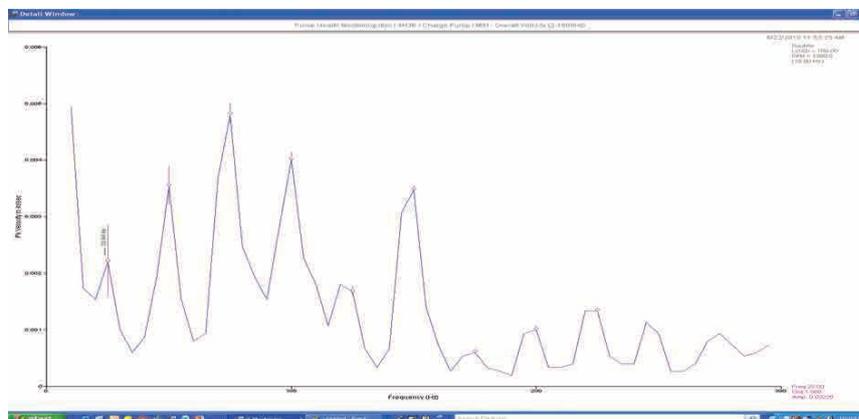


Gambar 6 Percepatan gelombang vibrasi dari sebuah pompa



Gambar 7 Elevasi puncak gelombang vibrasi yang memiliki spektrum resolusi tinggi

Pada Gambar 7 dan Gambar 8 ditunjukkan bahwa terjadi kehilangan kemampuan mekanik dari pompa, sekaligus menunjukkan kinerja dari pompa yang bersangkutan.



Gambar 8 Elevasi puncak gelombang vibrasi yang memiliki spektrum resolusi tinggi

Dengan melihat gambar hasil monitoring seperti diperlihatkan pada Gambar 6,7 dan 8 tidak tampak adanya pengaruh gangguan eksternal pada sistem monitoring dengan sistem nirkabel yang menggunakan WirelessHART ini. Meskipun ada tidak mengganggu informasi yang benar tentang kondisi yang sesungguhnya dari pompa yang sedang dimonitor.

KESIMPULAN

Dari proses perancangan, implementasi dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem monitoring vibrasi pompa dengan sistem nirkabel WirelessHART berjalan dengan baik.
2. Berdasarkan hasil monitoring terlihat bahwa sistem WirelessHART terbukti handal dan aman dari gangguan lingkungan industri
3. Topologi mesh yang terdapat pada jaringan wirelessHART terbukti cocok untuk sistem monitoring vibrasi pada pompa
4. Pengetahuan dari hasil monitoring vibrasi akan menjadi sumber data bagi pelaksanaan manajemen aset dari sebuah equipment sehingga berdampak pada jadwal pengadaan equipment tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah mendukung penelitian ini, diantaranya:

1. Manajemen PT Indonesia Power yang telah meminjamkan fasilitasnya untuk penelitian penulis

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro Itenas Bndung yang telah memberikan dukungan moril dan materil
3. Teman sejawat staf dosen teknik Elektro Itanas Bandung
4. Dan pihak lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (2010) Hart 7 specification. [Online]. Available: <http://www.hartcomm.org/>
- Anonim, (2010) Isa 100, wireless systems for automation. Available: <http://www.isa.org/isa100>
- Anonim, (2010) Zigbee alliance. [Online]. Available: <http://www.zigbee.org>
- F. Gil-Castineira, F. Gonzalez-Castano, and L. Franck, "Extending vehicular can fieldbuses with delay-tolerant networks," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 9, pp. 3307–3314, Sept. 2008.
- Greg Welch, Gary Bishop (2006). An Introduction to the Kalman Filter, Technical Report, University of North Carolina at Chapel Hill.
- G.-P. Liu, Y. Xia, J. Chen, D. Rees, and W. Hu, "Networked predictive control of systems with random network delays in both forward and feedback channels," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, no. 3, pp. 1282–1297, June 2007.
- T. Lennvall, S. Svensson, and F. Hekland, "A comparison of wirelesshart and zigbee for industrial applications," in *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, May 2008, pp. 85–88.
- T. Li and Y. Fujimoto, "Control system with high-speed and real-time communication links," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 4, pp. 1548–1557, April 2008.
- V. Gungor and G. Hancke, "Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 10, pp. 4258–4265, Oct. 2009.

ANALISA *THROUGHPUT* PADA SISTEM CDMA YANG MENDUKUNG LAYANAN MULTIMEDIA DENGAN KONTROL DAYA TIDAK SEMPURNA

Gatot Santoso

Jurusan Teknik Elektro, FTI Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

e-mail: gatsan@akprind.ac.id

ABSTRACT

The future technology of wireless technology of wireless communication system must be able to serve a multimedia application, included voice and high speed data information. CDMA is one of communication technology which can used and have been proved as technique of multiple access that capable to provide this service requirement. In this research, analysis of throughput and capacity are proposed for multi cell and multi class CDMA system. System of multi cell analyzed until two tier and system of multi class divided two classes of traffic that are class-1 for voice and class-2 for data services. Performance measurement is obtained in respect of throughput for class-2 traffic and BER for class-1 traffic . Analysis of throughput and capacity according to the effect of variable quality of services, chip rate, bit rate and activity factor. The result show that with larger chip rate can maintain the required BER of each information and achieve the capacity and throughput in high traffic condition. Otherwise, with larger bit rate will decrease total throughput and capacity. With larger activity factor will decrease total capacity but can increase throughput of system. The effect of interference in multi cell and multi class system can decrease throughput and total capacity of offered information traffics.

Keywords : *throughput, multimedia, CDMA*

PENDAHULUAN

Komunikasi tanpa kabel (*wireless communications*) Code Division Multiple Access (CDMA), merupakan teknologi sistem komunikasi bergerak generasi ketiga, karena teknologi CDMA mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya tahan terhadap interferensi (*jamming*), memiliki keamanan yang baik, tahan terhadap *multipath fading* dan memiliki daya pancar yang rendah. Selain itu, sistem komunikasi tanpa kabel CDMA tidak hanya dapat digunakan sebagai alat komunikasi yang melayani komunikasi suara saja tapi sistem CDMA sebagai layanan komunikasi multimedia juga dapat melayani komunikasi data dan video (Wu, 2011).

Salah satu masalah yang terjadi pada sistem CDMA adalah interferensi *multi-user*. Karena semua pengguna mentransmisikan sinyalnya pada pita frekuensi yang sama, sehingga kinerjanya juga akan berkurang sebanding dengan bertambahnya pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa sistem CDMA adalah sistem yang dibatasi oleh interferensi (Lee, 1998). Berdasarkan asal penginterferensian, interferensi *multi-user* dapat terjadi dari pemakai pada sel yang sama (*intrasell*) maupun dari sel yang berbeda (*intercell*). Interferensi intersel terjadi karena setiap sel dalam CDMA juga menggunakan pita frekuensi yang sama, sehingga BS tidak hanya menerima interferensi dari pemakai yang berasal dari selnya saja tapi juga dari pemakai yang berasal dari sel-sel lain.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk menganalisa kinerja sistem CDMA, penelitian kinerja pada kapasitas sistem CDMA telah dilakukan (Vannithamby, 2010). Pada penelitian yang dilakukannya, mengetengahkan pengaruh kapasitas sistem CDMA multi kelas dengan perubahan kecepatan bit (*bit Rate*), pada penelitian ini kontrol daya pada *home-cell* di asumsikan sempurna. Pada penelitian (Hansen, 2009) meneliti mengenai kapasitas sistem CDMA multi kelas dengan kontrol daya yang tidak sempurna pada *home-cell*.

Penelitian kinerja untuk *throughput* juga sudah dilakukan (Garg, 1997). Penelitian yang dilakukannya, meneliti *throughput* sistem CDMA pada *single-class*, dengan kontrol daya yang tidak sempurna pada *home-cell*. Sedangkan pada penelitian (Prasad, 1996) meneliti *throughput* sistem CDMA dengan *multi-class* dengan kontrol daya sempurna pada *home-cell*-nya

Dari latar belakang masalah yang telah dikemukakan, maka dapat diidentifikasi beberapa hal rumusan masalah yaitu bagaimana *throughput* dari sistem CDMA yang melayani lebih dari satu kelas

user, dengan adanya pengendalian daya tidak sempurna pada *home-cell*, dan bagaimana memperoleh *throughput* dari sistem CDMA yang mendukung layanan multimedia.

Tujuan penelitian adalah menganalisa dan menghitung besarnya *throughput* yang diberikan oleh sistem CDMA, yang mendukung layanan multimedia (suara dan data) dengan kontrol daya sempurna.

CDMA adalah metode akses jamak yang menggunakan teknik modulasi penyebaran spektrum (*spread spectrum*) (Wang, 2008). Dalam sistem ini pengguna menggunakan frekuensi yang sama dalam waktu yang bersamaan. Salah satu metode *spread spectrum* yang banyak digunakan adalah *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), yang merupakan metode yang akan dibahas pada penelitian ini.

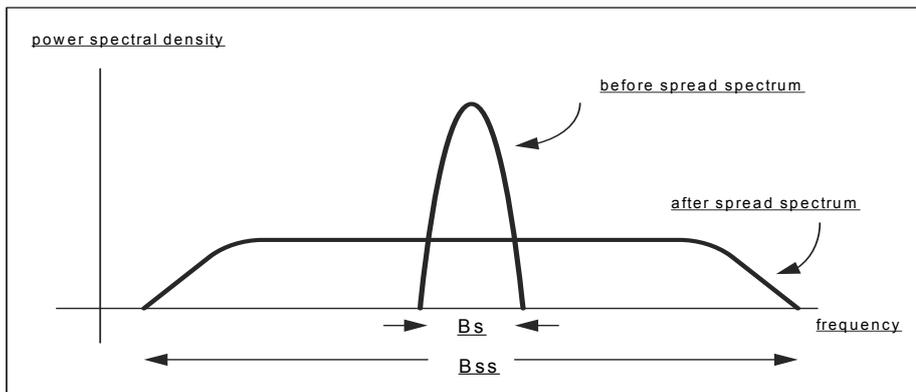
Suatu sistem *spread spectrum* harus memenuhi dua kriteria. Pertama, *bandwidth* sinyal yang dipancarkan harus lebih besar dari *bandwidth* sinyal informasi. Kedua, *bandwidth* sinyal yang dipancarkan harus ditentukan oleh suatu fungsi yang independen terhadap informasi dan diketahui oleh penerima. Konsep *spread spectrum* didasarkan pada teori C.E Shanon untuk kapasitas saluran yang diberikan oleh (Wang, 2008):

$$C = W \log \left(1 + \frac{S}{N} \right) \dots\dots\dots (1)$$

dimana : C = kapasitas kanal transmisi (bit/s)
 W = *bandwidth* transmisi (Hz)
 N = daya derau atau *noise* (watt)
 S = daya sinyal (watt)

Dari teori di atas dapat dilihat bahwa pada kanal dengan derau N yang tinggi kapasitas yang besar dapat dicapai dengan dua cara. Pertama, menaikkan level daya sinyal S jauh melebihi derau N (akan menghasilkan S/N yang tinggi) dengan membiarkan *bandwidth* transmisi W tetap kecil. Kedua, memperbesar *bandwidth* W jauh melebihi *bandwidth* sinyal informasi dengan membiarkan S/N tetap kecil. Dalam hal ini teknik *spread spectrum* menggunakan pendekatan kedua.

Ide dibalik teknik modulasi *spread spectrum* adalah mengubah suatu sinyal dengan lebar pita B_s menjadi suatu sinyal yang menyerupai derau dengan lebar pita yang lebih besar B_{ss} , seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Spektrum sinyal sebelum dan sesudah penyebaran

Dengan daya pancar yang sama, kerapatan spektral daya (PSD) dari sinyal *spread spectrum* akan menjadi lebih rendah daripada sinyal aslinya, yaitu seperti dinyatakan oleh (Wang, 2008):

$$S_{ss} = P_s \left(\frac{B_s}{B_{ss}} \right) \dots\dots\dots (2)$$

dimana : S_{ss} = PSD dari sinyal *spread spectrum*
 P_s = daya sinyal asal

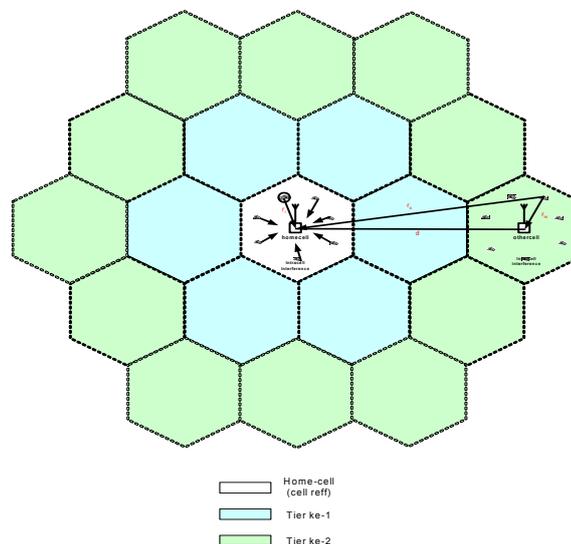
Ukuran penyebaran spektrum dinyatakan dengan *processing gain* (G) yang dinyatakan dengan (Wang, 2008):

$$G(db) = 10 \log \left(\frac{B_{ss}}{B_s} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Jadi *processing gain* pada CDMA didefinisikan sebagai perbandingan dari lebar pita (*bandwidth*) sinyal setelah disebar B_{ss} dengan *bandwidth* sebelum disebar B_s . *Processing gain* menunjukkan besarnya kemampuan sistem untuk mengatasi interferensi. Nilai *Processing gain* akan berkaitan dengan daya sinyal *spread spectrum* yang disebar pada lebar pita, sehingga lebar pita yang tersebar akan lebih besar dari pada lebar pita sinyal asal. Hal ini sebanding dengan pengurangan kerapatan dayanya. Kerapatan daya *spread spectrum* yang sangat rendah menyebabkan interferensinya terhadap sinyal pita sempit menjadi sangat kecil. Sifat inilah yang memungkinkan penerapan sistem penumpangan (*overlay*), dimana sistem berbasis *spread spectrum* dioperasikan bersama pada pita frekuensi yang sama, dengan sistem pita sempit yang sudah ada (Kim, 2011).

METODE

Model sistem selular yang akan diteliti seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2 seperti di bawah ini:



Gambar 2 Sistem Model

Model sistem terdiri dari satu buah sel referensi yang terletak ditengah dan dikelilingi oleh sel penginterferensi yang berjumlah 18 sel (2 tier). Masing masing sel mempunyai jumlah *user* yang sama dan tersebar merata pada tiap-tiap sel. BS (*base station*) terletak di tangan-tengah sel dan menggunakan antenna omnidirectional. *Home-cell* adalah sel yang akan diteliti dan sel lain yang mengelilingi home-cell adalah sel penginterferensi. *User* pada masing masing sel terdiri dari *user* kelas-1 dan *user* kelas-2. pada penelitian ini yang menjadi referensi adalah *user* kelas-2.

Model Interferensi, pada penelitian ini akan dihitung besarnya daya interferensi pada sel sendiri (*home-cell*) dan besarnya daya interferensi pada sel tetangga (*other-cell*).

Analisa *Throughput*, pada sistem komunikasi digital seperti CDMA, *BER* atau (E_b / I_o) adalah salah satu parameter kualitas layanan yang dipakai. Sebuah sistem *wireless* CDMA yang melayani *user* kelas-1 (suara) dan *user* kelas-2 (data) secara terintegrasi memiliki (E_b / I_o).

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan memasukan nilai dari rumusan data dan suara, maka *throughput* untuk integrasi suara dan data adalah (Sandouk, 2009):

$$T = \sum_{k_1=0}^{N_1} \left[\sum_{k_2=1}^{N_2} k_2 \cdot P_2(k_2) \cdot P_{s_2}(k_2) \right] \cdot P_1(k_1) \dots\dots\dots (4)$$

PEMBAHASAN

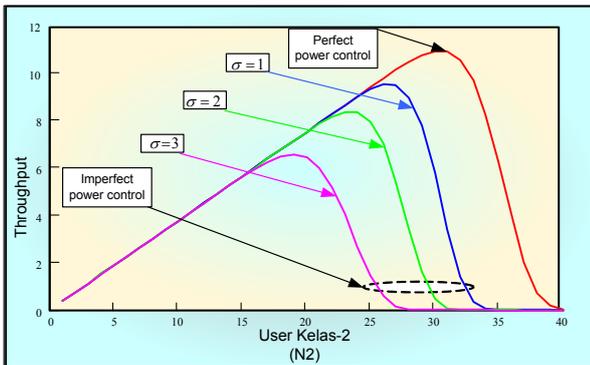
Throughput sistem CDMA seperti telah diuraikan terdahulu menggunakan parameter probabilitas kesalahan bit (BER) sebagai tolak ukurnya, karena dalam analisa ini, user kelas-2 digunakan sebagai acuan maka nilai BER maksimum yang diijinkan adalah 10^{-5} (12,5 dB = 7).

Pada analisa ini akan memperlihatkan perubahan throughput akibat adanya :

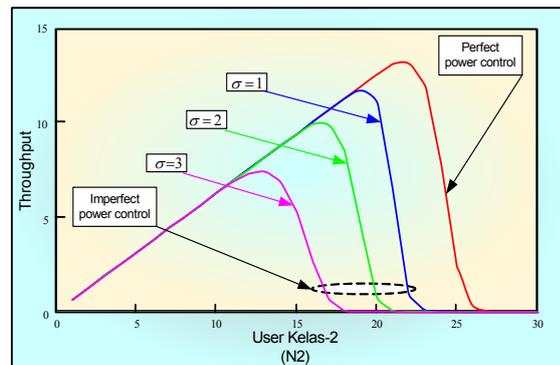
Pertama, Interferensi dari user yang berada di home-cell pada kelas yang sama atau pada kelas yang berbeda. Kedua, interferensi dari user tetangga pada kelas yang sama atau pada kelas yang berbeda. Ketiga, ketidaksempurnaan kontrol daya (power control error) pada sistem.

Selain itu juga dilakukan analisa terhadap pengaruh activity factor. Perhitungan menggunakan Program Mathcad.

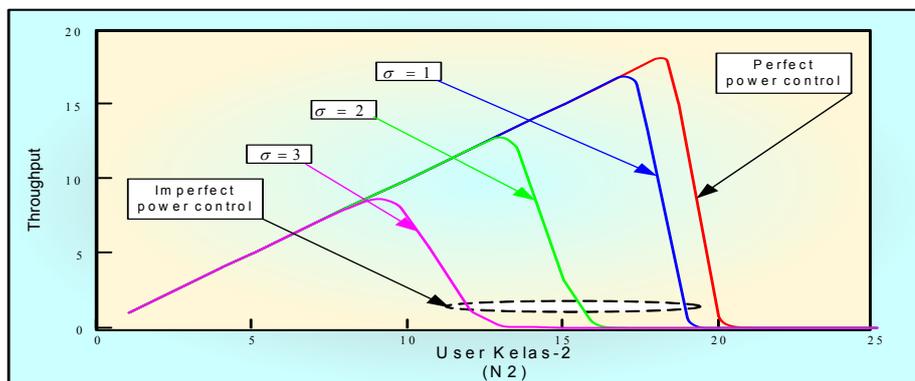
Throughput pada Single Cell, kontrol daya tidak sempurna, Gambar 5a; 5b; 5c. menunjukkan throughput pada single-cell single class dengan pengaruh kontrol daya tidak sempurna. Apabila shadowing dengan standar deviasi pada arah downlink (dari BS ke MS) lebih besar dari pada uplink (dari MS ke BS) maka daya dari sinyal user (MS) tersebut akan diterima lebih besar dari daya referensi di BS, dan akibatnya daya dari user tersebut akan menginterferensi sinyal lain. Dari penjelasan sebelumnya diterangkan bahwa performasi dari sistem CDMA dibatasi oleh besarnya interferensi. Untuk itu semakin besar nilai standar deviasi (σ) maka daya interferensi dari user akan semakin besar sehingga performasi sistem CDMA akan menurun, seperti ditunjukkan pada Gambar 5a–5c.



Gambar 5b Throughput single-cell, single-class pada aktivitas faktor = 3/8, dengan standar deviasi (σ) yang berubah-ubah

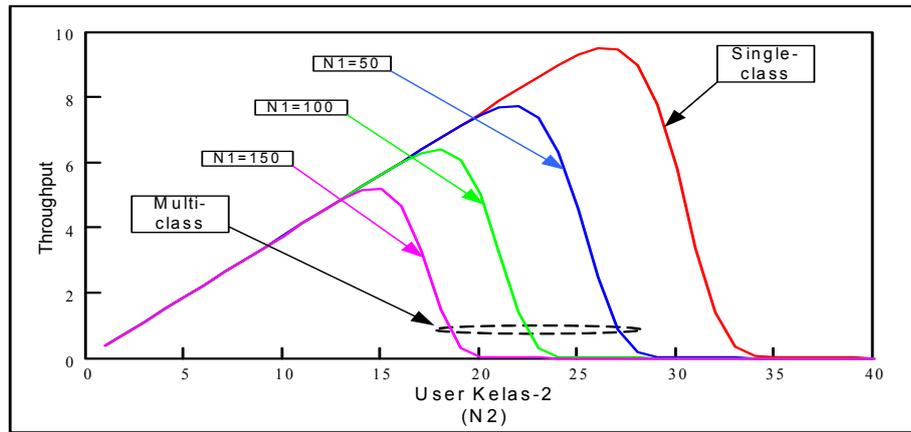


Gambar 5b Throughput single-cell, single-class pada aktivitas faktor = 5/8, dengan standar deviasi (σ) yang berubah-ubah

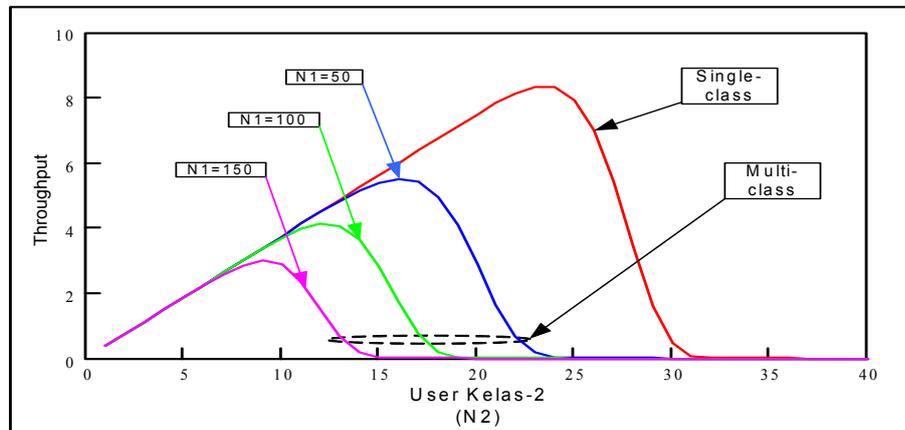


Gambar 5c Throughput single-cell, single-class pada aktivitas faktor = 1, dengan standar deviasi (σ) yang berubah-ubah

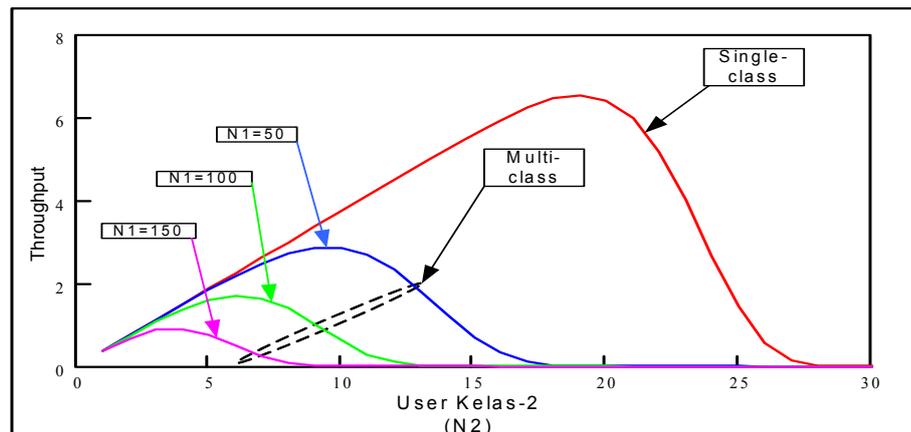
Dari perhitungan di atas jelas bahwa akibat adanya shadowing dengan distribusi Gaussian yang memiliki standar deviasi (σ) lebih besar dari 0 dapat menyebabkan kontrol daya menjadi tidak sempurna yang berdampak pada menurunnya nilai throughput.



Gambar 6a Throughput single-cell, multi-class pada standar deviasi (σ) = 1 dengan user suara (N_1) yang berubah-ubah



Gambar 6b Throughput single-cell, multi-class pada standar deviasi (σ) = 2 dengan user suara (N_1) yang berubah-ubah



Gambar 6c Throughput single-cell, multi-class pada standar deviasi (σ) = 3 dengan user suara (N_1) yang berubah-ubah

Gambar 6a, 6b dan 6c. menunjukkan throughput single-cell, multi-class dengan pengaruh kontrol daya tidak sempurna. Karena adanya shadowing dengan distribusi Gaussian yang memiliki

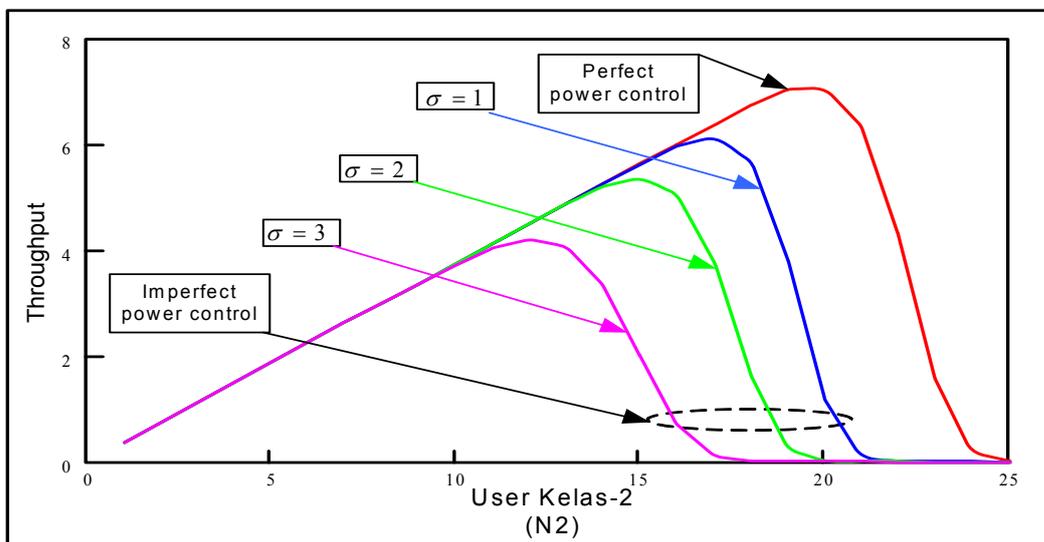
standar deviasi (σ) lebih besar dari 0, akan mengakibatkan kontrol daya menjadi tidak sempurna dan menyebabkan interferensi ke user lainnya. Interferensi ini bisa berasal dari *user* dengan kelas yang sama atau dari kelas yang berbeda. Jika lebih dari satu *user* yang menginterferensi *user* lain maka daya interferensi yang diterima oleh BS adalah merupakan penjumlahan daya dari setiap *user*.

Dari perhitungan di atas terlihat jelas bahwa semakin besar kapasitas N1 maka prosentase penurunan *throughput* akan semakin besar, disamping itu dari perhitungan diatas juga dapat dilihat pengaruh *shadowing*. Semakin besar standar deviasi prosentase penurunan *throughput* menurun cukup tajam, seperti yang terjadi pada standart deviasi = 3 dan N1 = 50, penurunan mencapai 58,77 %. Hal ini dapat terjadi karena semakin besar N1 dan σ maka daya interferensi total juga akan semakin besar.

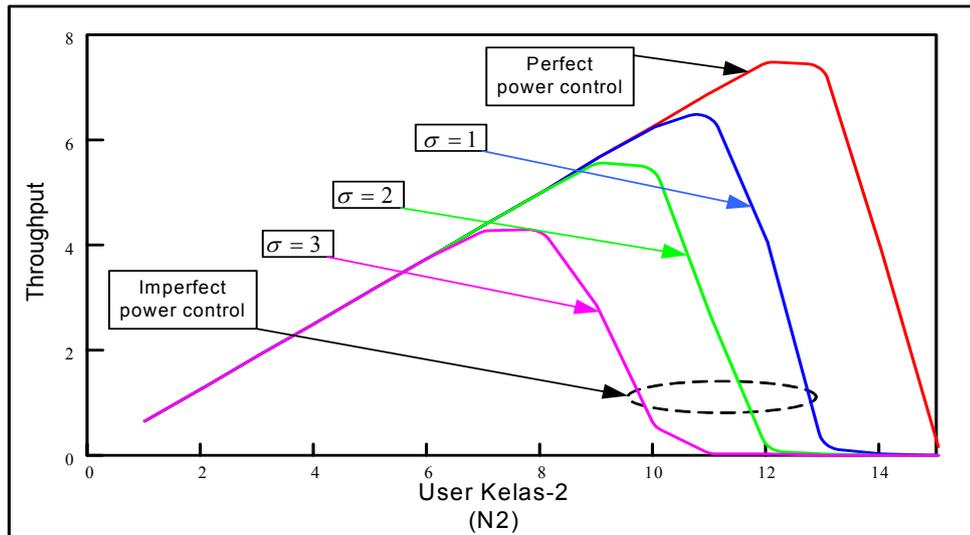
Throughput pada *Multi Cell*, interferensi pada sistem CDMA tidak hanya diakibatkan oleh *user* yang berada pada sel sendiri (*home-cell*) tetapi interferensi juga diakibatkan oleh *user* yang berada pada sel di sekelilingnya. Besar interferensi untuk sel tetangga yang dibatasi dengan 2 tier atau 18 *cell* dinyatakan dengan besarnya *mean* dan *varian*. Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Gilhousen CS. Menyatakan bahwa besarnya *mean* ($m_o = 0,274$) dan varian ($\sigma_o = 0,078$).

Kontrol Daya tidak Sempurna, Gambar 8a; 8b; 8c. menunjukkan *throughput* pada *multi-cell single class* dengan pengaruh kontrol daya tidak sempurna. *User* suara (N1) = 0, karena pada perhitungan pada *single user* (*user* data saja). Dengan perubahan *shadowing* dengan standar deviasi (σ) > 0, menyebabkan pengendalian daya menjadi tidak sempurna, yang berdampak pada penurunan *throughput*. Hal ini karena semakin besar nilai standar deviasi (σ) maka nilai *mean total* (m_{tot}) dan *varian total* (σ_{tot}) akan menjadi semakin besar. Dan ini berarti daya interferensi yang menginterferensi user lain juga akan semakin besar sehingga menyebabkan menurunnya performasi pada *throughput* sistem CDMA. Kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 8a; 8b; 8c.

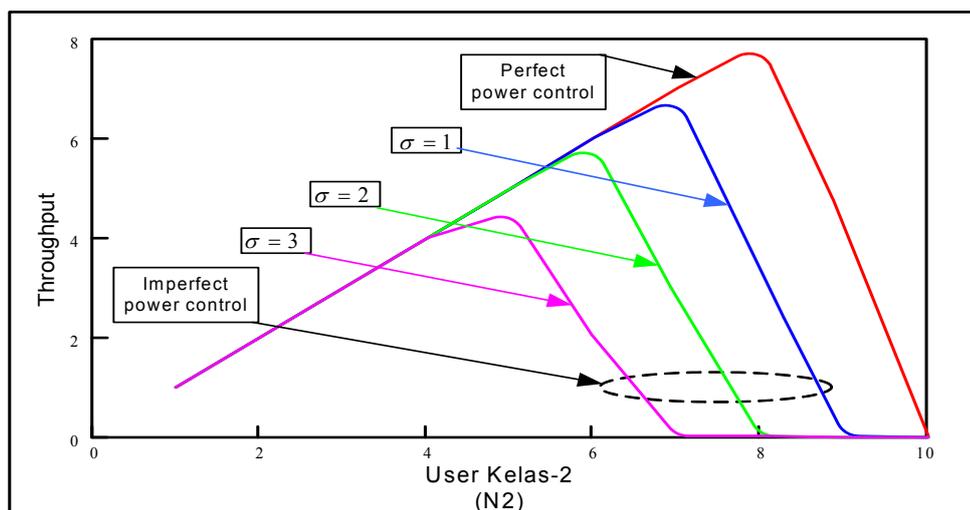
Pengaruh faktor aktifitas juga dapat dilihat dengan membandingkan setiap gambar, untuk faktor aktifitas 3/8 ditunjukkan pada Gambar 8a. untuk faktor aktifitas 5/8 ditunjukkan pada Gambar 8b. untuk faktor aktifitas 1 ditunjukkan pada Gambar 8c. dari gambar didapat bahwa semakin besar faktor aktivitas, *throughput* sistem CDMA juga akan semakin baik. Hal ini karena semakin besar nilai faktor aktivitas maka kanal yang digunakan juga akan semakin besar sehingga peluang jumlah paket yang sukses terkirim dari jumlah paket yang ditawarkan akan semakin besar.



Gambar 8a *Throughput* multi-cell, single class dengan activity vector (α) = 3/8 dengan standar deviasi (σ) yang berubah-ubah



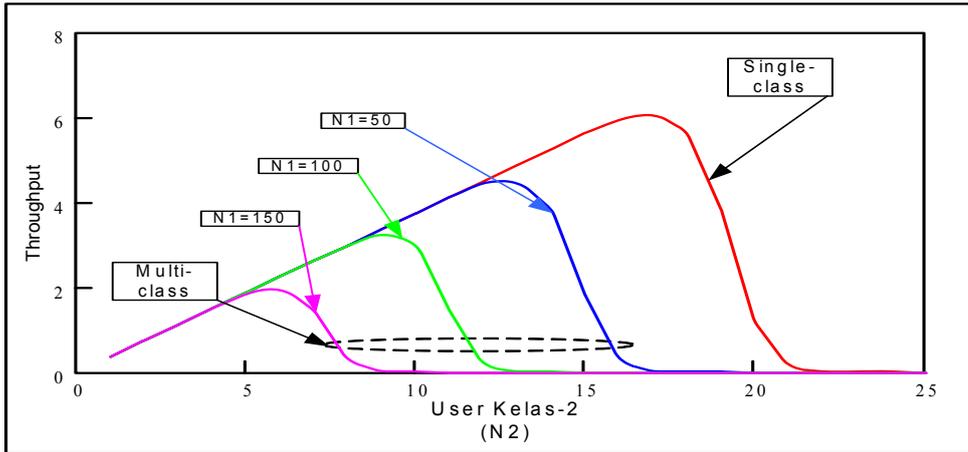
Gambar 8b Throughput multi-cell, single class dengan activity vector (α) = 5/8 dengan standar deviasi (σ) yang berubah-ubah



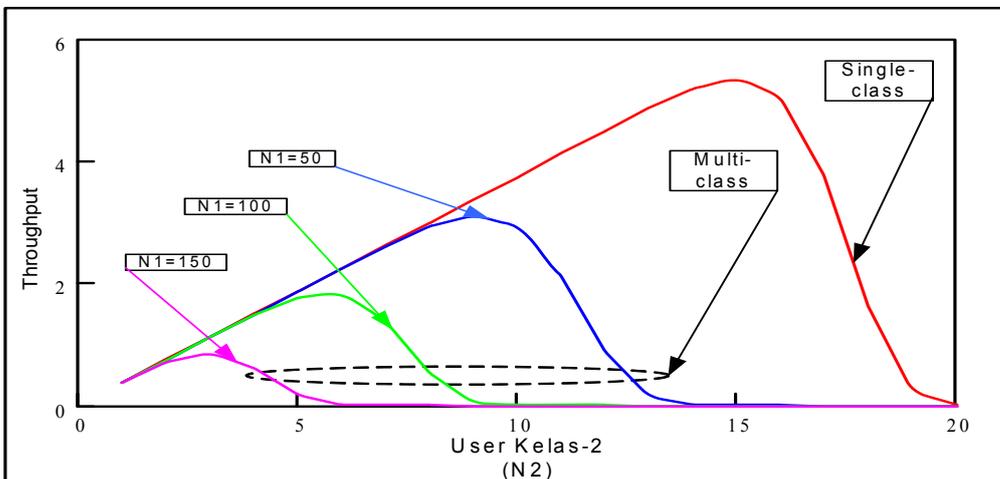
Gambar 8c Throughput multi-cell, single class dengan activity vector (α) = 1 dengan standar deviasi (σ) yang berubah-ubah

Gambar 9a–9c menunjukkan nilai *throughput multi-cell, multi-class* dengan kontrol daya tidak sempurna pada faktor aktifitas (α) = 3/8. variabel pada penelitian ini sama dengan variabel yang digunakan pada Gambar 8, kecuali ada penambahan user suara (N1) yang mempunyai nilai berubah-ubah. Pengaruh penambahan user suara (N1) terhadap *throughput* dapat dilihat pada Gambar 9a-9c. Dari gambar tampak bahwa perubahan yang terjadi akibat penambahan *user* suara (N1), semakin besar kapasitas N1 terlihat nilai *throughput* akan semakin menurun. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh interferensi multi-class, sehingga semakin besar nilai kapasitas user suara maka kanal yang digunakan untuk komunikasi data akan semakin kecil yang berdampak pada *throughput* akan mengecil juga. Selain itu juga akibat dari penambahan N1 akan menginterferensi user acuan (N2).

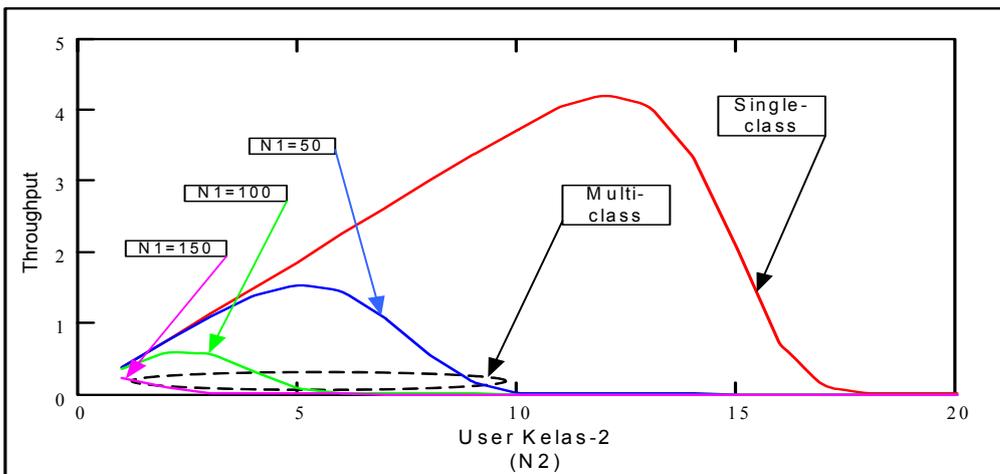
Pengaruh pengendalian daya pada *multi-cell multi-class* juga dapat dilihat pengaruhnya pada Gambar 9a-9c. Dengan perubahan *shadowing* dengan standar deviasi (σ) > 0, menyebabkan pengendalian daya menjadi tidak sempurna, yang berdampak pada penurunan *throughput*. Hal ini karena semakin besar nilai standar deviasi (σ) maka nilai *mean total* (m_{tot}) dan varian total (σ_{tot}) akan menjadi semakin besar. Dan ini berarti daya interferensi yang menginterferensi user lain juga akan semakin besar sehingga menyebabkan menurunnya performansi pada *throughput* sistem CDMA.



Gambar 9a Throughput multi-cell, multi-class dengan activity vector (α) = 3/8 dan standar deviasi (σ) = 1 dengan user-kelas-1 (N1) yang berubah-ubah

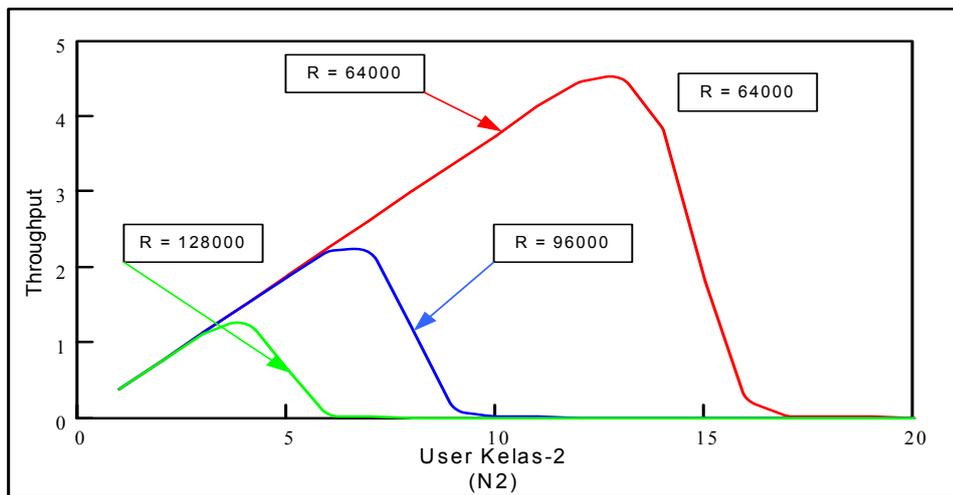


Gambar 9b Throughput multi-cell, multi-class dengan activity vector (α) = 3/8 dan standar deviasi (σ) = 2 dengan user-kelas-1 (N1) yang berubah-ubah



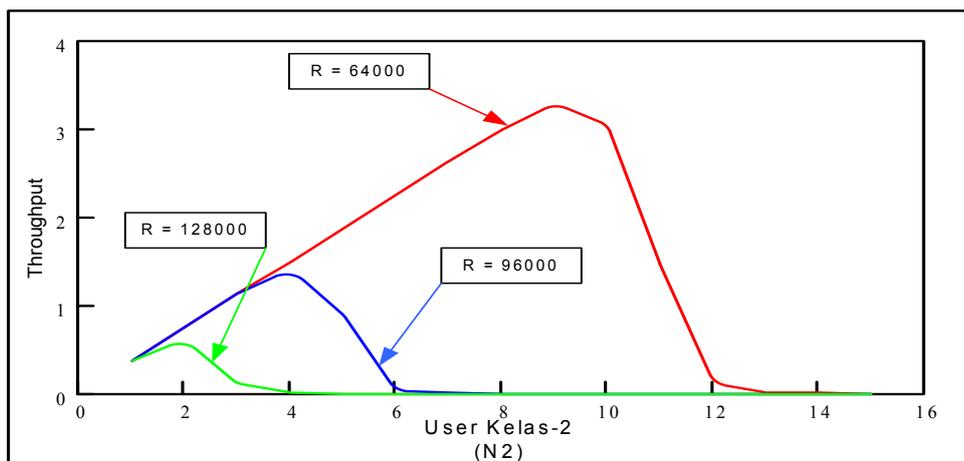
Gambar 9c Throughput multi-cell, multi-class dengan activity vector (α) = 3/8 dan standar deviasi (σ) = 3 dengan user-kelas-1 (N1) yang berubah-ubah

Pengaruh *throughput* terhadap perubahan *bit rate*, adalah besarnya *bit rate* akan mempengaruhi daya dari sinyal. Semakin besar *bit rate* maka daya sinyal akan semakin besar. Perubahan *throughput* akibat perubahan *bit rate* ditunjukkan pada Gambar 10 dari gambar terlihat bahwa besarnya *throughput* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya *bit rate*. Hal ini karena semakin besar *bit rate* maka daya yang dibutuhkan untuk memancarkan sinyal akan semakin besar pula, karena kebutuhan daya adalah sebanding dengan *bit ratenya*. Dengan daya yang besar ini berarti interferensi pada sistem akan menjadi lebih besar, yang berarti penurunan terhadap *throughput*.



Gambar 10 *Throughput multi-cell, multi-class* dengan *activity vactor* (α) = 3/8, standar deviasi (σ) = 1, dan user-kelas-1 (N_1) = 50 dengan *bit rate* (R) yang berubah-ubah

Gambar 11 menunjukkan perubahan *throughput* akibat *bit rate* yang berubah-ubah dengan faktor aktifitas (α) = 3/8, standar deviasi (σ) = 1, dan *user* suara (N_1) = 100 dengan membandingkan Gambar 10 dengan 11 terlihat bahwa dengan bertambahnya *user* suara maka *throughput* akan menurun, karena semakin besar *user* suara maka kanal yang digunakan untuk *user* suara akan semakin besar, sehingga kanal untuk *user* data akan mengecil yang berdampak pada menurunnya *throughput*.



Gambar 11 *Throughput multi-cell, multi-class* dengan *activity vactor* (α) = 3/8, standar deviasi (σ) = 1, dan user-kelas-1 (N_1) = 100 dengan *bit rate* (R) yang berubah-ubah

KESIMPULAN

Dari uraian sebelumnya terutama penurunan rumus dan analisa hasil perhitungan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Kontrol daya adalah salah satu faktor yang paling penting dalam sistem CDMA. Dengan kontrol daya yang sempurna dapat memberikan kinerja yang lebih baik pada sistem CDMA.
2. Dengan faktor aktifitas yang berubah ubah didapat suatu hasil, dimana semakin besar faktor aktifitas maka *throughput* pada *single-cell single-class* akan semakin tinggi.
3. Dampak dari pemakaian kanal bersama (*multi-class*) antara suara dan data, menunjukkan penurunan nilai *throughput* dengan semakin bertambahnya jumlah *user* suara.
4. Perubahan *throughput* dari *single-cell* ke *multi-cell* pada faktor aktivitas = 3/8 adalah penurunan sebesar 35,15 %. Hal ini membuktikan sel yang berada di sekelilingnya (2 tier) memberikan interferensi yang cukup besar ke sel referensi, ini dikarenakan sistem CDMA pada setiap selnya menggunakan frekuensi yang sama.
5. Besarnya *throughput* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya *bit rate*. Hal ini karena semakin besar *bit rate* maka daya yang dibutuhkan untuk memancarkan sinyal akan semakin besar pula, karena kebutuhan daya adalah sebanding dengan *bit ratenya*.
6. Dengan bertambahnya *user* suara maka *throughput* akan menurun, karena semakin besar *user* suara maka kanal yang digunakan untuk *user* suara akan semakin besar, sehingga kanal untuk *user* data akan mengecil yang berdampak pada menurunnya *throughput*.

DAFTAR PUSTAKA

- Garg, V.K., Smolik, K., and Wilkes, J.E., 1997, *Application of CDMA in Wireless/Personal Communications*, Prentice Hall Inc.
- Gilhausen, K.S., 2009, *On the Capacity of a cellular CDMA System*, IEEE Trans. On Veh. Tech. Vol. 40, No.2.
- Hansen, M.G., and Prasad. R., 2009, *Capacity, Throughput and Delay Analysis of a Celluler DS CDMA System With Imperfect Power Control and Imperfect Sectorization*, IEEE Trans. On Veh. Tech. Vol. 44 No.1.
- Kim, D.H., and Sun, W., 2011, *The Effect of Multirate data Transmission on Spectral Efficiency in DS/CDMA Cellular Systems*, IEEE Trans. Communications, Vol. E83-B, No.5.
- Lee, J.S., and Miller, L.E., 1998, *CDMA System Engineering Handbook*, Artech House Inc.
- Prasad, R., 1996, *CDMA For Wirelss Personel Communications*, Artech House.
- Sandouk, A., Yamazato, T., and Katamaya, M., 2009, *An Integrated Voice/Data CDMA Packet Communication with Multi-Code CDMA Scheme*, IEICE Trans. Fundamental, Vol. E-82-A, No. 10.
- Vannithamby, R., and Sousa, E.S., 2010, *Performance of Multirate Data Traffic Using Variable Spreading Gain in the Reverse Link Under Wideband CDMA*, IEEE Vehicular Technology Conference.
- Wang, M., and Kohno, R., 2008, *A Novel Wireless Multimedia CDMA System Based on Adaptive Chip/Bit Rate Control*, IEICE Trans. Fundamentals Vol. E81-A, No. 11.
- Wu, J., and Kohno, R., 2011, *A Wireless Multimedia CDMA System Based on Transmission Power Control*, IEEE J. Select. Areas Communications, p. 683.

DESAIN SISTEM KENDALI MESIN PCB MILLING BERBASIS IMAGE PROCESSING

Slamet Budiprayitno¹, Eko Setijadi², Septian Dwi Chandra³, Angga Rian Pranaka⁴

^{1,2,3,4}Jurusan D3 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS Surabaya

e-mail :¹slamet@elect-eng.its.ac.id, ²ekoset@ee.its.ac.id, ³septian.d.chandra@gmail.com,

⁴angga.rian99@gmail.com

ABSTRACT

Printed Circuit Board (PCB) is a major requirement in the manufacture of electronic circuits. PCB layout generally printed using etching techniques. Etching process using a liquid chemical dissolution ferric chloride (FeCl₃) which causes the copper layer is lost and remains partially covered layer so as to produce a track on the PCB. In this paper we describe a new method of control system design PCB milling machine using microcontroller-based image processing which can produce a track on the PCB. The goal is to produce appropriate technologies that can support the creative industries scored PCB layout and can overcome the obstacles encountered in the process of making the PCB ECO Green (environmentally friendly). PCB image formed is assumed to have been stored in the form of images that we use in the processing of image processing and edge detection method moore neighborhood to get the coordinates of the edge of the PCB track will be designed. Software used is MATLAB and mechanical propulsion control systems using AVR microcontroller. in this reasearch, we perform testing on mechanical processes, while replacing the drill with a ball-point pen to see if it can follow the processed image. Test results on a simple picture shows that the system can function properly. This machine is able to create an image of the plant with a size of 20x30cm with accuracy up to .0025 to 0.003 mm.

Keywords: PCB, milling, image processing, edge detection and moor neighborhood

PENDAHULUAN

Dunia industri di indonesia yang semakin berkembang, menuntut praktisi elektronik (UKM, Peneliti, Pelajar dan Pengampu) yang dalam aktifitasnya membutuhkan PCB untuk mengembangkan penelitiannya sehingga menjadi produk jadi. Tidak menutup kemungkinan para penggemar elektronik (*hobbyist*) juga memerlukan PCB untuk merealisasikan ide - idenya. Keadaan ini menyebabkan kebutuhan akan PCB semakin meningkat.

Kendala yang dihadapi dalam pembuatan PCB biasanya sulitnya proses penyablonan, proses menghilangkan tembaga dengan *ferrychloride* (FeCl₃), proses pengeboran PCB menggunakan bor duduk juga memerlukan waktu yang cukup lama. Kendala tersebut mempengaruhi efisiensi waktu tenaga dan biaya dan ketelitian.

Beberapa penelitian banyak dilakukan, dan umumnya menggunakan *G-Code* yang diolah oleh komputer untuk menggerakkan mesin (*Computer Numerical Code*) *CNC milling*. seperti yang dilakukan oleh [Dityo K D, 2011] dan [Dalmasius & Tinton, 2011]

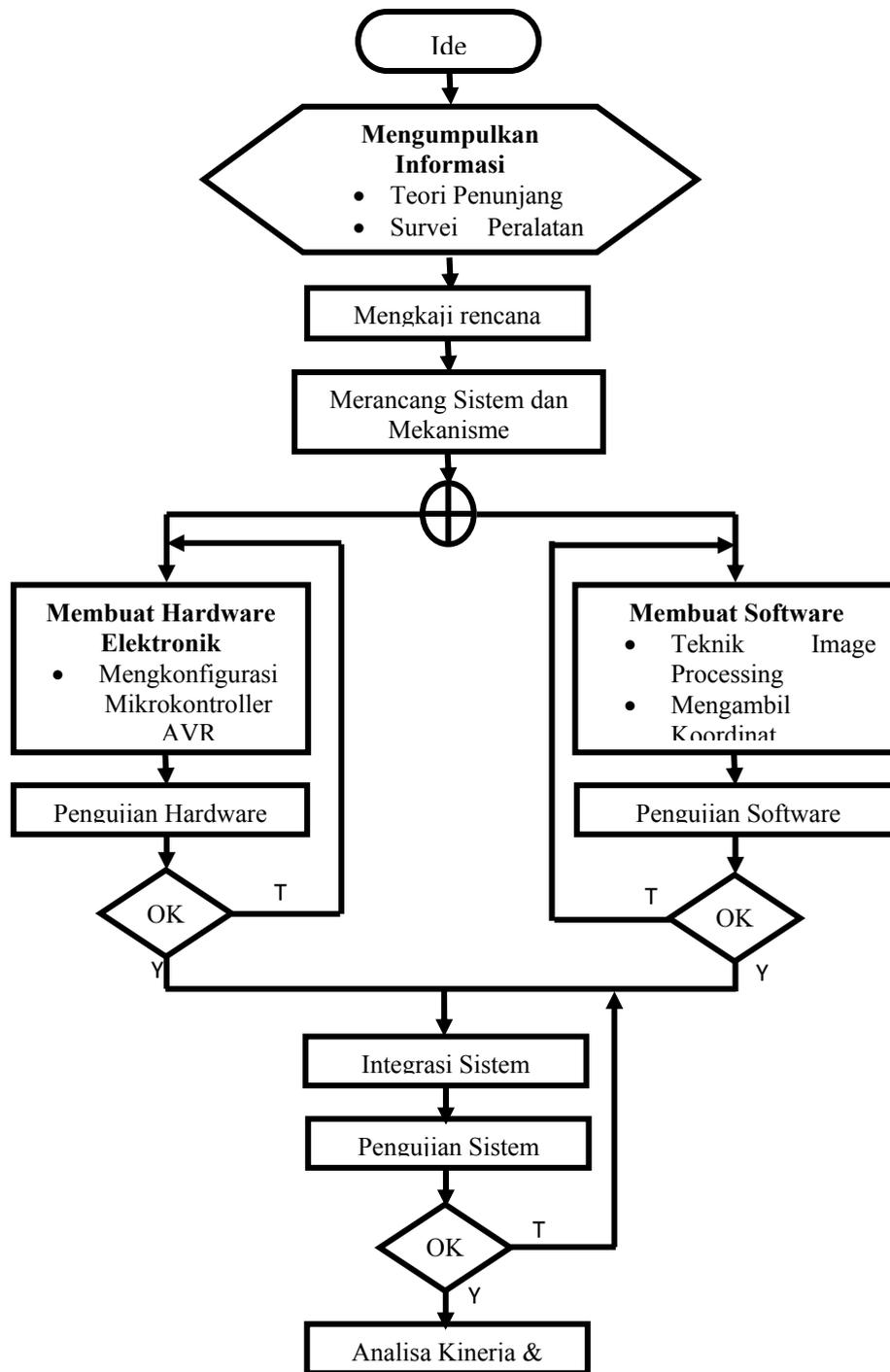
Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis mengajukan sebuah penelitian dengan teknik baru dalam pembuatan mesin PCB *milling*. desain sistem kendali mesin PCB *milling* ini menggunakan *image processing* sehingga diharapkan dapat menjadi teknologi tepat guna yang mampu membuat layout PCB dan mampu mengatasi kendala yang dihadapi dalam proses pembuatan PCB. Software yang dipakai untuk pengolahan *image* masih menggunakan MATLAB dan terintegrasi dengan hardware pengendali mekanik yang menggerakkan motor *stepper* menggunakan mikrokontroler AVR.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hardware yang terdiri dari : 1) alat ukur Avo meter; 2) Penggaris / Meteran; 3) Downloader AVR
2. Software yang terdiri dari : 1) *MATLAB*; 2) *software editor Geany* dengan *compiler* menggunakan AVR GCC
3. Alat pendukung berupa prototipe Mesin PCB *Milling*.

Metode Penelitian yang kami gunakan meliputi rangkaian strategi yang digunakan dalam melaksanakan kegiatan penelitian. Strategi kami gambarkan dalam sebuah skema alur penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1



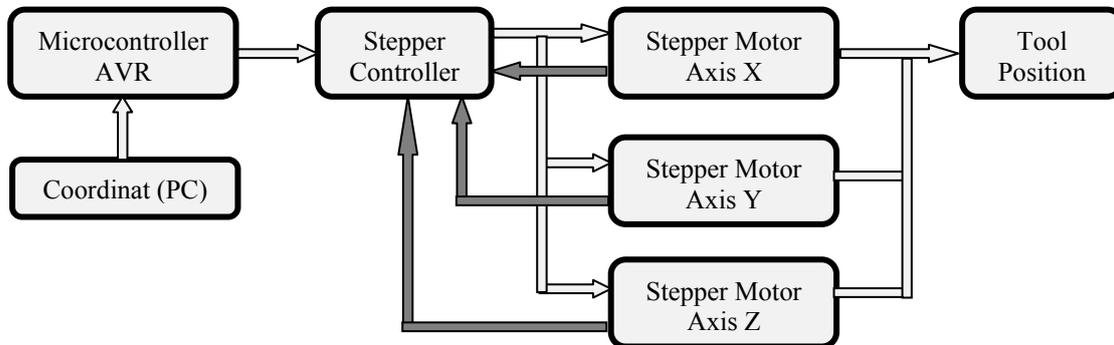
Gambar 1. Alur Metode Penelitian

PEMBAHASAN

Berdasarkan alur penelitian sistem kendali mesin PCB *milling* berbasis image processing perencanaannya terbagi dalam 3 bagian. Bagian tersebut antara lain bagian perancangan mekanik, pengolahan image untuk mendapatkan koordinat dan penggerak mekanik yang di kendalikan oleh mikrokontroler. Blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengolahan Image Untuk Mendapatkan Koordinat. Gambar PCB yang akan dibuat diasumsikan dalam bentuk *image*. Gambar tersebut diolah dengan menggunakan *image processing*

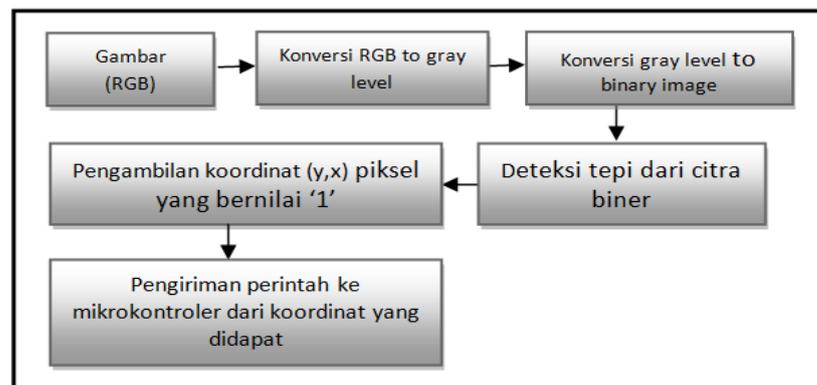
menggunakan MATLAB sehingga didapatkan urutan koordinat garis. Koordinat tersebut kemudian dikirim ke Mikrokontroler untuk dapat direpresentasikan ke koordinat sebenarnya (koordinat mekanik) melalui komunikasi serial dengan sistem *interrupts* sehingga tidak mengganggu kinerja dari mikrokontroler. Sehingga dapat disimpulkan PC dan mikro mempunyai fungsi masing – masing.



Gambar 2. Blok diagram sistem komplek

Pengolahan citra atau *image processing* adalah suatu metode yang digunakan untuk memproses atau memanipulasi gambar dalam bentuk 2 dimensi [Gonzalez & Woods, 2002]. Citra disebut juga gambar atau *image*. *Image processing* adalah suatu bentuk pengolahan atau pemrosesan sinyal dengan input berupa gambar (*image*) dan ditransformasikan menjadi gambar lain sebagai keluarannya dengan teknik tertentu. Citra menurut kamus *Webster* adalah suatu representasi, kemiripan, atau imitasi dari suatu objek atau benda. [Idhawati, 2013]

Pengolahan citra digital dalam penelitian ini, bertujuan untuk mentransformasikan koordinat citra digital kedalam koordinat vektor agar dapat digambar ulang. Secara rinci pengolahan citra digital ini mengolah citra berwarna (RGB) menjadi citra yang berupa garis tepi dari citra aslinya dan berwarna hitam putih, garis tepi citra nantinya akan berwarna putih dan yang bukan garis tepi akan menjadi berwarna hitam. Dari hasil tersebut akan dicari nilai koordinat pixel dari garis/kontur yang berwarna putih, didapatkan deretan koordinat [x,y] yang kemudian koordinat – koordinat tersebut akan dikirim ke mikrokontroler dan dikonversi sesuai koordinat plant berukuran kertas A4.



Gambar 3. Blok diagram proses pengolahan citra

Proses pertama untuk mendapatkan citra biner, dilakukan dengan proses segmentasi, dimana Segmentasi gambar merupakan sebuah proses dimana dalam proses tersebut terjadi pemisahan objek – objek pada suatu gambar yang telah dipilih.

Kemudian diproses kembali dengan deteksi tepi yang berfungsi untuk memperoleh tepi objek. Deteksi tepi memanfaatkan perubahan nilai intensitas yang drastis pada batas dua area. Definisi tepi di sini adalah “himpunan piksel yang terhubung yang terletak pada batas dua area” [Gonzalez & Woods, 2002]. Deteksi tepi Sobel merupakan proses dari sebuah konvolusi yang telah di tetapkan terhadap citra yang terdeteksi. Dalam operator sobel digunakan matrik konvolusi 3 X 3 dan susunan piksel-pikselnya di sekitar pixel (x, y) seperti bagan berikut:

P1	P2	P3
P8	(x,y)	P4
P7	P6	P5

Gambar 4. Matriks Operator Metode Sobel

dengan kernel *vertical* (S_y) dan *horizontal* (S_x) sebagai berikut:

$S_x =$	-1	0	1
	-2	0	2
	-1	0	1

$S_y =$	-1	-2	-1
	0	0	0
	1	2	1

Gambar 5. Kernel Matriks Konvolusi Sobel

Dengan proses konvolusi $G_x = f(x,y)*S_x$, dan $G_y = f(x,y)*S_y$. Sehingga besar gradient dapat di hitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S_x = (P_2 + CP_2 + P_3) - (P_1 + CP_1 + P_7) \dots\dots\dots (1)$$

$$S_y = (P_1 + CP_1 + P_7) - (P_2 + CP_2 + P_3) \dots\dots\dots (2)$$

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \dots\dots\dots (3)$$

Proses selanjutnya adalah proses pengambilan nilai koordinat [x y] piksel gambar yang merupakan hasil deteksi tepi yang dihasilkan dari metode *sobel*. Metode yang digunakan untuk pengambilan koordinat piksel adalah menggunakan algoritma pelacakan kontur atau disebut dengan algoritma *moore neighborhood tracing*.

Moore Neighborhood adalah metode pelacakan kontur dengan konsep 8 - ketetanggaan piksel yang tersusun atas kernel matriks 3x3, matriks 3x3 berisi himpunan dari 8 piksel yang berbagi simpul atau tepi dengan piksel itu. Piksel ini yaitu piksel P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 dan P8. [Young, Theodore, Gerbrands, Jacob, Vliet, & Jozef, 1998].

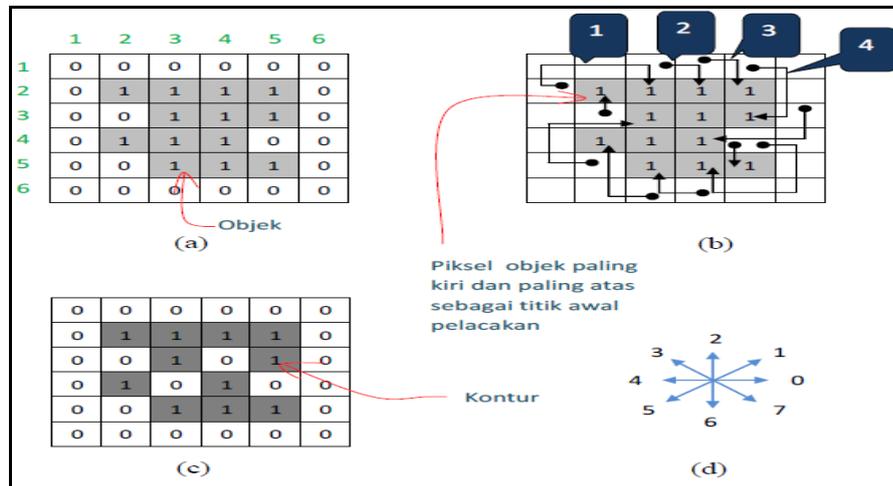
	P1	P2	P3	
	P8	P	P4	
	P7	P6	P5	

Gambar 6. Matriks 8x8 Moore Neighborhood

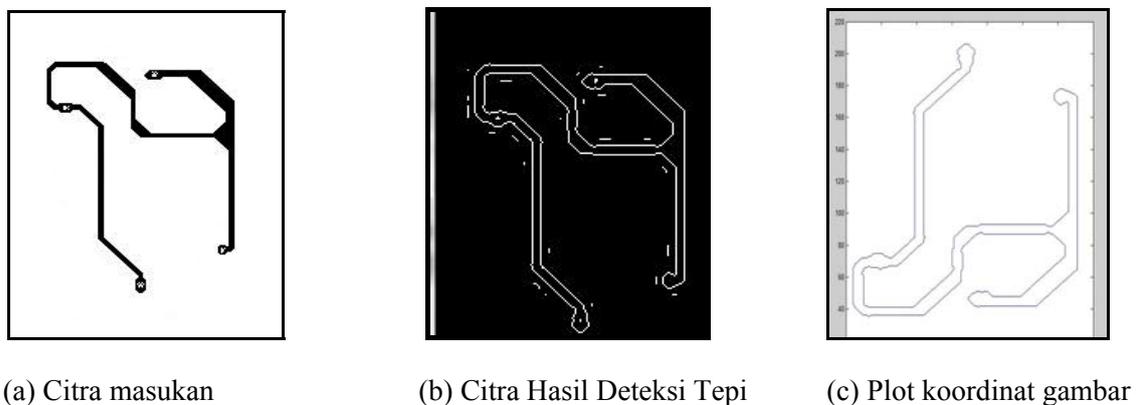
Algoritma *Moore Neighborhood* akan membuat indeks pertama dan indeks terakhir pada kontur berisi nilai yang sama. Cara kerja algoritma ini adalah dengan mencari piksel awal yang bernilai '1' untuk dijadikan titik awal pelacakan mencari piksel tetangga yang bernilai '1', langkah pelacakan. Untuk memahami cara kerja algoritma *Moore Neighborhood*, perhatikan Gambar 6.

Gambar 7 (a) menyatakan keadaan objek pada citra. Piksel yang bernilai 1 menyatakan bagian objek dan yang bernilai 0 adalah bagian latar belakang. Pada contoh tersebut, pelacakan akan dimulai pada posisi (2,2), yaitu piksel bagian objek yang terletak paling kiri dan paling atas. Adapun titik pencarian untuk piksel kedua dimulai di arah barat atau arah kiri piksel (2,2) tersebut. Pencarian dilakukan searah jarum jam. Pada langkah pertama, diperoleh piksel pada posisi (2,3). Pencarian

berikutnya akan dimulai di posisi (1,3), yaitu yang ditandai dengan bulatan. Pada pencarian kedua, piksel yang didapat, yaitu posisi (2,4), dengan titik pencarian berikutnya dimulai di posisi (1,4). Pada pencarian ketiga, piksel yang didapat adalah pada (2,5), dengan titik pencarian berikutnya dimulai di posisi (1,5). Pada pencarian keempat, piksel yang didapat yaitu (3,5), dengan titik pencarian berikutnya dimulai di posisi (3,6). Jika langkah seperti itu terus diulang, suatu ketika akan diperoleh piksel yang sama dengan piksel yang pertama kali menjadi bagian kontur. Saat itulah proses untuk melacak kontur diakhiri.



Gambar 7. Alur algoritma Moore Neighborhood



Gambar 8. (a,b,c) Hasil pengujian menggunakan MATLAB pada image layout PCB

Desain Mikronkontroler Dan Sistem Kendali Mekanik Motor Stepper. Minimum sistem AVR ATmega16 ini berfungsi sebagai pusat pemrosesan data yang telah dikirim dari PC ke mikrokontroler. Mikrokontroler ini memiliki dua fungsi utama yaitu untuk mengkonversi data yang berasal dari PC dan mengolah data tersebut untuk menggerakkan motor stepper dan servo.

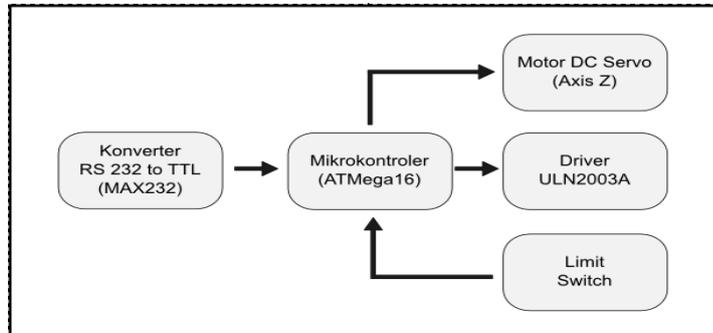
Selain kedua fungsi utama tersebut, mikrokontroler juga digunakan untuk beberapa fungsi tambahan seperti limit switch, untuk membatasi titik akhir perpindahan tiap axis, dan untuk menampilkan status di LCD 16x2.

Penggunaan masing-masing port I/O mikrokontroler ATmega16 dalam sistem ini adalah sebagai berikut:

- Port A → Pinout untuk tampilan LCD
- Port B → Untuk Motor Servo dan input Limit Switch
- Port C → Sebagai pemberi sinyal step untuk Motor Stepper
- Port D → Sebagai komunikasi serial

Program pada *Hardware* Mikrokontroler AT-Mega. Program pada mikrokontroler AT-Mega 16 dengan menggunakan *software editor* Geany dengan *compiler* menggunakan AVR GCC, perancangan program pada mikrokontroler ini digunakan untuk mengkalibrasi posisi x,y mekanik.

Program penerimaan data dari matlab secara serial, data yang diterima dari matlab akan diolah untuk menggerakkan mesin penggambar.



Gambar 9. Blok Diagram Sistem Kendali Mekanik

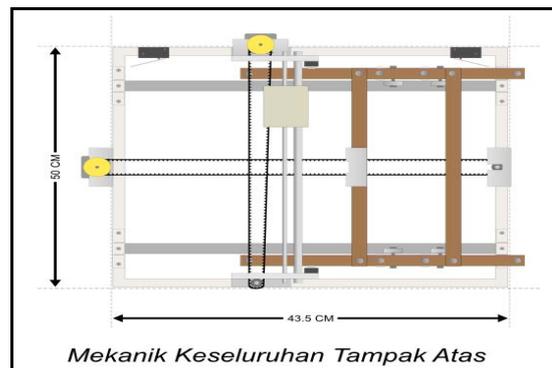
Algoritma kalibrasi mesin penggambar, adalah sebagai berikut:

- Tekan tombol restart pada sistem minimum ATMega 16
- Motor y dan x akan bergantian mencari titik 0 koordinat.
- Setelah didapat titik 0, motor y,x bergantian mencari titik maksimal.
- Setelah titik maksimal didapat, motor y,x akan bergantian menuju titik awal.
- Proses kalibrasi selesai.
- Sistem mikrokontroler siap menerima perintah dari matlab.

Algoritma perancangan mikrokontroler untuk penerimaan data ini adalah:

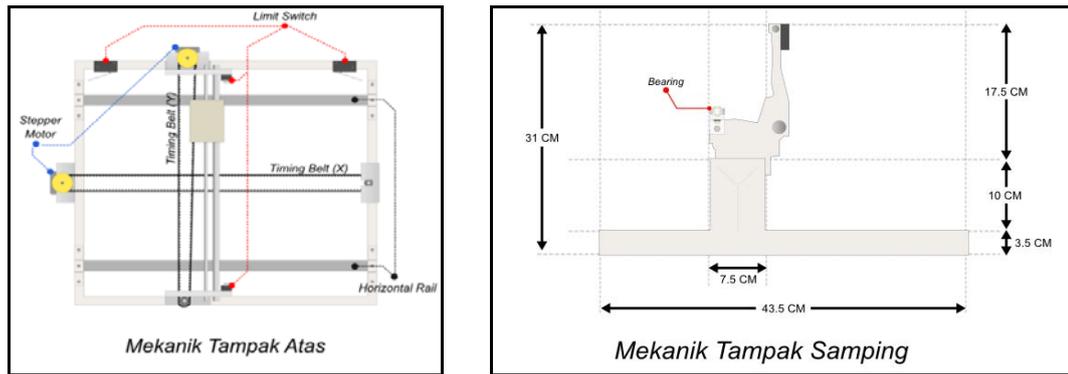
- Menggunakan komunikasi serial RS-232
- Menggunakan perintah `getchar()` untuk menerima data karakter yang dikirim dari MATLAB.
- Pengiriman karakter menentukan pergerakan motor untuk menggambar dengan sistem *interrupt*.

Desain Mekanik. Perancangan mekanik yang dibuat terbagi menjadi empat bagian yaitu kerangka utama, *linear glide* untuk axis X, *linear guide* untuk axis Y, dan mekanik *milling*. Rancangan mekanik secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 11.



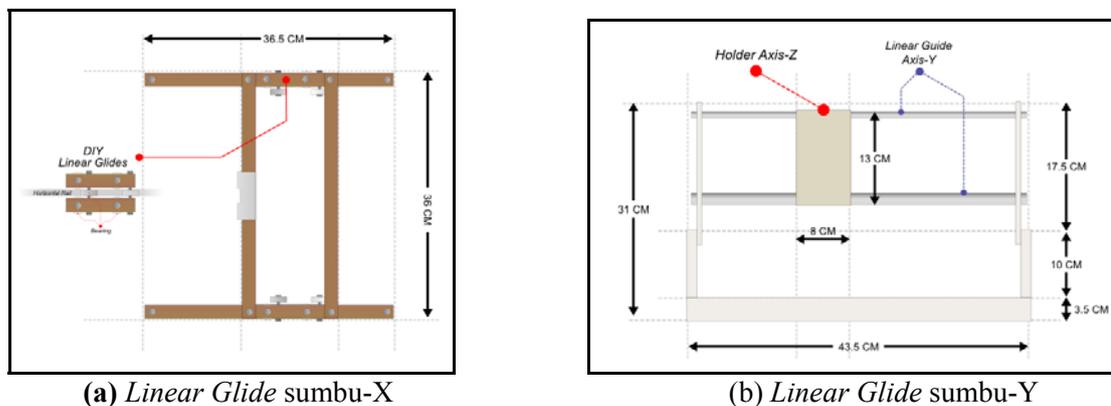
Gambar 10. Rancangan Mekanik Sistem

Perancangan Kerangka Utama. Kerangka utama berfungsi untuk menopang keseluruhan mekanik dan bagian elektromekanik. Motor stepper, limit switch, rel atau jalur, dan lainnya dipasang di kerangka utama.



Gambar 11. Kerangka Utama

Perancangan *Linear Glide*. *Linear Glide* Sumbu-X ini berfungsi sebagai mekanik yang dapat bergerak bebas di sumbu x. *Linear Guide* Sumbu-Y Fungsinya adalah sebagai jalur atau rel untuk mekanik sumbu Y. Pada mekanik sumbu-y, terdapat holder untuk mekanik sumbu-z. Untuk sumbu-z terdapat sebuah motor DC servo sebagai penggerak *milling*.



Gambar 12. Desain Linear Glide

Pengujian Ketelitian Kerja Mekanik Per Pixel Pada *Axis-X*. Tabel 1 merupakan Hasil Pengujian Ketelitian Kerja Mekanik Per Pixel pada *Axis-X*. Dari pengujian ini disimpulkan ketelitiannya 0,0025 mm per Pixel. Pada Hasil Pengujian Ketelitian Kerja Mekanik Per Pixel Pada *Axis-Y* diperlihatkan pada Tabel 2.

Table 1. Hasil Pengujian Ketelitian Kerja Mekanik Per Pixel pada *Axis-X*

Jumlah Perintah	Hasil Penggambaran (Cm)
100	2,5
200	5,5
300	8,5
400	10,2
500	13,5
600	15,8

Table 2. Hasil Pengujian Ketelitian Kerja Mekanik Per Pixel pada *Axis-Y*

Jumlah Perintah	Hasil Penggambaran (Cm)
100	3
200	5,9
300	8,6
400	11,5
500	14,3
600	17,5
700	19,9

Sebagaimana diperlihatkan pada Pengujian Waktu Penggambaran diperlihatkan pada Tabel 3. Uji waktu penggambaran berdasarkan jumlah piksel dengan delay per-piksel 0,001 second.

Table 3. Hasil Pengujian Waktu Penggambaran

Jumlah Piksel	Waktu Penggambaran (Detik)
1197	33,92
610	15,76
12	1
2802	54

KESIMPULAN

Alat yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat bekerja dengan cukup baik jika Gambar yang dimasukkan memiliki piksel yang utuh, apabila ada lubang 1 piksel maka pengambilan koordinat piksel tidak sempurna karena menggunakan 8 piksel tetangga (Algoritma *Moore Neighborhood*). Algoritma *Moore Neighborhood* hanya dapat melacak koordinat gambar 1 pola.

Mesin *Milling* ini mampu membuat jalur *PCB* dengan ukuran 20x30cm dengan ketelitian hingga 0,0025mm dengan kecepatan 0,001 second per pixcel. Penelitian selanjutnya akan di jelaskan hasil yang didapatkan secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung dengan pendanaan dari dana **PNBP ITS 2014** dalam program **penelitian hibah pemula**. Dan tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada Eko Setijadi, ST, MT, PhD selaku penasihat dan pembimbing dalam penelitian ini dan kepada seluruh tim yang telah bekerja dengan semangat yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Dalmasius Ganjar Subagio dan Tinton Dwi Atmaja, "*Penggunaan Perangkat Lunak Open Source Untuk Sistem Open Architecture Pada Mesin Milling CNC*", Journal Of Mechatronics, Electrical Power & Vehicular Technology, Bandung 2011.
- Dityo Kurniawan Pradana, *Rancang Bangun CNC Milling Machine Home Made Untuk Membuat PCB*, Teknologi Elektro Vol. 10 No. 1 Januari - Juni 2011, Bali, 2011
- Idhawati Hestinisih. "*Operasi –Operasi Dasar Pengolahan Citra Digital*", Ilmu Komputer.Com, 2013
- Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "*Digital Image Processing, 2nd Edition*", Prentice Hall, 2001
- Young, Ian Theodore, Gerbrands, Jan Jacob, Van Vliet, Lucas Jozef "*Fundamentals Of Image Processing*". ISBN 90-75691-01-7, NUGI 841, 1998.

KORELASI SUHU DAN INTENSITAS CAHAYA TERHADAP DAYA PADA SOLAR CELL

Subandi¹, Slamet Hani²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Email: s_subandi@gmail.com

ABSTRACT

Referring to with the rapid progress of the industry, the development of electricity as an energy source in the implementation of the housing industry and also growing. In the development of electronic goods themselves very rapidly, of course several factors supporting the development of electronic devices are increasingly diverse. To utilize the sun as a source of electrical energy is a very appropriate choice because the total of solar energy is very large and unlimited. Besides its use does not cause adverse effects on the environment, especially, when using the sun as it requires electrical energy Solar Cell that is useful to convert solar energy into electrical energy. Solar Cell consists of composed of a semiconductor material silicon and Germanium. Temperature also very influence the performance of the solar cell charging. On the measured data, so much the higher the temperature, so much the higher the voltage and current are obtained. For example, at 13.00 pm, the highest temperature of 37.6 ° C measured at the highest light intensity of 18,760 lux, thus producing a solar cell output voltage and current of 670mA of 7.46V.

Keywords: *Solar cell, electrical energy, temperature*

PENDAHULUAN

Sejalan dengan kemajuan industri yang sangat pesat, maka perkembangan akan listrik sebagai sumber energi dalam pelaksanaan industri dan perumahan juga semakin berkembang. Dalam perkembangan barang-barang elektronika sendiri sangat pesat, beberapa factor pendukungnya tentu saja perkembangan alat-alat elektronika yang semakin beragam.

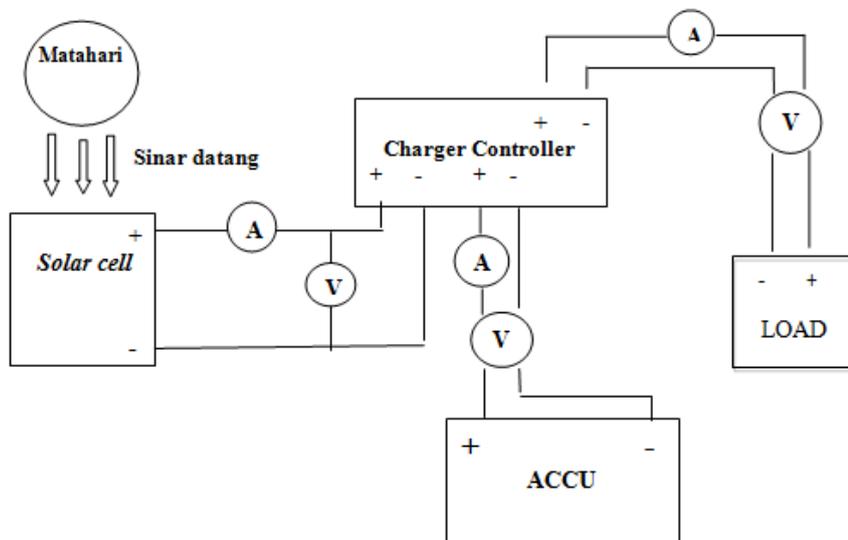
Pemanfaatan energi cahaya matahari pada setiap zaman semakin meningkat seiring dengan pengetahuan yang kita dapatkan. Salah satu pemanfaatan energi cahaya matahari adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang memanfaatkan energi foton cahaya matahari menjadi energi listrik. Indonesia sendiri, sebuah negara yang dilewati oleh garis khatulistiwa dan menerima panas matahari yang lebih banyak daripada negara lain, mempunyai potensi yang sangat besar untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya sebagai alternatif batubara dan diesel sebagai pengganti bahan bakar fosil, yang bersih, tidak berpolusi, aman dan persediaannya tidak terbatas (Rotib, 2007).

Sel surya (photovoltaic cell) bekerja dengan menangkap sinar matahari oleh sel-sel semikonduktor untuk diubah menjadi energi listrik. Sel-sel ini termuat dalam panel-panel yang ukurannya dapat disesuaikan dengan keperluannya, apakah untuk rumah tangga, perkantoran atau pembangkit listrik skala besar (Sungkar, 2006).

Pada pagi hari pukul 6.00 WIB tingkat kelembaban besar yaitu 88% dan terjadi pengembunan sambil menurunkan partikel-partikel padatan akibat polusi kendaraan bermotor dan industri ke permukaan bumi, sehingga pada saat ini kondisi atmosfer mempunyai kebeningan yang tinggi dan langit biru. Fenomena tersebut mengakibatkan pada pagi hari yang cerah pukul 9.00 WIB sel surya memiliki efisiensi terbesar yaitu dengan efisiensi 10%. Pada siang hari partikel-partikel padatan akibat polusi kembali ke angkasa, dengan meningkatnya temperatur udara gerakan partikel semakin hebat, sehingga meningkatkan hamburan radiasi surya yang masuk ke bumi. Hal ini mengakibatkan difusi ratio membesar dimana jumlah radiasi difusi lebih besar radiasi langsung, dan efisiensi sel surya pada pukul 12.00 WIB adalah sebesar 9%, lebih rendah dari pada pagi hari. Pada sore hari akibat terjadi penguapan pada siang hari dan semakin meningkatnya partikel-partikel padatan polusi di udara, sehingga indeks kecerahan terendah dimana tampak banyak awan. Selain itu radiasi surya global sangat kecil, sehingga pada sore hari sekitar pukul 17.00 WIB dengan efisiensi 3%, kemampuan sel surya menurun secara drastis (Yushardi, 2002).

METODE

Dalam melakukan pengukuran dan analisis, tahapan-tahapan dan proses perancangan alat serta sistem pengujian alat yang meliputi pengukuran intensitas cahaya, suhu, serta arus dan tegangan. Pada gambar.1 adalah blok rangkaian kerja dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya beserta pengukurannya.



Gambar 1 Rangkaian Kerja dan Sistem Pengukuran

Spesifikasi Alat, dalam perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya ini, digunakan beberapa komponen, secara umum komponen yang digunakan dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya ini dibagi menjadi beberapa bagian, yang meliputi :

Alat ukur, yang digunakan dalam pengujian untuk menganalisis Korelasi Suhu Dan Intensitas Cahaya Terhadap Arus Dan Tegangan Pada *Solar Cell* digunakan 6 buah *multimeter* yang berfungsi untuk mengukur arus dan tegangan, *luxmeter* untuk mengukur intensitas cahaya dan *thermometer* untuk mengukur naik turunnya suhu dalam pengambilan data.

Penggunaan *Solar Cell*, dalam pengujian, baterai diisi oleh *solar cell* dimana *solar cell* menghasilkan tegangan dengan cara mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik. Tegangan yang dihasilkan solar cell berkisar 14,8 – 18 volt DC. *Solar cell* yang saya gunakan yaitu panel jenis Monokristal (*Mono-crystalline*) dengan daya 10 wp.



Gambar 2 Panel Surya dengan daya10Wp dan Spesifikasi teknis panel surya

Spesifikasi dan daya panel surya yang digunakan dalam perancangan dapat dilihat pada bagian belakang panel surya seperti pada Gambar 2.

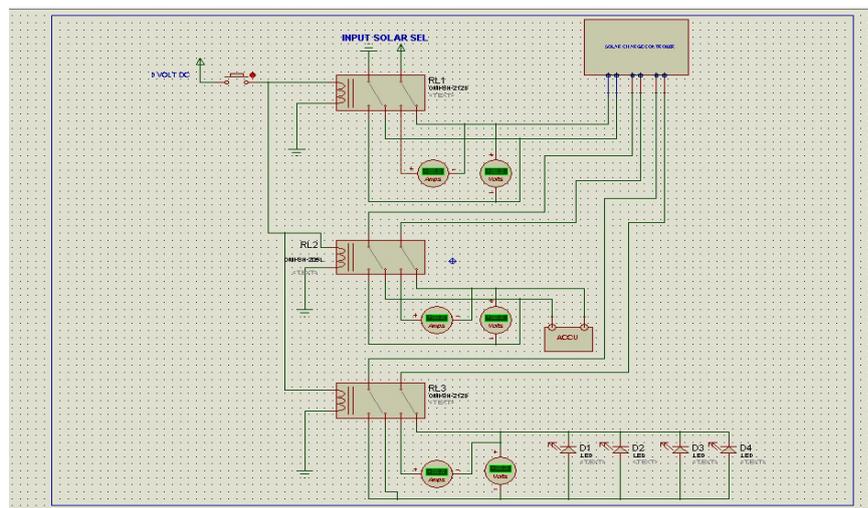
Penggunaan baterai, setelah mendapatkan output dari *solar cell* yang berupa arus listrik dapat langsung digunakan untuk beban yang dimanfaatkan, arus listrik dapat digunakan sebagai pengisian

dengan cara disimpan ke dalam baterai agar dapat digunakan pada saat yang diperlukan khususnya pada malam hari karena tidak ada sinar matahari. Apabila solar cell digunakan untuk penyimpanan ke baterai, maka besarnya tegangan yang dihasilkan diatas spesifikasi baterai-baterai yang digunakan pada rancang bangun adalah baterai sekunder. Adapun tegangan baterai adalah 12 volt 9 Ah, sebagai alasan pemilihan alat di karenakan solar cell yang digunakan sebagai sumber pengisi muatan baterai mempunyai tegangan output 14,8 – 18 volt dengan arus 0,5 Ampere, selain itu baterai ini lebih ekonomis dan mudah didapatkan dipasaran. Sebelum melaksanakan pengisian sebaiknya baterai dalam keadaan kosong karena arus yang masuk akan dapat terisi dengan maksimal.



Gambar 3. Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah alat yang berfungsi sebagai kontrol tegangan dan arus yang berasal dari output sel surya untuk menuju ke batere dan ke beban. Pada saat sel surya menerima energi foton sinar matahari tentu saja output dari sel surya tidak konstan sesuai dengan intensitas cahaya matahari. Sehingga tegangan keluaran dan arus keluaran dari sel surya juga tidak konstan dan bervariasi terus sepanjang waktu siang hari, sedangkan tegangan dan arus yang menuju batere mempunyai batasan tertentu.



Gambar 4. rangkaian panel pengukuran

Pada alat yang disebut sebagai *solar charge controller* tersebut memiliki terminal diantaranya: terminal untuk sel surya, terminal untuk batere, terminal untuk beban. Ketiga terminal tersebut dilengkapi dengan polaritas yaitu tanda (-) dan tanda (+) yang jelas agar tidak terjadi kesalahan. Box Panel Pengukuran, dalam melakukan analisis pengukuran pada *solar cell* terutama untuk pengukuran arus dan tegangan, maka perlu adanya box panel untuk

penempatan alat ukur arus dan tegangan.

Box panel ini dirancang agar dapat digunakan sebagai panel untuk penempatan multimeter dan solar charge controller. Dalam perancangan box panel ini berisi 6 unit multimeter digital yang dirangkai dengan 3 relay untuk pengukuran 2 jalur, yaitu :

1. Jika saklar pengukuran di on kan, maka relay akan dihidupkan oleh sumber baterai 9v, dan jalur pertama akan aktif sebagai jalur pengukuran, amperemeter akan terhubung seri pada pengukuran tersebut, dan pengisian akan melalui amperemeter dan voltmeter .
2. Jika saklar di off kan, maka relay akan mati dan jalur ke dua akan aktif sebagai pengisian secara langsung tanpa adanya pengukuran arus, sehingga pengisian hanya melewati voltmeter yang terhubung secara paralel .

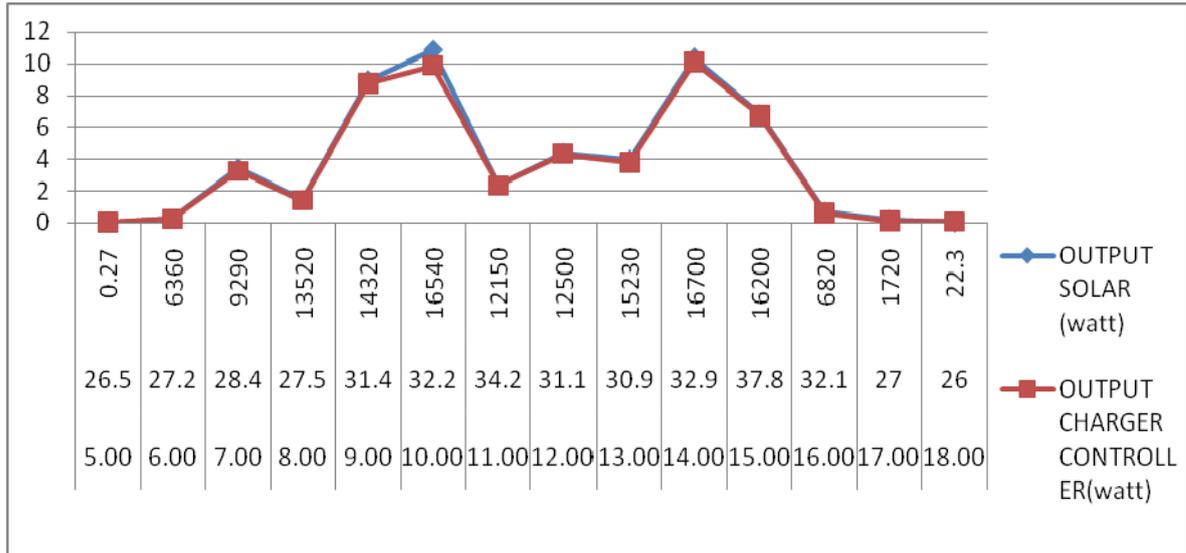
Kedua prinsip kerja tersebut dirancang agar tejanya daya tahan alat-alat ukur arus dan tegangan yang digunakan dalam analisis.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan berupa pengukuran-pengukuran yang telah dilaksanakan selama 5 hari dari pukul 05.00-18.00, maka diperoleh data-data dan grafik seperti yang ditunjukkan pada masing-masing tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 1. Pengambilan Data Pengukuran Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Arus Dan Tegangan Pada Keluaran Panel Surya hari ke 1

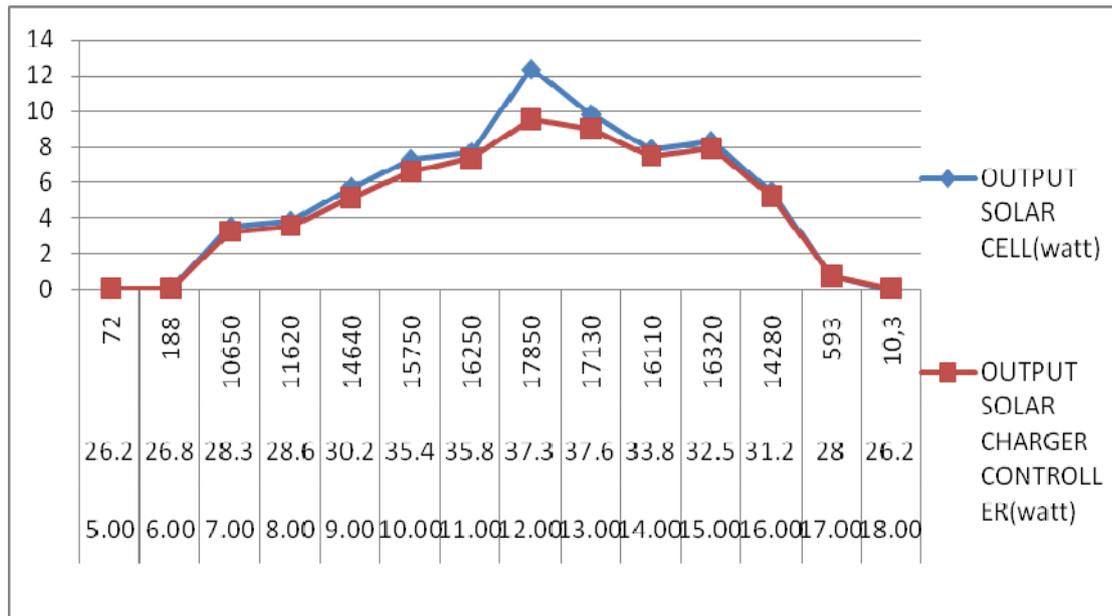
NO	TIME	FISIK		OUTPUT SOLAR			OUTPUT CHARGER CONTROLLER		
		TEMP (C)	LIGHT (lux)	V	I (mA)	W	V	I (mA)	W
1	5.00	26.5	0.27	5.68	0.277	0.00157336	5.8	1.3	0.00754
2	6.00	27.2	6360	8.28	30.1	0.249228	8.27	26.6	0.219982
3	7.00	28.4	9290	10.4	330	3.432	10.2	320	3.264
4	8.00	27.5	13520	11.95	120	1.434	11.81	118	1.39358
5	9.00	31.4	14320	12.99	690	8.9631	12.68	690	8.7492
6	10.00	32.2	16540	13.44	810	10.8864	12.98	760	9.8648
7	11.00	34.2	12150	12.38	190	2.3522	12.33	190	2.3427
8	12.00	31.1	12500	12.89	340	4.3826	12.76	340	4.3384
9	13.00	30.9	15230	12.75	310	3.9525	12.63	300	3.789
10	14.00	32.9	16700	13.7	760	10.412	13.3	760	10.108
11	15.00	37.8	16200	13.65	500	6.825	13.47	500	6.735
12	16.00	32.1	6820	12.42	55.6	0.690552	12.4	48.5	0.6014
13	17.00	27	1720	12.27	15.14	0.1857678	12.21	7.73	0.0943833
14	18.00	26	22.3	3.6	0.134	0.0004824	12.15	5.01	0.0608715



Gambar 5 Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Output Solar Cell Pada Hari ke 1

Tabel 2. Pengambilan Data Pengukuran Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Pada Keluaran Panel Surya hari ke 2

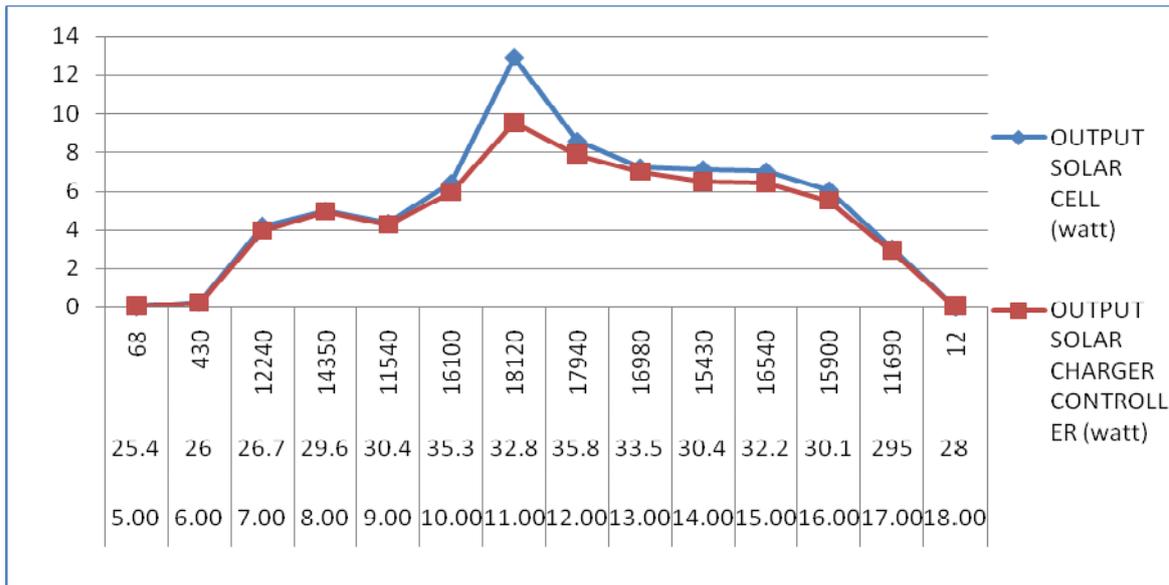
NO	TIME	FISIK		OUTPUT SOLAR CELL			OUTPUT SOLAR CHARGER CONTROLLER		
		TEMP (°C)	LIGHT (lux)	V	I (mA)	W	V	I (mA)	W
1	5.00	26.2	72	5.35	0.22	0.001177	11.86	4.5	0.05337
2	6.00	26.8	188	10.62	9.25	0.098235	9.95	4.1	0.040795
3	7.00	28.3	10650	10.94	320	3.5008	10.83	300	3.249
4	8.00	28.6	11620	11.23	340	3.8182	11.12	320	3.5584
5	9.00	30.2	14640	12.99	440	5.7156	12.02	430	5.1686
6	10.00	35.4	15750	13.28	550	7.304	12.45	530	6.5985
7	11.00	35.8	16250	13.45	570	7.6665	12.93	570	7.3701
8	12.00	37.3	17850	17.42	710	12.3682	13.48	710	9.5708
9	13.00	37.6	17130	14.24	690	9.8256	13.27	680	9.0236
10	14.00	33.8	16110	13.57	580	7.8706	12.95	580	7.511
11	15.00	32.5	16320	13.65	610	8.3265	13.03	610	7.9483
12	16.00	31.2	14280	13.38	410	5.4858	13.1	400	5.24
13	17.00	28	593	12.65	60.3	0.762795	12.4	60.3	0.74772
14	18.00	26.2	10,3	5.46	0.13	0.0007098	11.98	5.12	0.061338



Gambar 6 Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Output Solar Cell Pada Hari ke 2

Tabel 3. Pengambilan Data Pengukuran Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Pada Keluaran Panel Surya hari ke 3

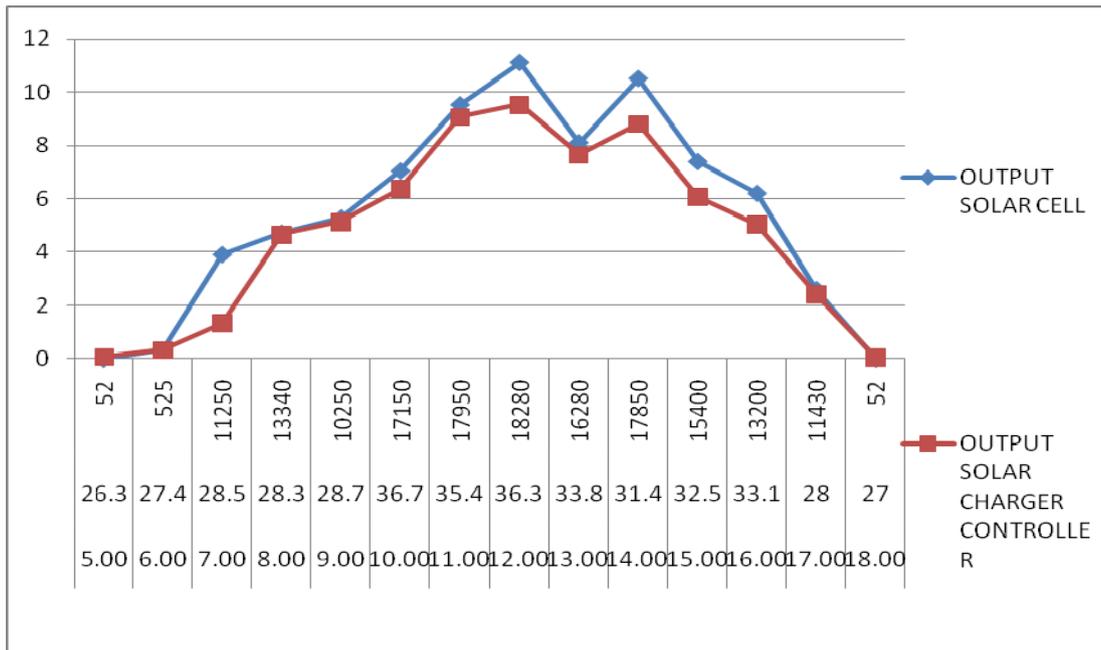
NO	TIME	FISIK		OUTPUT SOLAR CELL			OUTPUT SOLAR CHARGER CONTROLLER		
		TEMP (°C)	LIGHT (lux)	V	I (mA)	W	V	I (mA)	W
1	5.00	25.4	68	5.21	0.21	0.001094	11.92	4.3	0.051256
2	6.00	26	430	10.95	20.45	0.223928	10.45	20.41	0.2132845
3	7.00	26.7	12240	11.35	370	4.1995	11.02	360	3.9672
4	8.00	29.6	14350	12.45	400	4.98	12.4	400	4.96
5	9.00	30.4	11540	11.41	380	4.3358	11.25	379	4.26375
6	10.00	35.3	16100	12.8	500	6.4	11.92	498	5.93616
7	11.00	32.8	18120	17.89	720	12.8808	13.25	720	9.54
8	12.00	35.8	17940	14.23	602	8.56646	13.11	602	7.89222
9	13.00	33.5	16980	13.12	550	7.216	12.76	550	7.018
10	14.00	30.4	15430	14.23	500	7.115	12.98	499	6.47702
11	15.00	32.2	16540	14.31	490	7.0119	13.12	490	6.4288
12	16.00	30.1	15900	14.06	429	6.03174	12.87	429	5.52123
13	17.00	29.5	11690	12.9	234	3.0186	12.56	233	2.92648
14	18.00	28	12	2.35	0.24	0.000564	12.46	5.12	0.0637952



Gambar 7 Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Output Solar Cell Pada Hari ke 3

Tabel 4. Pengambilan Data Pengukuran Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Pada Keluaran Panel Surya hari ke 4

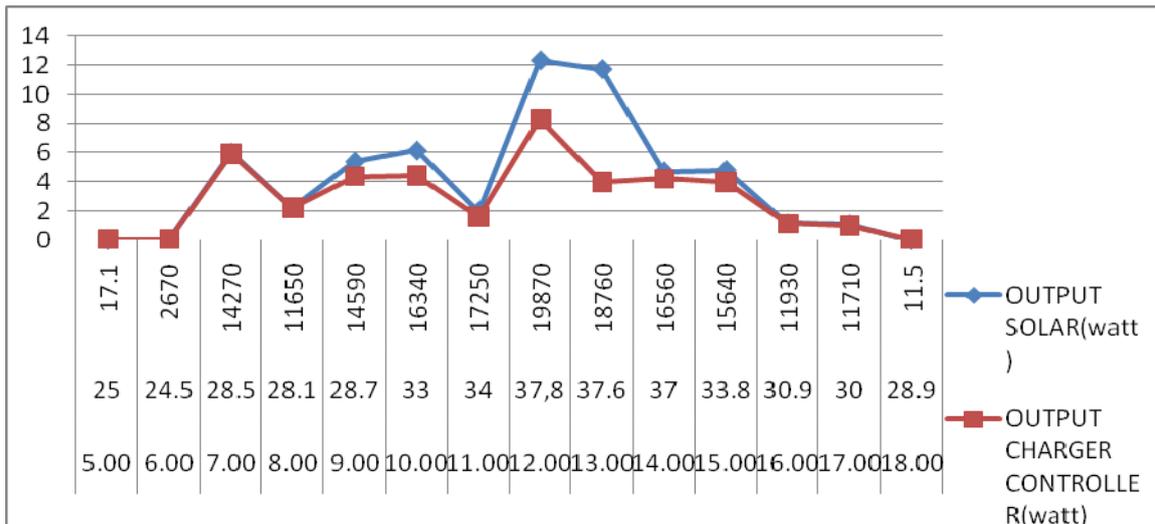
NO	TIME	FISIK		OUTPUT SOLAR CELL			OUTPUT SOLAR CHARGER CONTROLLER		
		TEMP (°C)	LIGHT (lux)	V	I (mA)	W	V	I (mA)	W
1	5.00	26.3	52	4.23	0.192	0.00081216	11.96	4.5	0.05382
2	6.00	27.4	525	11.02	30.2	0.332804	10.49	30.1	0.315749
3	7.00	28.5	11250	11.21	350	3.9235	11.15	120	1.338
4	8.00	28.3	13340	12.13	390	4.7307	11.95	390	4.6605
5	9.00	28.7	10250	12.61	420	5.2962	12.21	420	5.1282
6	10.00	36.7	17150	12.83	550	7.0565	11.8	540	6.372
7	11.00	35.4	17950	13.44	710	9.5424	12.98	700	9.086
8	12.00	36.3	18280	13.57	820	11.1274	12.72	750	9.54
9	13.00	33.8	16280	13.32	610	8.1252	12.54	610	7.6494
10	14.00	31.4	17850	15.48	680	10.5264	13.15	670	8.8105
11	15.00	32.5	15400	16.1	460	7.406	13.2	460	6.072
12	16.00	33.1	13200	16.36	380	6.2168	13.26	380	5.0388
13	17.00	28	11430	12.4	210	2.604	12.05	200	2.41
14	18.00	27	52	6.52	0.256	0.00166912	5.4	4.7	0.02538



Gambar 8. Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Output Solar Cell Pada Hari ke 4

Tabel 5. Pengambilan Data Pengukuran Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Pada Keluaran Panel Surya hari ke 5

NO	TIME	FISIK		OUTPUT SOLAR			OUTPUT CHARGER CONTROLLER		
		TEMP (C)	LIGHT (lux)	V	I (mA)	W	V	I (mA)	W
1	5.00	25	17.1	2.81	0.3	0.0008	11.94	4.95	0.059103
2	6.00	24.5	2670	11.93	10.95	0.1306	11.9	4.94	0.058786
3	7.00	28.5	14270	13.38	450	6.021	13.18	450	5.931
4	8.00	28.1	11650	12.69	180	2.2842	12.66	180	2.2788
5	9.00	28.7	14590	16.91	320	5.4112	13.72	320	4.3904
6	10.00	33	16340	17.59	350	6.1565	12.78	350	4.473
7	11.00	34	17250	17.01	120	2.0412	13.8	120	1.656
8	12.00	37,8	19870	17.56	700	12.292	12.79	650	8.3135
9	13.00	37.6	18760	17.46	670	11.698	12.97	310	4.0207
10	14.00	37	16560	13.57	350	4.7495	13.23	320	4.2336
11	15.00	33.8	15640	16.08	300	4.824	13.4	300	4.02
12	16.00	30.9	11930	13.45	91.6	1.232	13.1	89.1	1.16721
13	17.00	30	11710	13.33	87.2	1.1624	13.17	80.1	1.054917
14	18.00	28.9	11.5	2.59	0.25	0.0006	12.46	5.12	0.0637952



Gambar 9. Grafik 5 Pengaruh Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Daya Output Solar Cell Pada Hari ke 5

Percobaan pemakaian baterai

Tabel 6. Pemakaian Batere / Menit

Menit	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Keterangan
10.pertama	11,96	0, 54	Full
10 kedua	11,90	0, 54	Dipakai
10 ketiga	11, 85	0, 54	Dipakai
10 keempat	11, 75	0, 53	Dipakai
10 kelima	11,73	0, 53	Dipakai
10 keenam	11,69	0, 53	Dipakai
10 ketujuh	11,65	0, 52	Dipakai
10 kedelapan	11,59	0, 52	Kosong

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan uji coba pengambilan data dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pada proses pengisian baterai, *solar charge controller* akan mulai bekerja melakukan pengisian pada saat *range* tegangan yang dikeluarkan oleh *solar cell* lebih besar dari tegangan baterai saat *lowbatt* yaitu dengan *range* tegangan rata-rata 11V.
2. Pada distribusi arus dan tegangan dari sumber solar cell, didapat analisis bahwa walaupun setinggi-tingginya tegangan yang dihasilkan oleh sumber yaitu *solar cell* dengan tegangan nominal 17V, tetapi pendistribusiannya untuk mengisi baterai sangat stabil dengan maksimum rata-rata 13V karena semua distribusi pengisian diatur oleh *solar charger controller*.
3. Pada kenyataannya, daya keluaran maksimum yang terukur bisa mencapai hingga 12Watt diatas daya spesifikasi yang dihasilkan panel surya tersebut yaitu 10Watt.

4. Tegangan dan arus akan mulai meningkat pada pagi hari pukul 05.00WIB, kemudian akan mencapai level yang maksimum pada siang hari pukul 10.00-12.00WIB, dan turun pada saat matahari mulai terbenam pukul 18.00WIB.

DAFTAR PUSTAKA

- Rhazio, 2007, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, Institut Sains & Teknologi, Jakarta. <http://rhazio.wordpress.com>, maret 2008
- Rotib, Widy, 2001. *Aplikasi Sel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif; Dimensi Vol 4 No. 1 Juni 2001*, Institute for Science and Technology Studies (ISTECS), Jepang. Diakses 20 Februari 2012. http://istecs.org/Publication/Dimensi/dim_vol4no1_juni2001.pdf
- Sungkar, R., 2007, *Energi Surya*. Diakses 20 Februari 2012.
http://griyaasri.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=168
- Yushardi, 2002, *Pengaruh Faktor Metereologi Terhadap Pola Efisiensi Tiap Jam harian Pada Modul Sel Surya*. Diakses 20 Februari 2012. http://www.tumoutou.net/702_05123/yushardi.DOC
www.pdf-search-engine.com dan www.google.com, Media elektronik atau internet

KAREKTERISTIK KABEL JENIS NYFGbY TERHADAP PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS

Slamet Hani¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Kampus ISTA Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan Yogyakarta
Telp 0274-563029, Fax 0274-563847, Email: shan.akprind@gmail.com

ABSTRACT

One cable is often used in underground conduits is NYFGbY type cables. In addition NYFGbY cable is also used for low voltage (low voltage) that should not be energized or excessive voltage continuously. NYFGbY cable is a cable that comes with a steel shield to prevent cable damage directly resulting from the clash of the hard things, to know the nature and function of the cable in the cable guide can be maximized so that the cable used is provided in its needs. Utilization ground cable would be better than the airways and township especially. With the breakdown voltage testing can determine the ability of the cable so as not to exceed the actual capabilities compared with its rated value, so as to know the shelf life and the characteristics of the cable. From the results of tests performed on the test voltage cable failed at SPLN 43-2 / IEC 60502-1 Kabelindo NYFGbY 4x16 mm² rm 0.6 / 1.2 kV (SNI) PVC sheathed with rated voltage 0.6 / 1.2 kV, the highest voltage with the fastest time at 41 kV, and for testing with up to 300 seconds which is capable of large voltage is 32.95 kV isolation detained. That the cable is able to withstand a voltage greater than the value set by SPLN

Keywords: cable NYFGbY, breakdown voltage, PVC.

PENDAHULUAN

Salah satu peralatan penyaluran yang digunakan dalam sistem instalasi, distribusi dan transmisi adalah kabel. Dengan demikian kabel-kabel yang digunakan pada sistem distribusi dan transmisi harus memenuhi standar yang ditentukan. Baik dari segi konduktor yang digunakan, bahan isolasinya, serta keseluruhan konstruksi dari kabel. Kabel tersebut dinyatakan lulus uji dan dapat digunakan atau dipasang pada saluran distribusi dan transmisi apabila hasil pengujian yang diperoleh telah sesuai dengan kualifikasi yang dibutuhkan, yaitu dengan mengacu pada standar tertentu serta bergantung pula pada permintaan konsumen.

Karakteristik elektrik dan mekanik pada isolasi tergantung pada bahan yang digunakan, bahan dielektrik isolasi harus memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi, salah satu materi yang bisa dan dapat digunakan sebagai materi pengisolasi adalah jenis polimer plastik. Maka kualitas isolasi peralatan menentukan keandalan dan keamanan operasi sistem tenaga listrik. Sehingga perlu dilakukan pengujian terhadap komponen-komponen listrik. Pengujian dilakukan untuk menguji apakah kualitas kemampuan isolasi peralatan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan untuk peralatan tersebut.

Hal yang harus diperhatikan pada setiap kabel listrik bertegangan tinggi yaitu pada kekuatan isolasi suhu kabel tersebut, maka pada saat proses produksi awal hal yang harus diperhatikan kekuatan isolasi mencapai suhu seberapa kabel tersebut masih aman/baik sesuai dengan ketentuan standard isolasi yang ditentukan, apabila sudah terbukti baik maka kabel tersebut siap untuk dipasarkan (Sutatri dkk, 2004).

Dalam struktur molekul material isolasi, elektron-elektron terikat erat pada molekulnya, dan ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh tegangan. Bila ikatan ini putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari suatu molekul ke molekul lainnya sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut termasuk suatu ketidakmurnian (*impurity*) seperti adanya arang atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menurunkan tegangan gagal (Ariawan dkk, 2010).

Bahan isolasi digunakan untuk memisahkan bagian-bagian bertegangan atau bagian-bagian yang aktif. Untuk itu sifat kelistrikannya memegang peran yang sangat penting, namun demikian sifat mekanis, sifat termal, ketahanan terhadap bahan kimia serta sifat lainnya perlu

diperhatikan (Muhaimin 1999).

Ketahanan isolasi kabel berbahan PVC akan menurun dengan kenaikan temperatur. Hal ini disebabkan karena menurunnya impedansi bahan sebagai akibat terjadinya degradasi isolasi kabel yakni berubahnya struktur kimia dari bahan yang baik, sehingga bahan isolasi tersebut tidak stabil terhadap temperatur (Hermawan, 2006).

Pengujian dilakukan pada jenis bahan isolasi adalah untuk mengetahui kinerja isolasi, supaya kegagalan dalam operasi dapat dihindarkan sebelumnya dan memberikan suatu pengetahuan tentang bahan dari isolasi tersebut (Artono Arismunandar, 1983)

METODE

Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian terhadap tegangan tembus pada isolasi kabel. Dari hasil pengujian tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penggunaan bahan sebagai isolasi.

Untuk melakukan pengujian tersebut maka diperlukan sampel kabel. Kabel yang digunakan adalah: SPLN 43-2 / IEC 60502-1 KABELINDO NYFGBY 4x16 mm² rm 0,6/1,2 kV (SNI).

Pengujian mekanis yaitu pengujian kuat tarik (*Tensile Strength*) sesuai dengan SPLN 39-1 pasal 9 Sub ayat 43. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kuat tarik dan pemuluran dari bahan isolasi, khususnya bahan PVC. Sehingga dapat mengetahui sifat-sifat mekanik dari bahan isolasi tersebut. Pengujian ini dilakukan pada isolasi sebelum dan sesudah mengalami proses penuaan. Proses penuaan (*ageing*) dengan mencetak isolasi berbentuk helter (*Dumble*), kemudian dipanaskan didalam oven dengan suhu $\pm 80^{\circ}$ C selama 7 x 24 jam. Setelah itu baru diuji kuat tariknya. Besarnya kuat tarik (*Tensile Strength*) sebelum dan sesudah proses penuaan tidak boleh dari 20 %.

Alat Pengujian meliputi antara lain:

- Mesin kuat tarik (Zwick)
- Micrometer
- Mistar
- Spidol Artline 70

Pengambilan Contoh dan Menentukan Luas Penampang, pengujian dengan dilakukan dengan 2 x, yaitu pengujian sebelum penuaan dan pengujian setelah penuaan. Sampel untuk uji berbentuk helter atau dumble. Dengan mengukur ketebalan (*Thickness*) dan lebar (*Width*) pada helter. Lebar helter 4 mm dan diberi tanda untuk jarak pemuluran yaitu 20 mm.



Gambar 1. Bentuk Helter (*Dumble*)

Kemudian menghitung luas penampang dari helter tersebut dengan persamaan sebagai berikut :

$$A = \text{Thickness} \times \text{Width} \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- A : Luas penampang bentuk helter / *dumble* (mm²)
- W : Lebar Helter (mm)
- T : Tebal Helter (mm)

Cara Pengujian, pengujian dilakukan dengan mesin penarik (Zwick). Semua kepingan

pengujian harus disimpan pada suhu $30^0 \pm 5^0$ C paling sedikit 3 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tarik.

1. Bahan uji yang sudah dipersiapkan dijepit pada kedua ujungnya dengan penjepit (*grip*) mesin kuat tarik. Penjepit mesin penarik diperbolehkan dari jenis pengencangan sendiri.
2. Setelah kedua ujung helter dijepit, kemudian ditarik (hingga putus). Besarnya pemuluran ditentukan dengan mengukur jarak antara kedua garistanda pada saat kepingan itu putus dengan menggunakan micrometer.
3. Kecepatan pemisah (*rate of separation*) adalah : 250 ± 50 mm/menit untuk semua jarak.
4. Untuk menghitung harga kuat tarik semua beban pada saat putus harus dihubungkan dengan luas penampang dari kepingan pengujian sebelum ditarik.

$$\text{Kuat Tarik (Tensile Strength)} : \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

Tensile Strength : Kuat Tarik (kg/mm^2)

F: Breaking Force / Gaya tarik setelah putus (kg)

A: Luas penampang (mm^2)

Besarnya prosentase pemuluran saat helter ditarik hingga putus adalah :

$$\text{Elongation} : \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

L₀ : Jarak semula (mm)

L₁ : Jarak setelah beban putus (mm)

Pengujian tahanan isolasi yaitu bertujuan untuk mengetahui tahanan isolasi yang ada pada isolasi kabel, nilai tahanan isolasi harus sesuai dengan standard SPLN yaitu minimal 40 M Ω /km.

Untuk mencari nilai resistan isolasi dengan menggunakan rumus:

$$R_{min} = \frac{\text{hasil uji} \times \text{panjang kabel} \times \text{suhu}}{1000} \dots\dots\dots(4)$$

Alat pengujian: Menggunakan Megger

Cara pengujian: Pertama, Persiapkan alat megger dan kupas ujung kabel hingga terlihat penghantarnya (*Konduktor*). Kedua, Hubungkan masing-masing kedua penjepit *megger* pada ujung kabel dengan warna yang berbeda kemudian nyalakan alat tersebut dengan tegangan 500V dengan waktu kurang lebih satu menit, setelah mendapatkan nilai yang tertera pada alat tersebut kemudian dipindah penjepit alat tersebut ke kabel yang lain yang belum dilakukan pengujian.

Pengujian Tegangan *flash Over* Isolasi dan Selubung Luar, pengujian ini dilakukan untuk mencari tegangan kritis pada isolasi kabel, pengujian ini dilakukan hingga tegangan menembus isolasi, Pengujian ini dilakukan sampai dua kali jenis percobaan yaitu pada selubung luar dan isolasi pembungkus dalam penghantar.

Alat Pengujian

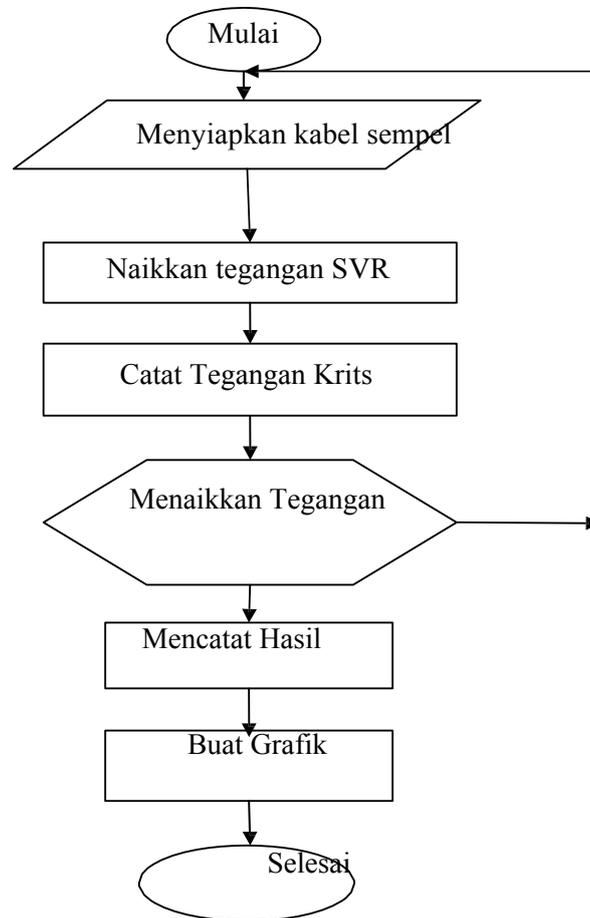
- Pembangkit tegangan tinggi AC
- Rangkaian pembagi tegangan
- Pembaca tegangan dengan menggunakan multi tester

Cara Pengujian, pertama ujung kabel dikupas hingga tertinggal pelindung mekanis yang disebut *armouring*, kemudian menjepitkan kawat penghubung dari konduktor ke pembangkit tegangan. Kawat *ground* diletakkan ditengah-tengah dari panjang kabel itu sehingga didapat jarak antar sumber tegangan dengan kawat *ground*. Kedua, sebelum mendapatkan tegangan

tembus, terlebih dahulu menentukan titik jarak terjauh dari tegangan yang mampu ditahan oleh isolasi, dengan mengatur jarak elektroda dari 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, dan 40 cm. Ketiga, setelah terpasang semua, Kemudian menghidupkan pembangkit tegangan tinggi, dan alat menaik tegangan dengan sendirinya akan menaikkan tegangan hingga terjadi *flash over*. Keempat, proses pengujian pada selubung luar dan isolasi pembungkus penghantar (*conductor*) sama. Kelima, kemudian mencatat hasil pengujian

Pengujian arus bocor pada Isolasi ini dilakukan hanya pada isolasi bagian dalam saja, pengujian dielektris yang dilakukan adalah pengujian arus bocor. Pengujian arus bocor dimaksudkan untuk mendapatkan data berupa nilai arus bocor dari tahanan isolasi PVC jika diterapkan pada tegangan kritis lewat denyar (*flash over*) standard. Pengujian arus bocor ini memerlukan Oscilloscope sebagai alat bantu. Input tegangan yang masuk kedalam Oscilloscope harus sesuai dengan karakteristik kemampuan Oscilloscope tersebut. Piranti pengaman dan perlindungan Oscilloscope diperlukan untuk membatasi tagangan besar yang masuk ke dalam Oscilloscope dengan cara memasang rangkaian pembagi tegangan.

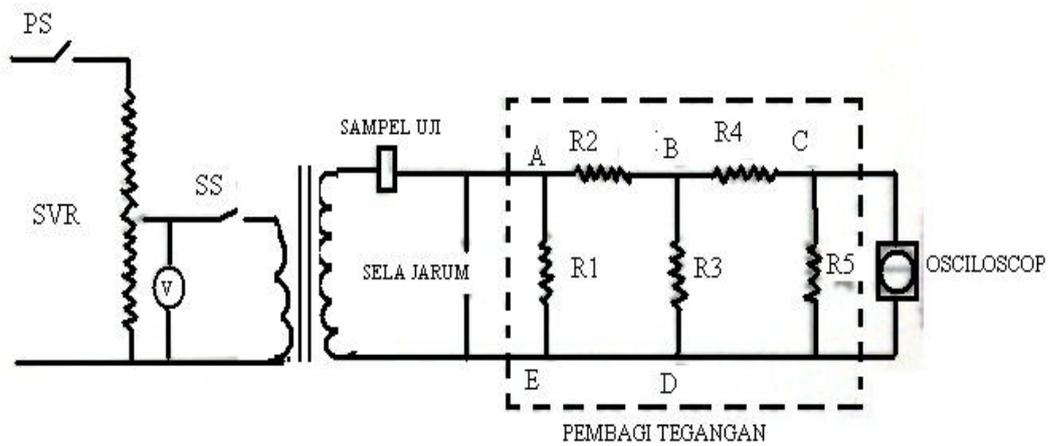
Pengujian Tegangan Kritis, pengujian ini dimaksudkan agar kita dapat mengetahui titik tegangan kritis pada sampel uji. Pengujian tegangan kritis dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Pengujian Tegangan Kritis

Pengujian arus bocor dimaksudkan untuk mendapatkan data berupa nilai arus bocor yang diterapkan pada 50% tegangan gagal. Pengamatan arus bocor ini memerlukan alat osiloskop sebagai alat bantu. Input tegangan yang masuk kedalam osiloskop sesuai dengan karakteristik kemampuan osiloskop tersebut dengan menggunakan pembagi tegangan. Peranti pengaman dan perlindungan bagi osiloskop diperlukan untuk membatasi tegangan yang besar yang masuk kedalam osiloskop dengan cara memasang rangkaian pembagi tegangan dan sela jarum.

Rangkaian Penguji, dibawah ini rangkaian dasar pembangkit tegangan yang digunakan dalam pengujian Gambar 3.



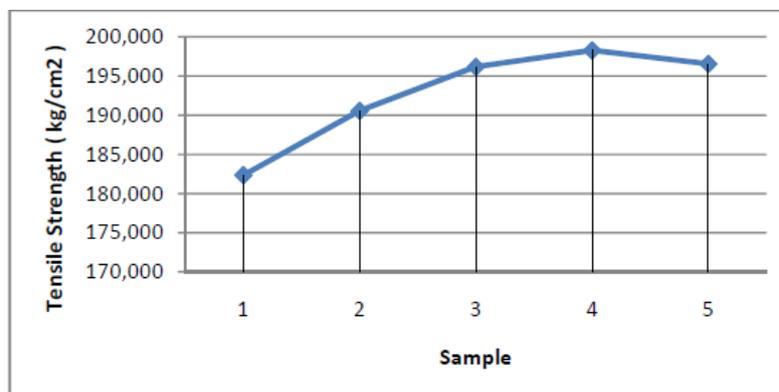
Gambar 3. Skema Rangkaian pembagi tegangan

PEMBAHASAN

Dalam pengujian mekanis yaitu pada kuat tarik (*Tensile Strength*), dilakukan sebanyak 5 sampel terhadap selubung luar kabel (*Outer Sheath*) berbahan PVC tipe YM/1 (*balack*). Pengujian dilakukan sebelum dan sesudah proses penuaan (*ageing*). Dari hasil pengujian tersebut dapat dituliskan dalam bentuk Table 1.

Tabel 1. Pengujian kuat tarik sebelum penuaan (*before ageing*)

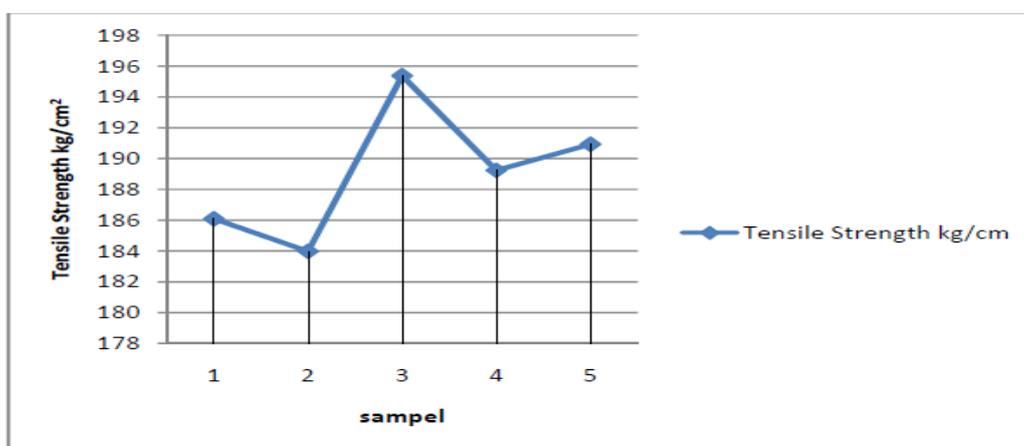
Sample No.	Width (cm)	Thickness (cm)	Breaking Force (kg)	Tensile Strength (kg/cm^2)	Elongation (%)
1	0,4	0,133	9,7	182,330	233,9
2	0,4	0,143	10,9	190,551	232
3	0,4	0,144	11,3	196,180	238
4	0,4	0,145	11,5	198,275	242
5	0,4	0,145	11,4	196,551	238
		Mean Value		192,777	236.78



Gambar 4. Grafik Pengujian kuat tarik sebelum penuaan (*before ageing*)

Tabel 2. Pengujian kuat tarik setelah penuaan (*After ageing*)

Sample No.	Width (cm)	Thickness (cm)	Breaking Force (kg)	Tensile Strength (kg/cm ²)	Elongation (%)
1	0.4	0.133	9.9	186.090	238
2	0.4	0.142	10.45	183.979	249
3	0.4	0.135	10.55	195.370	220
4	0.4	0.137	10.37	189.234	236
5	0.4	0.146	11.15	190.925	231
Mean Value				189.120	234.8



Gambar 5. Grafik Pengujian kuat tarik setelah penuaan (*After ageing*)

Setelah diuji kuat tarik dan prosentase pemulurannya bahan isolasi jenis PVC. Maka dapat dibandingkan antara bahan yang tidak mengalami proses penuaan (*Before Ageing*) dengan bahan yang telah mengalami proses penuaan (*After ageing*). Dimana grafik kuat tarik sebelum proses penuaan meningkat terus, hal ini disebabkan pada bahan belum terjadinya kegagalan yang diakibatkan oleh beberapa faktor karena tidak mengalami perlakuan (*Treatment*) sehingga ikatan-ikatan struktur pada bahan belum berubah.

Berbeda dengan bahan yang telah mengalami proses penuaan (*After ageing*). Hal ini dapat dilihat dalam table 2 dan grafik 5 pengujian kuat tarik. Dimana bahan mengalami degradasi, akibat perlakuan (*Treatment*) yaitu proses penuaan dengan dipanaskan selama waktu yang telah ditentukan. Sehingga dapat mempengaruhi ikatan-ikatan kimia dalam struktur bahan yang dapat mengakibatkan umur bahan menjadi lebih pendek dan kekuatan mekanis bahan berkurang.

Pengujian Tahan (*Resistance*), hasil pengujian tersebut didapat nilai hasil pengujian yaitu:

Nilai terbaca pada alat = 12Ω

Factor suhu = 4.25

Panjang kabel = 1005 M

Maka resistan yang didapat pada isolasi:

$$R_{mtu} = \frac{12 \times 1005 \times 4.25}{1000} = 51.225 \text{ Ohm}$$

Dengan demikian tahanan isolasi yang diuji memenuhi syarat, karena nilai minimum standarisasi 40 Ohm.

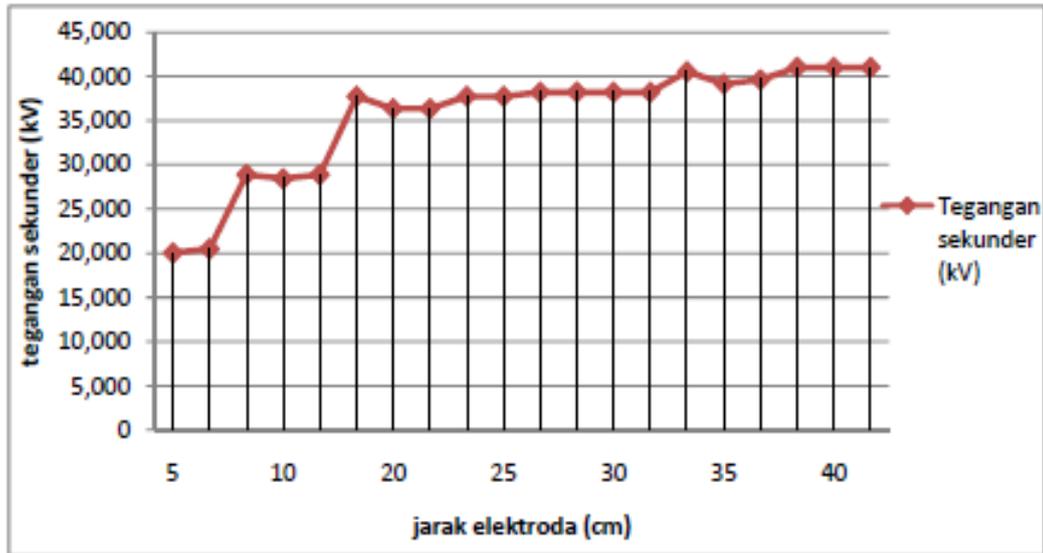


Gambar 6. Pengukuran Tahanan Isolasi Menggunakan Megger.

Pengujian *Flash Over* dan Tegangan Gagal pada Selubung Luar, pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui tegangan gagal pada isolasi selubung luar kabel, pengujian ini mengamati sebatas tegangan gagal isolasi. Untuk menentukan tegangan sekunder (V_s) didapat dari perkalian 466 dikalikan dengan tegangan primer (V_p) dimana $V_s = 466 \times V_p$.

Table 3. Pengujian Tegangan *Flash over* pada selubung luar

Jarak elektroda (cm)	Tegangan primer (V)	Tegangan sekunder (kV)	Keterangan
5	42	19,572	<i>Flash</i>
	43	20,038	<i>Flash</i>
	44	20,504	<i>Flash</i>
10	61	28,426	<i>Flash</i>
	62	28,892	<i>Flash</i>
	61	28,426	<i>Flash</i>
20	81	37,746	<i>Flash</i>
	78	36,348	<i>Flash</i>
	78	36,348	<i>Flash</i>
25	82	38,212	<i>Flash</i>
	81	37,746	<i>Flash</i>
	81	37,746	<i>Flash</i>
30	82	38,212	<i>Flash</i>
	82	38,212	<i>Flash</i>
	82	38,212	<i>Flash</i>
35	87	40,542	<i>Flash</i>
	84	39,144	<i>Flash</i>
	85	39,610	<i>Flash</i>
40	88	41,008	Gagal
	88	41,008	Gagal
	88	41,008	Gagal



Gambar 7. Grafik Flash over selubung luar

Pengujian Tegangan Tembus, pengujian ini bertujuan untuk menguji isolasi pada tegangan kritis dengan tegangan tinggi sebesar 28 kV hingga mencapai tegangan akan menembus isolasi, dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan tertinggi.

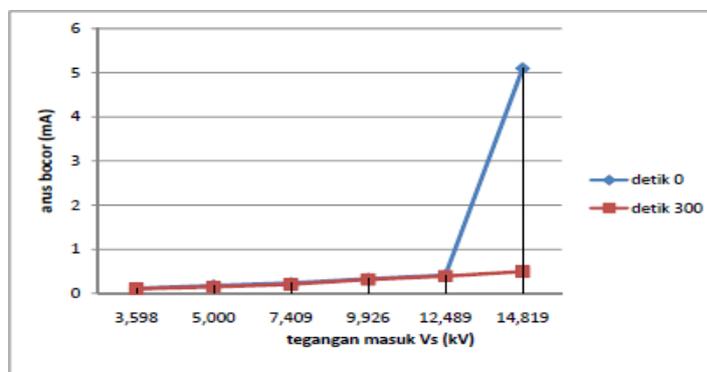
Tabel 5. Tegangan tembus isolasi

Sampel	V_p (V)	$V_s (V_p \times 466)$ (kV)	Keterangan
I	60.6	28,2396	OK
	70.4	32,8064	OK
	80.3	37,4198	Tembus
II	60.7	28,2862	OK
	70.7	32,9462	OK
	78.7	36,6742	Tembus
III	59.9	27,9134	OK
	65.6	30,5696	OK
	70.2	32,7132	Tembus
iV	60.3	28,0998	OK
	70	32,620	OK
	75.3	35,0898	Tembus
V	61.4	28,6124	OK
	70	32,620	OK
	75	34,950	Tembus

Pengujian Arus Bocor pada Isolasi, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data berupa nilai arus bocor yang diterapkan pada 50% tegangan gagalanya. Pengamatan arus bocor ini memerlukan osciloskop sebagai alat bantu, input tegangan yang masuk kedalam osciloscop sesuai dengan karakteristik.

Tabel 6. Pengujian arus bocor

Tegangan masukan		Arus bocor		
Vp (V)	Vs (kV)	frekuensi (Hz)	Vrms (mV)	Vpp (mV)
7.72	3,598	50.73	1.62	72.8
10.72	5,000	56.16	2.5	79.7
15.9	7,409	55.93	3.27	79.7
21.3	9,926	63.34	4.61	79.7
26.8	12,489	70.72	5.73	79.7
31.8	14,819	37.6	70.5	79.7



Gambar 9. Grafik Perbandingan arus bocor pada isolasi detik 0 dan 300

Perbedaan nilai arus bocor pada tegangan yang berbeda. Dari hasil pengujian ini juga Dari grafik hasil pengujian tersebut dapat dianalisis bahwa semakin besar tegangan yang masuk maka semakin besar pula arus bocor menembus isolasi, hal ini ditunjukkan dengan didapat hasil bahwa semakin tinggi suhu isolasi PVC pada suhu kerja maka isolasi akan lebih baik.

Pengujian yang dilakukan dengan tingkat tertentu, yaitu 3,598kV, 5,000kV 7,409kV, 9,926 kV, 12,489kV dan 14,819kV. Pada grafik menunjukkan bahwa semakin besar tegang yang diberikan maka semakin besar juga arus bocor yang ditimbulkan.

Kerusakan struktur isolasi diakibatkan oleh tegangan yang berlebihan sehingga mengakibatkan menumpuknya ion-ion sehingga kerusakan pada isolasi semakin besar sehingga mengakibatkan kegagalan pada isolasi PVC. Kerusakan pada PVC dipengaruhi oleh suhu, baik karena terjadinya pemutusan rantai maupun karena pengaruh reaksi substituent, menyebabkan perubahan sifat PVC. Dalam pengujian perubahan sifat listrik tampak pada turunya ketahanan isolasi, sedangkan perubahan fisik tampak pada saat isolasi mengalami kerusakan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan tentang kemampuan kabel NYFGbY maka dapat disimpulkan:

1. Dalam melakukan pengujian mekanik sebelum penuaan pada grafik menunjukkan kekuatan tarik mengalami kenaikan, sedangkan setelah proses penuaan akan terjadi degradasi yang mengakibatkan kekuatan mekanis bahan berkurang dan umur menjadi pendek.
2. Pada pengujian tegangan tembus tegangan maksimum yang mampu ditahan isolasi dengan 32,95 kV.
3. Pada pengujian yang dilakukan dengan tingkat tertentu, yaitu 3,598kV, 5,000kV 7,409kV, 9,926 kV, 12,489kV dan 14,819kV. Pada grafik menunjukkan bahwa semakin besar tegang yang diberikan maka semakin besar juga arus bocor yang ditimbulkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, Syamsir, 2003, "*Teori Kegagalan Isolasi*", Universitas Trisakti.
- Ariawan, Putu Rusdi, 2010, "*Analisis Kegagalan Minyak Transformator*", Universitas Udayana Denpasar.
- Artano Arismunandar, 1983, "*Teknik Tegangan Tinggi-Suplemen*" Fakultas Teknik UI.
- Diko prama yuda" karakteristik arus terhadap arus bocor"Skripsi S1 Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2011
- Hermawan, Indra, 2006, Skripsi "Pengujian Tegangan Tembus & Arus Bocor Terhadap Tahanan Isolasi Kabel Tegangan Rendah", Jurusan Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi Akprind, Yogyakarta.
- Muhaimin, 1999, "*Bahan-Bahan Listrik*", Pradnya Paramita, Jakarta.
- Pabla, A S Abdul Hadi (Alih bahasa), 1986, "Sistem Distribusi Daya Listrik"
- Sutatri, Barokah, " pengaruh suhu lebih terhadap keatahan isolasi kabel" Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2004

KARATERISTIK PENGUJIAN MINYAK NABATI SEBAGAI ALTERNATIF ISOLASI PENGANTI MINYAK TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 kV

Muhammad Suyanto¹

¹Jurusan Teknik Elektro, FTI Institut Sains & Teknologi AKPRIND
e-mail : musyant@gmail.com

ABSTRACT

Isolation is one of the systems that must be observed in the electric power system. Isolation is the nature of the material that can separate two or more parts between the part that have a voltage or not so doesn't occur of a current leak or flashover. Insulating materials differentiated into three kinds : liquid, gas and solid insulating. Oil insulating that widely used as an insulating liquid material where from petroleum. In this research used the vegetable oils particularly palm oil, corn oil, sunflower oil, as an insulating liquid material in the distribution transformer 20 kV so got a characteristics comparison of liquid insulating, it can be used as an alternatives replacements on distribution transformer 20 kV beside that it's easily to get and renewable energy. The Characteristics of liquid insulating research with a set of AC voltage generator, tube tester, barometer, hygrometer and thermometer. This test intended to get the value of dielectric strength of the material which is the value of voltage where the breakdown occurs between two electrodes with a certain distance. Basically the dielectric strength material the bigger with a rise in temperature.

Keywords : dielectric strength, breakdown voltage, liquid insulating.

PENDAHULUAN

Pada abad pembangunan seperti ini kebutuhan masyarakat terhadap tenaga listrik akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan banyaknya industri yang berdiri di sana sini. Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat vital dalam kehidupan masyarakat maupun dalam pengembangan ekonomi (industri). Hampir dalam setiap bidang kehidupan manusia, energi listrik menjadi salah satu sumber energi yang sangat penting. Oleh karena itu pelayanan akan sumber tenaga listrik yang handal dan kontinyu menjadi aspek yang mengambil perhatian yang cukup besar dalam rangka penyediaannya. Sistem penyediaan listrik yang meliputi pembangkitan, transmisi, distribusi diharapkan memiliki tingkat gangguan yang sangat kecil.

Salah satu sistem yang harus diperhatikan pada tenaga listrik adalah sistem isolasi. Isolasi merupakan sifat dari bahan yang dapat memisahkan dua bagian atau lebih, baik antara bagian bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau lompatan api (*flashover*). Isolator merupakan alat listrik yang memiliki sifat isolasi. Tujuan utama dari isolasi sendiri adalah untuk mendapatkan pengamanan, mengingat dalam suatu aliran sistem tenaga listrik terdapat suatu perbedaan atau *gradien* tegangan antara peralatan yang memungkinkan terjadinya lompatan arus.

Jika dilihat dari bahan isolasi yang dipakai, bahan isolasi dapat dibagi menjadi tiga golongan yaitu isolasi padat, isolasi cair dan isolasi gas. Masing-masing bahan isolasi tersebut memiliki karakteristik sifat bahan dan karakteristik sifat elektrik tersendiri. Bahkan untuk suatu bahan isolasi padat sendiri memiliki tingkat kekuatan *dielektrik* yang berbeda-beda, apalagi untuk jenis bahan yang berbeda. Pada pengujian kali ini penulis mengambil judul "*Karakteristik Pengujian Minyak Nabati Sebagai Alternatif Isolasi Pengganti Minyak Transformator Distribusi 20 Kv*" karena peneliti ingin mengetahui apakah perbandingan karakteristik pada bahan isolasi mempunyai karakteristik listrik yang sejenis atau berbeda-beda.

Kenaikan suhu atau penurunan tekanan akan berakibat melemahkan ikatan molekul fluida serta menurunkan viskositasnya. Viskositas dari semua jenis cairan akan menurun dengan naiknya suhu. Perubahan viskositas dikarenakan kenaikan suhu merupakan hal yang sangat penting yang harus dipertimbangkan di dalam berbagai jenis penerapan minyak pelumas dalam tugasnya menghadapi jangkauan suhu yang luas.

Secara umum yang diharapkan dari suatu minyak pelumas adalah perubahan yang sekecil mungkin yang terjadi pada viskositasnya di dalam menghadapi pengaruh jangkauan suhu yang besar (Anton L. Wartawan, 1983). Kegagalan isolasi (*insulation breakdown, insulation failure*) disebabkan karena beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah lama dipakai, berkurangnya kekuatan dielektrik dan karena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih. Pada prinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan atau tegangan (*stress*) yang harus dilawan oleh gaya dalam isolator itu sendiri agar tidak gagal. Dalam struktur molekul material isolasi, elektron-elektron terkait erat pada molekulnya, dan ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh tegangan. Bila ikatan ini putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari suatu molekul satu ke molekul lain sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut termasuk suatu ketidakmurnian (*impurity*) seperti adanya arang atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menurunkan tegangan gagal (Artono Aris Munandar, 1983).

Bahan isolasi digunakan untuk memisahkan bagian bertegangan atau bagian-bagian yang aktif. Untuk itu sifat kelistrikkannya memegang peran yang sangat penting, namun demikian sifat mekanis, sifat termal, ketahanan terhadap bahan kimia serta sifat lainnya perlu diperhatikan (Muhaimin, 1999). Pengujian isolasi cair dengan bahan tertentu adalah untuk mengetahui kinerja isolasi, supaya kegagalan dalam operasi sistem pada transformator daya dapat dihindari tingkat kegagalan sebelumnya. Oleh karena itu pemilihan isolasi cair harus benar benar telah teruji sebelumnya (Ardiansyah, Suyanto, M, 2013).

Daerah tropis seperti Indonesia memiliki faktor iklim yang lebih tinggi bila dibanding dengan daerah subtropis, yaitu ditandai dengan lamanya penyinaran matahari sekitar 12 jam pada siang hari, dengan temperatur udara sekitar $16^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$, kelembaban nisbi mendekati 100% pada dini hari sampai pagi hari dengan curah hujan tahunan antara 40 mm – 50 mm [*Manual Book of ASTM standards, 2001*]. Tegangan lompatan api dari isolator sangat dipengaruhi oleh bentuk *elektroda* dan benda yang ada disekelilingnya. Oleh sebab itu pada waktu pengujian *elektroda* dan benda yang mengelilinginya harus diatur sedemikian rupa sehingga keadaan yang sebenarnya diturunkan (Suyanto M, Tumiran, Berahim H, 1999). Isolasi cair memiliki dua fungsi yaitu sebagai pemisah antara bagian yang bertegangan dan juga sebagai pendingin sehingga banyak digunakan pada peralatan seperti transformator, pemutus tenaga, *switchgear*. Ada beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan, antara lain adalah isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, namun kekurangan utama isolasi cair adalah mudah terkontaminasi (Lab UGM Tegangan Tinggi, 1997).

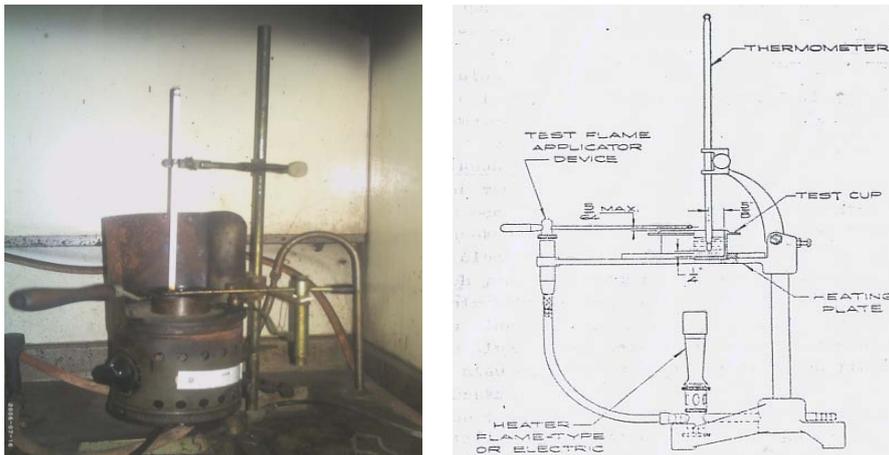
Kekuatan *dielektrik* merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa tahan terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan. Kekuatan *dielektrik* ini tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri. Namun demikian dalam prakteknya kekuatan *dielektrik* tergantung pada material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan dan sebagainya yang dapat mengubah sifat molekul cairan. Dalam isolasi cairan kekuatan *dielektrik* setara dengan tegangan kegagalan yang terjadi (Tumiran, 1987).

Tujuan Penelitian tersebut melihat sejauh mana bahan bahan minyak nabati dapat digunakan untuk minyak trafo distribusi 20 kV, sehingga dapat mengetahui kekuatan *dielektriknya* merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa tahan terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan. Ini berhubungan dengan kemampuan minyak nabati dalam menahan tegangan yang secara perlahan dinaikkan seiring dengan kenaikan suhu operasi dari trafo dan bagaimana pengaruh minyak nabati terhadap tegangan tembus.

Pada penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas yaitu tentang perbandingan karakteristik isolasi cair pada transformator distribusi 20 kV menggunakan minyak nabati utamanya minyak kelapa sawit, minyak jagung, minyak bunga matahari, sebagai bahan isolasi cair dalam transformator yang akan diuji sifat-sifat kelistrikan dan fisiknya. Karakteristik tegangan gagal (sifat kelistrikan) dari minyak tersebut akan diuji terhadap pengaruh suhu, kandungan air dan viskositasnya.

METODE

Jenis minyak yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis minyak nabati utamanya *Minyak Bunga Matahari - Minyak Kelapa Sawit - Minyak Jagung*. Pelaksanaan Pengujian, Kekuatan dielektrik (*dielectric strength*) dari suatu minyak isolator merupakan nilai tegangan dimana terjadi *breakdown* diantara dua *elektroda*, dengan jarak tertentu (2,5 mm) dan diletakan dalam sel tes (*test cell*). Peralatan uji *breakdown* seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



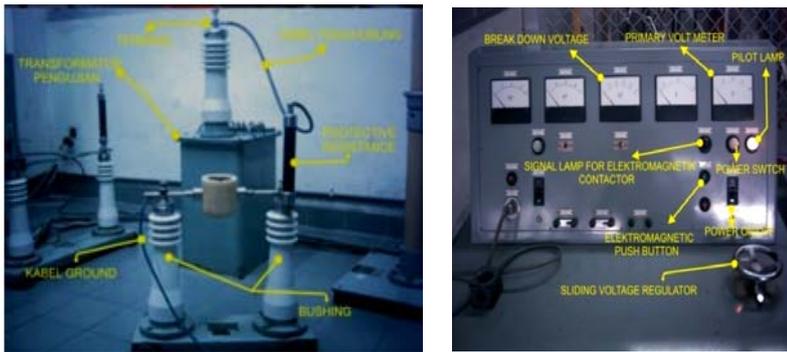
Gambar 1. Skema Alat Uji Flash dan Fire Point

Prosedur pelaksanaan pengujian kekuatan dielektrik minyak adalah sebagai berikut : Pertama, Sel tes dibersihkan dahulu dengan menggunakan minyak uji untuk menghilangkan kotoran yang terdapat pada sel. Minyak uji kemudian dituang secara perlahan ke dalam sel tes, sampai *volume* minyak kira-kira mencapai 20 mm di atas ujung *elektroda*. Usahakan agar tidak terjadi gelembung saat penuangan minyak.

Kedua, setelah bahan uji (minyak) terbebas dari gelembung udara yang ada, tegangan 50 kV mulai diterapkan mulai dari 0 dengan kecepatan sekitar 3 kV/s sampai dengan terjadinya tegangan tembus (*breakdown*). Apabila telah terjadi *breakdown* atau lompatan bunga api diantara *elektroda*, kemudian rangkaian dibuka secara normal. Tes dilakukan sebanyak 6 kali untuk jenis minyak dan suhu yang sama.

Ketiga, setiap selesai pengujian atau setelah terjadi *breakdown*, *elektroda* dalam minyak dibersihkan dengan menggunakan kain yang bersih dan kering untuk menghilangkan karbon yang dihasilkan oleh busur api dan dibiarkan selama 10–15 menit supaya gelembung udara dalam minyak lepas sebelum tes *breakdown* yang berikutnya.

Keempat, tegangan *breakdown* adalah tegangan yang dicapai saat terjadi lompatan api (*flash-over*) diantara dua elektroda. Dari 5 kali pengetesan yang dilakukan, dari tegangan tembus kemudian dibagi dengan lebar sela elektroda untuk mengetahui kekuatan dielektriknya (Lab Tegangan Tinggi UGM, 1998) Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sel Uji Tegangan Tembus

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian tegangan tembus :

1. Satu set pembangkit tegangan AC, dengan spesifikasi berikut:
 - a. Transformator penaik tegangan, Tegangan primer : 100/220 Volt
Tegangan sekunder : 50 kV, Kapasitas : 5 kVA, Berat : 125 kg
 - b. *Regulator*, yaitu peralatan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran transformator
 - c. *Voltmeter*, yaitu alat untuk mengukur besarnya pada sisi skunder dan primer.
 - d. *Resistor*, digunakan untuk melindungi transformator dari arus yang besar saat terjadi tegangan tembus, hambatan pada resistor ini bernilai 50 Kohm. Peralatan diatas dibuat oleh Tokyo transformator, Co-LTD Jepang.
2. Tabung pengujian, untuk menguji bahan terhadap kemampuan menahan tegangan baik AC maupun *implus*. Pada tabung terdapat dua *elektroda* diameter 12,5 mm, bahan terbuat dari *fiber glass*.
3. *Barometer* dan *hygrometer* untuk mengukur tegangan dan kelembaban udara.
4. *Thermometer* suhu.
5. Bahan yang akan diuji (Minyak bunga matahari, Minyak kelapa sawit, Minyak jagung).

PEMBAHASAN

Susunan peralatan pengujian yang digunakan pada pengujian tegangan tembus seperti terlihat pada Gambar 2. Sel Uji Tegangan Tembus, sumber tegangan dari PLN di naikan melalui *stravol* pada sisi primer dan pada sisi skunder pada transformator step-up. Untuk melindungi transformator dari arus yang cukup besar, digunakan *resistor* dan kemudian dihubungkan pada minyak yang akan diuji.

Pengujian tegangan tembus bahan dilakukan dengan variasi suhu. Sehingga pada percobaan ini suhu bahan yang diuji berbeda-beda, yaitu dari suhu kamar 30°C hingga suhu 80 °C dengan tiap kenaikan suhu pengujian rata-rata 20 °C.

Proses pemanasan dilakukan diluar tabung pengujian dengan menggunakan alat pemanas (*heater*). Suhu bahan selalu dipantau dengan menggunakan alat *thermometer*, sehingga apabila saat pengujian suhu bahan turun maka dilakukan proses pemanasan kembali. Tetapi apabila suhu bahan terlalu tinggi, maka bahan ditunggu beberapa saat hingga suhunya sama dengan yang diharapkan. Setelah diperoleh 6 buah data hasil pengujian, maka digunakan minyak baru untuk *level* suhu yang berbeda. Proses pengujian satu jenis minyak dilakukan dengan suhu minyak maksimal adalah 80 °C. Percobaan dilakukan dengan suhu bahan uji yang berbeda-beda dimana bahan dites untuk setiap kenaikan temperatur rata-rata 20 °C dimulai dari temperatur bahan pada suhu ruang pada setiap level temperatur tertentu, dilakukan pengujian tegangan tembus sebanyak 3-5 kali yang merupakan batas minimal diterimanya data percobaan (ASTM D-877). Setiap kali pengujian bahan didiamkan terlebih dahulu selama sekitar 5-10 menit untuk menghilangkan gelembung pada bahan. Dari data hasil

pegujian dapat diketahui berapa besar kekuatan *dielektrik* dari masing-masing minyak pelumas tersebut. Untuk mengetahui besar kekuatan *dielektrik* digunakan persamaan 1.

Breakdown Voltage

$$\text{Jarak sela antara dua elektroda (2,5 mm)} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan menggunakan persamaan 1, dicontohkan untuk perhitungan pada bahan dari Minyak Bunga Matahari sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1.

Suhu 30 °C, Tegangan tembus = 16,4 kV, Kekuatan dielektrik = $\frac{16,4}{2,5} = 6,56 \text{ kV / mm}$

Suhu 50 °C, Tegangan tembus = 23 kV, Kekuatan dielektrik = $\frac{23}{2,5} = 9,2 \text{ kV / mm}$

Suhu 70 °C, Tegangan tembus = 33,2 kV, Kekuatan dielektrik = $\frac{33,2}{2,5} = 13,28 \text{ kV / mm}$

Suhu 80 °C, Tegangan tembus = 38,2 kV, Kekuatan dielektrik = $\frac{38,2}{2,5} = 15,28 \text{ kV / mm}$

Tabel 1. Hasil pengujian rata-rata tegangan tembus (kV) dan kekuatan *dielektrik* (kV/mm) Isolasi minyak bunga Matahari, Kelapa Sawit dan Minyak Jagung

Bahan Uji	Suhu 30 ⁰ C		Suhu 50 ⁰ C		Suhu 70 ⁰ C		Suhu 80 ⁰ C	
	kV	kV/mm	kV	kV/mm	kV	kV/mm	kV	kV/mm
Matahari	16,6	6,64	23	9,2	33,2	13,28	38,2	15,28
Sawit	21,6	12,8	27	8,64	28,2	11,28	30,2	14,12
Jagung	16,6	6,64	20	8,04	34,6	13,84	40,8	17,1

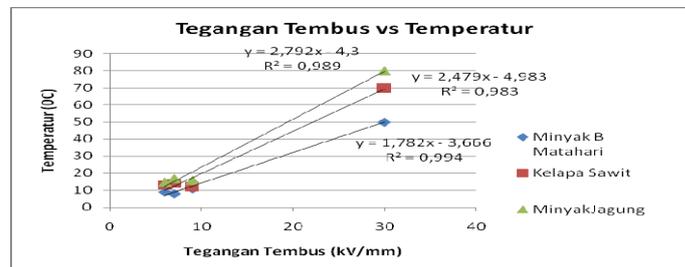


Gambar 3. Grafik Pengujian Tegangan Tembus (kV)

Kekuatan Dielektrik berkaitan dengan sifat elektris dan sifat kimia suatu bahan isolasi, ada beberapa persiapan yang harus dipenuhi agar suatu bahan dapat dikategorikan atau diterima sebagai bahan isolasi. Diantara sifat-sifat yang ada kekuatan tegangan tembus suatu bahan isolasi menjadi sifat yang pertama kali harus diperhatikan. Tegangan tembus merupakan sebuah ukuran kekuatan bahan isolasi dalam menahan suatu beda tegangan.

Semakin tinggi tegangan tembus yang dimiliki suatu bahan isolasi, semakin baik bahan isolasi tersebut untuk digunakan. Nilai dari tegangan tembus suatu bahan isolasi, menentukan nilai dari kekuatan *dielektrik* suatu bahan isolasi. Semakin besarnya tegangan yang mampu ditahan oleh suatu bahan semakin besar kekuatan *dielektrik* bahan tersebut. Oleh karena itu penelitian pada sifat *dielektrik* dari bahan isolasi cair sangat dititik beratkan dalam penentuan nilai tegangan tembus (*breakdown voltage*) bahan uji yang digunakan dalam hal ini yaitu antara lain minyak (*Minyak Bunga matahari, Minyak Sawit, Minyak Jagung*, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3 dan 4. Berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh ASTM yakni dalam standar D-877 disebutkan bahwa suatu bahan isolasi harus memiliki tegangan tembus sebesar kurang dari 30 kV untuk besar sela elektroda 1 mm, dengan kata lain kekuatan *dielektrik* bahan isolasi kurang lebih 30 kV/ mm. Sedangkan menurut

standar ASTM D-1816 suatu bahan isolasi harus mampu menahan tegangan sebesar 28 kV untuk satu lebar sela elektroda sebesar 1,02 mm. Standar ini merupakan standar yang diterima secara internasional dan harus dipenuhi oleh bahan yang dikategorikan sebagai suatu bahan isolasi.



Gambar 4. Grafik Pengujian Tegangan Tembus (kV/mm)

KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian dan studi pustaka dari beberapa referensi yang ada maka penulis mempunyai kesimpulan mengenai minyak isolasi serta sifat *dielektrik* bahan isolasi cair adalah :

1. Hasil pengujian, memperlihatkan bahwa tegangan tembus tiap-tiap bahan yang diuji mempunyai kecenderungan mengalami kenaikan seiring dengan naiknya temperature lihat Tabel 1.
2. Dari hasil pengujian tegangan tembus rata rata yang paling tinggi adalah minyak jagung mencapai 17.1 kV/mm pada suhu 80⁰C sedangkan tegangan tembus rata rata yang terendah adalah Minyak sawit sebesar 14,12 kV/mm.
3. Hasil pengujian pada suhu kamar (50⁰C) tegangan tembus rata ratatertinggi adalah minyak bunga matahari yaitu 9,2 kV/mm dan yang terendah pada suhu sama Minyak jagung mencapai 8,04 kV/mm. Jika dilihat dari Gambar grafik, baik grafik pengaruh suhu terhadap tegangan tembus, grafik suhu terhadap kekuatan *dielektrik*, dari ketiga jenis minyak nabati (*Bunga matahari, Jagung dan Sawit*) dapat disimpulkan bahwa yang mempunyai tegangan tembus yang paling tinggi adalah minyak jagung mencapai 40,8 kV pada suhu 80 ⁰C sedangkan minyak Sawit 30,2 kV.
4. Berdasarkan pengalaman penulis selama melakukan pengujian dari minyak isolasi yang diuji dengan *karakteristik* yang berbeda-beda, maka penulis berpendapat bahwa perlu diadakan suatu kajian yang lebih khusus mengingat pengujian minyak nabati hanya dilakukan dalam jangka waktu relative singkat sehingga belum diketahui degradasi dari minyak dipakai dalam jangka waktu lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Anton L. Wartawan, 1983, '*Minyak Pengetahuan Dasar dan Cara Penggunaan*', Gramedia, Jakarta.
- Ardiansyah, Suyanto, M, 2013, '*Perbandingan Karakteristik Isolator Cair Pada transformator distribusi 20 kV*', IST-AKPRIND Yogyakarta
- Artono Aris Munandar, 1983, '*Teknik Tegangan Tinggi*', Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Suyanto, M, Tumiran, Berahim H, 1999, '*Arus Bocor kritis Flashover Pada Isolator Terkontaminasi*', Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Muhaimin, 1999, '*Bahan-Bahan Listrik Untuk Politeknik*', Pradnya Paramita, Jakarta
- Manual Book of ASTM standards, 2001, section Five*
- Panduan pengujian tegangan tinggi*, Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Tumiran, 1987, Laporan penelitian pengaruh kontaminasi dan suhu terhadap watak kegagalan tegangan pada bahan isolasi cair, Jurusan Tenik elektro Universitas Gadjah mada Yogyakarta.

SISTEM PENGAMATAN DAN PENGENDALIAN KUALITAS AIR JARAK JAUH

Pius Yozy Merucahyo¹, Martanto², B.Wuri Harini³ dan Antonius Tri Priantoro⁴

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

⁴Pendidikan Biologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

¹yozy@usd.ac.id, ²martanto@usd.ac.id, ³wuribernard@usd.ac.id, ⁴trie003@gmail.com

ABSTRACT

Wireless Communication is needed to anticipated the distance in System of monitoring dan controlling quality of water. It because the distance of user is far from System of monitoring dan controlling quality of water. By using Wireless Communication, user can monitored and controlled the quality of water in the other place. We use Video Channel from video sender to applicate the wireless communication system. We choose video channel because it has wider bandwidth than audio channel. The success of the wireless communication system depends on the success of transmitting date from microcontroller that be placed in the transmitter side of the video sender to microcontroller that be placed in the receiver side of the video sender. If the transmitting signal from the input side of the the transmitter side of the video sender is similar with the receiving signal from the output of receiver side of the video sender. The transmitting date and the receiving date from the microcontroller are displayed at. In order to display the microcontroller dates in laptop monitor, we need USB to TTL Serial The Converter Cable. Because of the signal shape is random, we use crosscorellation formula to analyze the characteristic of the communication channel. Crosscorellation can determine the degree of simirality of transmitting signal and the receiving signal. From the success of microcontroller transmitting date and crosscorellation computation from the communication signal, we can get the best communication bit rate is 38400 bps.

Keywords: jarak jauh, mikrokontroler, bentuk sinyal, bit rate, crosscorellation

PENDAHULUAN

Saat ini komunikasi tanpa kabel menjadi hal yang penting dalam pemenuhan kebutuhan integrasi berbagai macam sistem. Integrasi dua sistem atau lebih dapat disebabkan oleh adanya jarak sistem-sistem yang harus diintegrasikan. Syarat mutlak dapat dilakukannya integrasi berbagai sistem adalah semua sistem yang berpartisipasi harus memiliki kesepakatan mengenai semua informasi yang akan saling dipertukarkan baik mengenai alamat maupun data. Oleh sebab itu maka semua sistem harus dapat menjadi bagian dari sistem komunikasi yang akan melingkupi semuanya.

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yaitu pembuatan perangkat keras, program aplikasi mikrokontroler dan program aplikasi komputer dalam sistem akuisisi data untuk pemantauan kualitas air.(Martanto,2013). Dalam penelitian yang dilakukan sebelumnya menggunakan kabel sebagai media komunikasi antar mikrokontroler pada sistem dan penggunaannya. (Martanto,2013). Penelitian ini mengembangkan penelitian tersebut dengan menggunakan komunikasi nirkabel sebagai media komunikasi antar mikrokontroler pada sistem dan penggunaannya.

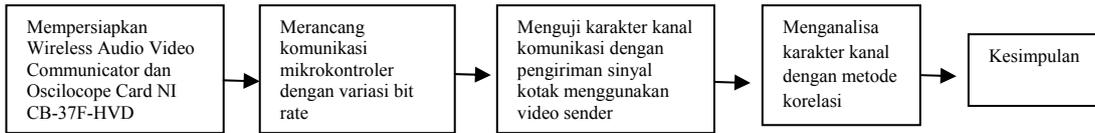
Tujuan penelitian adalah membangun sistem komunikasi yang memudahkan pemantauan kualitas air dalam kolam sehingga dapat dilakukan dari jarak jauh.

METODE

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Pertama, hardware yang terdiri dari : a)ATMEGA 328 P Arduino Uno , b) *Wireless Audio Video Communicator* (Kanal Video dari Video Sender), c)*Automatic Function Generator* (AFG) Model GFG 8015G, d) *Osciloscope Card* NI CB-37F-HVD, e) FTD *TTL-232R-3V3 USB to TTL Serial The Converter Cable*.Kedua, software yang terdiri dari a)*LabView SignalExpress* , b)Matlab

3. Alat pendukung berupa sensor kualitas air dan pengendali keluar masuknya air ke dalam kolam ikan.



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Wireless Audio Video Communicator (Kanal Video dari Video Sender) adalah piranti pengirim sinyal audio dan video dengan menggunakan teknologi nirkabel. Piranti ini sangat mudah didapatkan di pasar dengan harga yang terjangkau. Menurut *data sheet*, jangkauan pengiriman sinyal tanpa halangan adalah 50 meter. Hal inilah yang menjadi alasan pemilihan video sender sebagai alat komunikasi antar mikrokontroler.

Selain itu sistem komunikasi nirkabel dalam penelitian ini menggunakan udara bebas sebagai kanal komunikasinya. Dalam sistem komunikasi ini, peneliti menggunakan frekuensi 2,4 GHz yang sampai saat ini masih bebas dan tidak diatur oleh pemerintah. Hal ini penting karena belum ada keharusan untuk meminta ijin penggunaannya, sehingga mempermudah aplikasi rancangan komunikasinya.

Oscilloscope Card NI CB-37F-HVD adalah piranti pengambil data sinyal yang berupa PCI card yang dipasangkan pada komputer (National Instruments, 2003). Piranti ini didukung oleh software *LabView Signal Express* yang dapat merekam grafik dan data angka sinyal yang diamati (National Instruments, 2003). Hal ini sangat memudahkan pengamatan mengenai bentuk-bentuk sinyal yang dikirim maupun diterima dan selanjutnya dapat digunakan untuk mendapatkan karakteristik kanal komunikasi.

Tahap awal dari penelitian ini adalah melakukan pengiriman suatu paket data dari satu mikrokontroler ke mikrokontroler lainnya dengan bantuan video sender untuk berbagai macam bit rate. Selanjutnya pengamatan paket data mikrokontroler pada bagian pengirim dan penerima diamati dengan bantuan laptop dan FTD TTL-232R-3V3 USB to TTL Serial The Converter Cable sebagai penghubung antara laptop dan mikrokontroler (Future Technology Devices International Ltd, 2006). Pengamatan dengan laptop tersebut akan menghasilkan data bit rate yang sukses dan yang gagal.

Sinyal masukan dan keluaran dari mikrokontroler berupa pulsa dengan frekuensi sama dengan bit rate (Atmel, 2013). Berdasarkan hasil pengamatan bit rate komunikasi tersebut dibuat percobaan pengiriman sinyal kotak dari AFG yang frekuensinya sesuai bit rate komunikasi mikrokontroler di atas (Stalling, 1997). Tahap selanjutnya adalah menguji korelasi antara sinyal dikirim dan sinyal diterima untuk mendapatkan keceratan kedua sinyal tersebut.

Adapun rumus untuk mengukur korelasi antara sinyal yang dikirim dan sinyal yang diterima (Peebles, 1993) adalah sebagai berikut :

$$r_{xy}(l) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)y(n-l) \quad , l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \dots \dots (1)$$

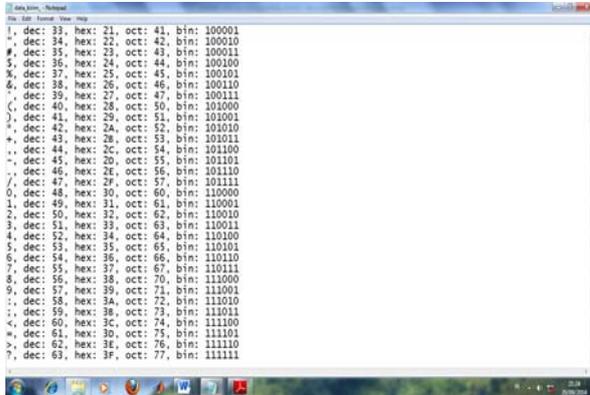
$x(n)$ adalah sinyal yang dikirim sedangkan $y(n)$ adalah sinyal yang diterima.

Untuk menghilangkan pengaruh besarnya energi dan hanya mendapatkan pola sinyalnya maka persamaan diatas dibagi dengan energi yang tersimpan dalam sinyal (Proakis , 1996), sehingga persamaan di atas menjadi :

$$r_{xy}(l) = \frac{\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)y(n-l)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} x_i^2} \sqrt{\sum_{j=1}^{\infty} y_j^2}} \dots \dots \dots (2)$$

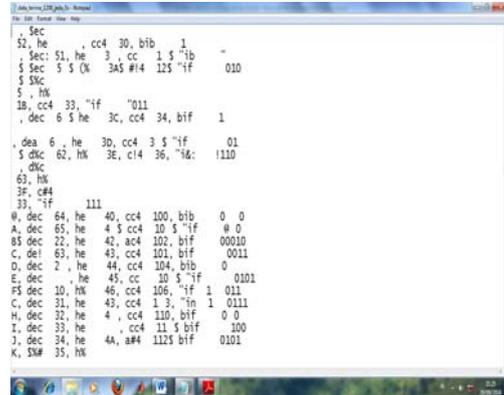
PEMBAHASAN

Penelitian diawali dengan menghubungkan salah satu mikrokontroler dengan bagian pengirim pada video sender, kemudian dengan bantuan laptop yang dihubungkan dengan mikrokontroler, diperoleh data seperti Gambar 2.



```
data_bin_1200bps
File Edit Format View Help
! , dec: 33, hex: 21, oct: 41, bin: 100001
! , dec: 34, hex: 22, oct: 42, bin: 100010
# , dec: 35, hex: 23, oct: 43, bin: 100011
$ , dec: 36, hex: 24, oct: 44, bin: 100100
% , dec: 37, hex: 25, oct: 45, bin: 100101
& , dec: 38, hex: 26, oct: 46, bin: 100110
' , dec: 39, hex: 27, oct: 47, bin: 100111
( , dec: 40, hex: 28, oct: 50, bin: 101000
) , dec: 41, hex: 29, oct: 51, bin: 101001
* , dec: 42, hex: 2A, oct: 52, bin: 101010
+ , dec: 43, hex: 2B, oct: 53, bin: 101011
, , dec: 44, hex: 2C, oct: 54, bin: 101100
- , dec: 45, hex: 2D, oct: 55, bin: 101101
. , dec: 46, hex: 2E, oct: 56, bin: 101110
/ , dec: 47, hex: 2F, oct: 57, bin: 101111
0 , dec: 48, hex: 30, oct: 60, bin: 110000
1 , dec: 49, hex: 31, oct: 61, bin: 110001
2 , dec: 50, hex: 32, oct: 62, bin: 110010
3 , dec: 51, hex: 33, oct: 63, bin: 110011
4 , dec: 52, hex: 34, oct: 64, bin: 110100
5 , dec: 53, hex: 35, oct: 65, bin: 110101
6 , dec: 54, hex: 36, oct: 66, bin: 110110
7 , dec: 55, hex: 37, oct: 67, bin: 110111
8 , dec: 56, hex: 38, oct: 70, bin: 111000
9 , dec: 57, hex: 39, oct: 71, bin: 111001
: , dec: 58, hex: 3A, oct: 72, bin: 111010
; , dec: 59, hex: 3B, oct: 73, bin: 111011
< , dec: 60, hex: 3C, oct: 74, bin: 111100
= , dec: 61, hex: 3D, oct: 75, bin: 111101
> , dec: 62, hex: 3E, oct: 76, bin: 111110
? , dec: 63, hex: 3F, oct: 77, bin: 111111
```

Gambar 2. Data dikirim

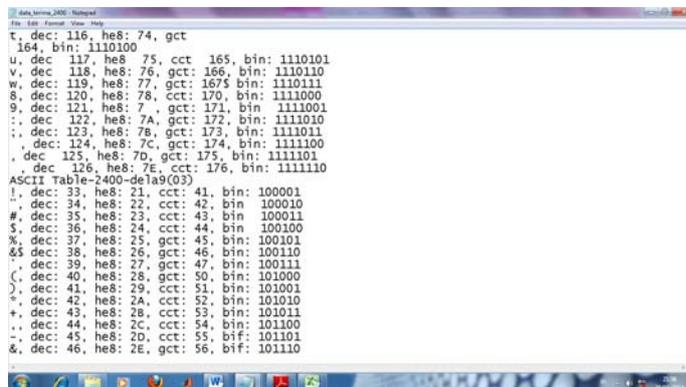


```
data_bin_1200bps_2
File Edit Format View Help
! , dec: 33, hex: 21, oct: 41, bin: 100001
! , dec: 34, hex: 22, oct: 42, bin: 100010
# , dec: 35, hex: 23, oct: 43, bin: 100011
$ , dec: 36, hex: 24, oct: 44, bin: 100100
% , dec: 37, hex: 25, oct: 45, bin: 100101
& , dec: 38, hex: 26, oct: 46, bin: 100110
' , dec: 39, hex: 27, oct: 47, bin: 100111
( , dec: 40, hex: 28, oct: 50, bin: 101000
) , dec: 41, hex: 29, oct: 51, bin: 101001
* , dec: 42, hex: 2A, oct: 52, bin: 101010
+ , dec: 43, hex: 2B, oct: 53, bin: 101011
, , dec: 44, hex: 2C, oct: 54, bin: 101100
- , dec: 45, hex: 2D, oct: 55, bin: 101101
. , dec: 46, hex: 2E, oct: 56, bin: 101110
/ , dec: 47, hex: 2F, oct: 57, bin: 101111
0 , dec: 48, hex: 30, oct: 60, bin: 110000
1 , dec: 49, hex: 31, oct: 61, bin: 110001
2 , dec: 50, hex: 32, oct: 62, bin: 110010
3 , dec: 51, hex: 33, oct: 63, bin: 110011
4 , dec: 52, hex: 34, oct: 64, bin: 110100
5 , dec: 53, hex: 35, oct: 65, bin: 110101
6 , dec: 54, hex: 36, oct: 66, bin: 110110
7 , dec: 55, hex: 37, oct: 67, bin: 110111
8 , dec: 56, hex: 38, oct: 70, bin: 111000
9 , dec: 57, hex: 39, oct: 71, bin: 111001
: , dec: 58, hex: 3A, oct: 72, bin: 111010
; , dec: 59, hex: 3B, oct: 73, bin: 111011
< , dec: 60, hex: 3C, oct: 74, bin: 111100
= , dec: 61, hex: 3D, oct: 75, bin: 111101
> , dec: 62, hex: 3E, oct: 76, bin: 111110
? , dec: 63, hex: 3F, oct: 77, bin: 111111
```

Gambar 3. Data diterima 1200 bps

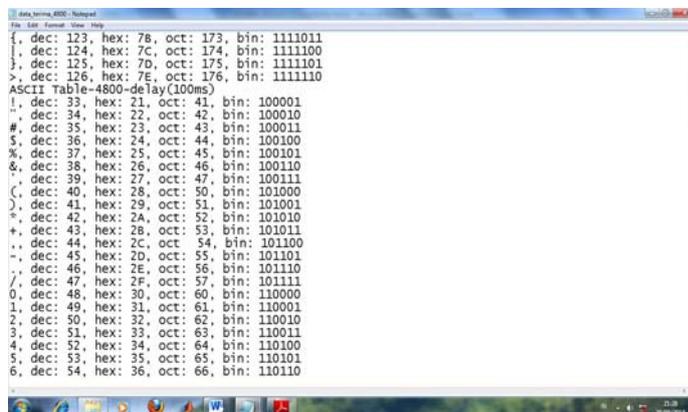
Selanjutnya data diterima diamati dengan cara menghubungkan mikrokontroler lain dengan bagian penerima pada video sender, dengan bantuan laptop, diperoleh hasil sebagai berikut :

- a. pada bit rate 1200 bps, seperti diperlihatkan pada Gambar 3
- b. pada bit rate 2400 bps, seperti diperlihatkan pada Gambar 4
- c. pada bit rate 4800 bps, seperti diperlihatkan pada Gambar 5



```
data_bin_2400
File Edit Format View Help
! , dec: 116, he8: 74, gct: 164, bin: 1110100
u , dec: 117, he8: 75, cct: 165, bin: 1110101
v , dec: 118, he8: 76, gct: 166, bin: 1110110
w , dec: 119, he8: 77, gct: 167, bin: 1110111
8 , dec: 120, he8: 78, cct: 170, bin: 1111000
9 , dec: 121, he8: 7 , gct: 171, bin: 1111001
: , dec: 122, he8: 7A, gct: 172, bin: 1111010
; , dec: 123, he8: 7B, gct: 173, bin: 1111011
< , dec: 124, he8: 7C, gct: 174, bin: 1111100
= , dec: 125, he8: 7D, gct: 175, bin: 1111101
? , dec: 126, he8: 7E, cct: 176, bin: 1111110
ASCII Table-2400-delay(03)
! , dec: 33, he8: 21, cct: 41, bin: 100001
! , dec: 34, he8: 22, cct: 42, bin: 100010
# , dec: 35, he8: 23, cct: 43, bin: 100011
$ , dec: 36, he8: 24, cct: 44, bin: 100100
% , dec: 37, he8: 25, gct: 45, bin: 100101
& $ , dec: 38, he8: 26, gct: 46, bin: 100110
' , dec: 39, he8: 27, gct: 47, bin: 100111
( , dec: 40, he8: 28, oct: 50, bin: 101000
) , dec: 41, he8: 29, oct: 51, bin: 101001
* , dec: 42, he8: 2A, cct: 52, bin: 101010
+ , dec: 43, he8: 2B, cct: 53, bin: 101011
, , dec: 44, he8: 2C, cct: 54, bin: 101100
- , dec: 45, he8: 2D, cct: 55, bin: 101101
. , dec: 46, he8: 2E, gct: 56, bin: 101110
```

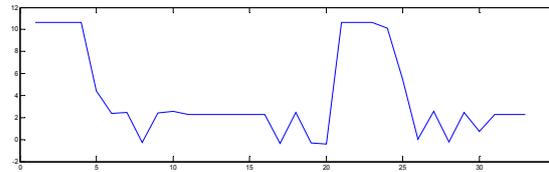
Gambar 4. Data diterima 2400 bps



```
data_bin_4800
File Edit Format View Help
! , dec: 123, hex: 78, oct: 173, bin: 1111011
! , dec: 124, hex: 7C, oct: 174, bin: 1111100
> , dec: 125, hex: 7D, oct: 175, bin: 1111101
? , dec: 126, hex: 7E, oct: 176, bin: 1111110
ASCII Table-4800-delay(100ms)
! , dec: 33, hex: 21, oct: 41, bin: 100001
! , dec: 34, hex: 22, oct: 42, bin: 100010
# , dec: 35, hex: 23, oct: 43, bin: 100011
$ , dec: 36, hex: 24, oct: 44, bin: 100100
% , dec: 37, hex: 25, oct: 45, bin: 100101
& , dec: 38, hex: 26, oct: 46, bin: 100110
' , dec: 39, hex: 27, oct: 47, bin: 100111
( , dec: 40, hex: 28, oct: 50, bin: 101000
) , dec: 41, hex: 29, oct: 51, bin: 101001
* , dec: 42, hex: 2A, oct: 52, bin: 101010
+ , dec: 43, hex: 2B, oct: 53, bin: 101011
, , dec: 44, hex: 2C, oct: 54, bin: 101100
- , dec: 45, hex: 2D, oct: 55, bin: 101101
. , dec: 46, hex: 2E, oct: 56, bin: 101110
/ , dec: 47, hex: 2F, oct: 57, bin: 101111
0 , dec: 48, hex: 30, oct: 60, bin: 110000
1 , dec: 49, hex: 31, oct: 61, bin: 110001
2 , dec: 50, hex: 32, oct: 62, bin: 110010
3 , dec: 51, hex: 33, oct: 63, bin: 110011
4 , dec: 52, hex: 34, oct: 64, bin: 110100
5 , dec: 53, hex: 35, oct: 65, bin: 110101
6 , dec: 54, hex: 36, oct: 66, bin: 110110
```

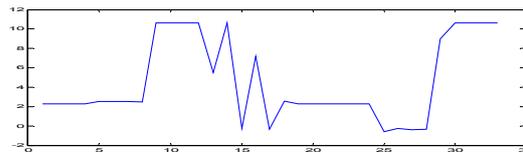
Gambar 5. Data diterima 4800 bps

Pada bit rate 2400 bps didapatkan nilai korelasi sebesar 0.3975



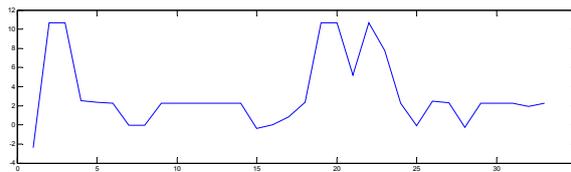
Gambar 10. Sinyal diterima pada bit rate 2400bps

Pada bit rate 4800 bps didapatkan nilai korelasi sebesar 0.4068



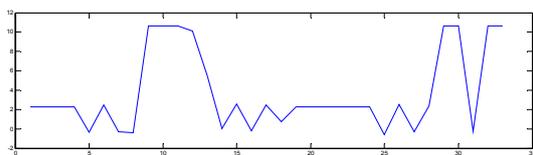
Gambar 11. Sinyal diterima pada bit rate 4800bps

Pada bit rate 38400 bps didapatkan nilai korelasi sebesar 0.5102



Gambar 12. Sinyal diterima pada bit rate 38400bps

Pada bit rate 57600 bps didapatkan nilai korelasi sebesar 0.3523



Gambar 13. Sinyal diterima pada bit rate 57600bps

Untuk mendapatkan karakteristik kanal komunikasi dilakukan dengan cara mengamati keceratan antara sinyal yang dikirim dan sinyal yang diterima. Oleh karena pengamatan sinyal dilakukan sebelum sinyal masuk ke bagian pengirim dari video sender dan sesudah keluar dari bagian penerima dari video sender maka karakteristik kinerja video sender menjadi bagian dari karakteristik komunikasi secara keseluruhan. Seperti terlihat pada hasil pengamatan, sinyal yang diterima sangat acak bentuknya sehingga setelah dilakukan berbagai perhitungan maka diputuskan untuk menggunakan metode *crosscorrelation* antara sinyal dikirim dan sinyal yang diterima. Pada perhitungan ini nilai maksimum *crosscorrelation* terjadi saat $l = 0$ dan hasilnya adalah seperti tabel di bawah ini.

Tabel 2. Nilai *crosscorrelation* berbagai macam bit rate

Percobaan	Bit rate (bps)	Hasil	Nilai Crosscorrelation
1	1200	gagal	0,3558
2	2400	sukses	0,3975
3	4800	sukses	0,4068
4	38400	sukses	0,5102
5	57600	gagal	0,3523

Tabel di atas menunjukkan bahwa pada bit rate yang sukses memiliki nilai *crosscorrelation* yang lebih besar daripada yang gagal. Nilai *crosscorrelation* yang besar menunjukkan semakin miripnya bentuk sinyal yang dikirim dan diterima. Secara ideal jika kanal komunikasi tanpa rugi-rugi dan derau maka sinyal dikirim dan diterima sama atau memiliki *crosscorrelation* sebesar 1.

Dengan pendekatan kinerja komunikasi maka bit rate 38400 bps adalah bit rate terbaik karena memiliki nilai *crosscorrelation* paling besar, yaitu sebesar 0,5102, tingkat kesuksesan yang tinggi dan kecepatan pengiriman data yang tinggi dibanding bit rate sukses yang lain.

KESIMPULAN

1. Pengamatan dan Pengendalian Kualitas Air Jarak Jauh dapat dilakukan dengan Video Sender sebagai alat komunikasi antar mikrokontroler.
2. Penggunaan komunikasi dengan video sender yang sukses berada pada bit rate antara 2400 bps sd 38400 bps.
3. Kinerja komunikasi terbaik terjadi pada bit rate 38400 karena bit rate tersebut merupakan bit rate tertinggi dengan kualifikasi hasil yang selalu sukses.
4. Hasil pengamatan pada mikrokontroler sesuai dengan perhitungan *crosscorrelation* sinyal dikirim dan sinyal diterima.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini peneliti menyampaikan terimakasih kepada DITJEN DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui program Hibah Bersaing 2013 sebagai penelitian inisiasi terkait Inovasi Alat Deteksi dan Sistem Telemetri Kualitas Air Perikanan Terpadu pada Kolam di Saluran Tersier DAS Kalikuning.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino, 2013, Arduino Uno, <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- Atmel Corporation, 2013, ATMEGA 328 P, <http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx>
- Future Technology Devices International Ltd, 2006, *TTL-232R-3V3 USB to TTL Serial The Converter Cable* National Instruments, 2003, *Oscilloscope Card NI CB-37F-HVD*
- Proakis, John G., Manolakis, Dimitris G., 1996, *Digital Signal Processing, Principles, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall, Third Edition.
- Peebles, Peyton Z., JR, 1993, *Probability, Random Variables, and Random Signal Principles*, Mc Graw-Hill International Editions, Third Edition.
- Stallings, William, 1997, *Data and Computer Communication*, Prentice Hall, Fifth Edition.

ANALISA DAN PERENCANAAN FIBER TO THE HOME (FTTH) PADA SURVEY HOMEPASS STO SOLO DI AREA KLATEN SELATAN

Alfin Hikmaturokhman¹, Defitri²

^{1,2} Program Studi Diploma III Teknik Telekomunikasi
Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom Purwokerto
¹alfin@st3telkom.ac.id , ²D311022@akatelsp.ac.id

ABSTRACT

This research discusses about the FTTH network planning in Solo area. Fiber to the Home (FTTH) is a format for optical signal transmission from the central provider (provider) to the user area by using an optical fiber as a transmission medium. The development of fiber optic technology can replace the use of copper wires. Fiber optics has become a very easy method for data transmission that is free from interference and fast, fiber optics is not problematic on electromagnetic interference and temperature changes. This study aims to select and place devices for Fiber To The Home Network as well as analyzing the transmission power link budget parameters corresponding technical requirements to meet the standards in the area of Solo. Results FTTH design planning can be seen that in scenario 1: 2 1:16 fewer require equipment such as cable distribution and use of the ODP of 2.94 km total of 39 pieces, that means that fewer expenses to be incurred by the company. Link power budget analysis results indicate that the design of the 3 scenarios 1:32, 1: 4 1: 8, and 1: 2 1:16 meets the standards of good quality. Average damping obtained in this plan is 20-21 dB means FTTH network planning made good on this design because the damping value is not more than 28 dB..

Keywords: *Fiber to the Home, fiber optics, Link Budget, ODP*

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan komunikasi yang menyebabkan Teknologi Informasi dan Komunikasi mengalami kemajuan yang sangat pesat, khususnya pada teknologi telekomunikasi bergerak. Dengan teknologi tersebut, maka mudah untuk dapat saling bertukar informasi antara yang satu dengan yang lain meskipun berada pada jarak yang sangat jauh dengan biaya yang terjangkau dan tanpa adanya keterbatasan.

Pada perkembangan teknologi di bidang telekomunikasi sangat pesat di Indonesia maka untuk meningkatkan kualitas layanan agar lebih baik dengan cara modernisasi transmisi kabel, dimana ada penggantian dari kabel tembaga beralih ke kabel serat optik. Teknologi serat optik mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan kabel tembaga atau teknologi *wireless* seperti laju data yang bebas dari interferensi dan cepat.

Kantor Telkom Akses Solo yang selama ini mendominasi sistem telekomunikasi berupaya memenuhi kebutuhan pelanggannya pada sambungan telepon dengan menggunakan Jaringan Lokal Akses Tembaga (JARLOKAT) yaitu dengan menggunakan media transmisi fisik berupa kabel tembaga. Dengan menggunakan media kabel transmisi ternyata tidak mampu memenuhi kebutuhan pelanggan baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Kuantitas yaitu permintaan pelanggan, kualitas yaitu redaman yang cukup besar dan kecepatan data yang tinggi. Setelah muncul permasalahan seperti itu maka dapat diatasi dengan mencoba mengaplikasikan sistem Jaringan Akses Fiber (JARLOKAF) yang merupakan jaringan telepon lokal yang menggunakan media transmisi fisik berupa kabel serat optik. Satu diantara aplikasi Jarlokaf yang ditempatkan di Titik Konversi Optik (TKO) tepat di rumah pelanggan (*end user*) yaitu konfigurasi jaringan *Fiber To The Home* (FTTH).

Keunggulan dari penggunaan kabel serat optik adalah karena cahaya tidak bermasalah dengan interferensi *electromagnet*, perubahan suhu dan kecepatan angin tidak seperti kabel tembaga. PT Telkom Akses Solo sudah menggunakan kabel fiber optik karena sebagian kabel tembaga sudah digantikan dengan kabel fiber optik. Untuk saat ini, PT Telkom Akses Solo sedang melakukan perencanaan pengembangan pelayanan seperti FTTx. Di dalam FTTx terdapat FTTH (*fiber to the home*), FTTZ (*fiber to the zone*), FTTB (*fiber to the building*) dan FTTC (*fiber to the curb*).

Adapun maksud dan tujuan dalam penulisan Penelitian ini adalah Pertama. Menganalisis faktor-faktor yang mengakibatkan terjadinya modernisasi. Kedua, mengetahui desain *Fiber To The*

Home. Ketiga, dapat melakukan pembuatan tabel *Bill Of Quantity (BOQ)* dan keempat, mengetahui parameter transmisi *link power budget*.

Pada Penelitian ini didapat perumusan masalah yang perlu dikaji lebih lanjut yaitu bagaimana perubahan pada tembaga ke kabel optik. Selanjutnya, bagaimana membuat perencanaan FTTH serta menghitung parameter *link budget* dan BOQ.

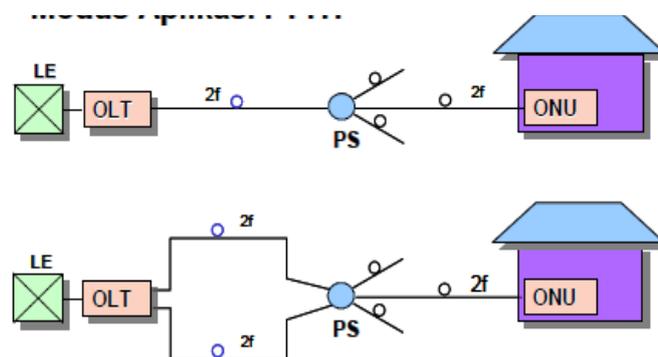
METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian digunakan dengan berbagai cara, agar didapatkan hasil yang lebih memadai yaitu sebagai berikut : Pertama dilakukan dengan metode Studi Literatur untuk melengkapi data yang diperlukan dalam pembuatan penelitian, penulis mencari bahan-bahan dari berbagai informasi dari beberapa buku-buku, jurnal, dan referensi lainnya yang dapat membantu memperoleh pengetahuan dan pokok masalah yang berhubungan dengan konsep media transmisi khususnya pada pembahasan tentang fiber optik, FTTH, dan semua perangkatnya.

Kedua dengan cara Pengambilan Data di Lapangan: dalam hal ini penulis melakukan penelitian berdasarkan fakta dan data yang ada di lapangan dengan cara melakukan *survey micro demand* yang mendukung penelitian ini. Dan yang ketiga dilakukan dengan cara Metode Diskusi, dalam metode diskusi tersebut dilakukan dengan mengadakan tanya jawab langsung dengan dosen pembimbing dari sumber-sumber lain yang kompeten.

Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik, Sistem komunikasi serat optik adalah suatu sistem komunikasi yang dalam pengiriman dan penerimaan sinyal menggunakan sumber optik dan detektor optik dengan panjang gelombang sinar inframerah antara 850nm – 1550nm (frekuensi 0,035 THz – 0,019 THz) yang dilakukan pada media transmisi serat optik^[1].

Desain Jaringan Lokal Akses Fiber (JARLOKAF) dengan Teknologi *Passive Optical Network (PON)* Konfigurasi Jaringan *Fiber to The Home (FTTH)*. Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf) adalah jaringan yang menggunakan kabel serat optik untuk menghubungkan antara sentral lokal dengan terminal pelanggan. Dalam sebuah OLT bisa terdiri atas beberapa ODN yang berfungsi untuk transport dan distribusi data dari OLT ke ONU. Komponen pendukung lainnya adalah *Passive* atau *Active Splitter (PS/AS)* yang berfungsi untuk mendistribusikan daya optik ke semua cabang. Sedangkan komponen utama ONU berfungsi untuk: *Interfacing* dengan ODN, *Multiplexing/Demultiplexing* dan *Interfacing* dengan terminal pelanggan. Lokasi perangkat opto elektronik di sisi pelanggan selanjutnya disebut Titik Konversi Optik (TKO). Jarlokaf dengan Konfigurasi *FTTH* adalah menempatkan TKO di rumah pelanggan atau dapat dianalogikan sebagai pengganti Terminal Blok (TB) pada JARLOKAT. Berikut ini adalah salah satu contoh desain Jarlokaf dengan Arsitektur *FTTH* jika menggunakan teknologi *PON (Passive Optical Network)*.



Gambar 1 Modus Aplikasi FTTH ^[1]

Pada perencanaan jaringan yang besar maka harus menggunakan perencanaan jaringan yang baik dan juga agar biaya yang dikeluarkan lebih sedikit. Keuntungan lain dari sebuah perencanaan jaringan adalah untuk meminimalkan investasi dan meningkatkan keuntungan untuk pengguna yang saling terhubung serta dapat menguntungkan bagi perusahaan yang menggunakan perencanaan jaringan dengan baik. Perencanaan jaringan berdasarkan pada proses untuk mempersiapkan sebuah jaringan FTTH yaitu ada tiga macam tahap, yaitu sebagai berikut :

Pertama. Perencanaan jaringan strategis yang memiliki dua fungsi diantaranya adalah untuk melihat sejauh mana FTTH harus digunakan kemudian pada keputusan yang strategis contohnya arsitektur, kabel, dan teknologi apa yang akan digunakan. Kedua. Perencanaan jaringan tingkat tinggi adalah proses membuat keputusan untuk menentukan wilayah mana yang akan ditempatkan jaringan distribusi. Serta untuk menentukan lokasi sebagai sentral pelanggan dan dapat menentukan panjang instalasi kabel dan saluran berbagai jenis hardware yang bertujuan untuk menghasilkan jaringan dengan biaya rendah karena sudah melakukan perencanaan jaringan sebelumnya. Dan Ketiga dilakukan pembangunan rencana jaringan yaitu proses pembuatan rencana bahan konstruksi jaringan, juga mencakup informasi koneksi rinci seperti rencana *splicing*, skema pelabelan atau pada koneksi *micro-duct*.

Agar perencanaan jaringan akurat maka diperlukan perencanaan dapat ditingkatkan dengan data tambahan, seperti :

Pertama, jenis permukaan jalan yang dapat membantu memberikan perkiraan untuk biaya penggalian, informasi ini juga dapat digunakan untuk menentukan pada saat penggalian harus digunakan untuk segmen jalan tertentu. Kedua, ketersediaan infrastruktur yang ada dan dapat digunakan kembali seperti tiang sangat membantu untuk mengurangi biaya. Ketiga, informasi tentang gas yang ada, listrik, infrastruktur tembaga di jalan dapat digunakan untuk menentukan rute potensial dimana ada kemungkinan didapatkan izin untuk menggali. Dan Keempat, lokasi yang cocok untuk *point of presence* (POP).

Perangkat OLT ini biasanya menyediakan *interface* antara sistem PON dengan penyedia layanan (*service provider*) data, video, dan jaringan telepon. Perangkat ini akan membuat link ke sistem operasi penyedia layanan melalui *Network Management System* (NMS). Istilah OLT sering dikenal dengan perangkat yang berperan sebagai titik akhir dari sebuah perangkat layanan PON. Dan sebuah jaringan OLT ini memiliki beberapa peranan penting yaitu : Digunakan untuk melakukan konversi dari sinyal listrik yang digunakan oleh peralatan provider dengan sinyal fiber optic yang digunakan oleh jaringan PON, Berfungsi sebagai proses multiplexing dengan perangkat pada akhir jaringan. Di dalam OLT juga mencakup beberapa fitur, yaitu :

- a. Fitur pemroses frame *downstream* yaitu digunakan untuk menerima dan akan melakukan proses sebuah sel untuk menghasilkan frame *downstream* dan akan mengubah data serial tersebut,
- b. Fitur WDM yaitu digunakan untuk melakukan konversi elektrik atau optik dari data serial frame *downstream*
- c. Fitur pemroses frame *upstream* yaitu digunakan untuk mengekstraksi data dari proses WDM yang akan mencari *overhead field* yang akan menggambarkan batas slot dan akan membagi slot secara
- d. terpisah,
- e. Fitur kontrol yaitu digunakan untuk mengendalikan antara frame *downstream* dengan frame *upstream* dengan menggunakan sinyal waktu

ODC atau sering disebut dengan *Optical Distribution Cabinet* merupakan suatu ruang yang berbentuk kotak yang terbuat dari material khusus yang berfungsi sebagai tempat instalasi sambungan jaringan optik *single-mode* yang dapat berisi *connector*, *splicing*, ataupun *splitter* dan dilengkapi ruang manajemen *fiber* dengan kapasitas tertentu pada jaringan akses optik pasif (PON) yang berfungsi untuk hubungan telekomunikasi. Biasanya penempatan ODC adalah berada dirumah kabel.

Penempatan ODC juga harus memperhatikan lokasi, berikut adalah factor-faktor yang harus dipertimbangkan^[8]:

Pertama, faktor keamanan. Kedua, faktor bencana alam (banjir). Ketiga, jumlah lokasi demand. Keempat, letak geografis. Kelima, ODC dipasang dititik *center* suatu area.

Kapasitas ODC ada beberapa macam, dan berikut adalah beberapa tipe nya antara lain ^[3]:
Dari tipe 96 dengan kapasitas maksimal 200 rumah. Tipe 144 dengan kapasitas 400-800 rumah. Tipe 288 dengan kapasitas 801-1000 rumah dan Tipe 576 dengan kapasitas 1001-2000 rumah

Analisa *link budget* dilakukan dengan tujuan agar perencanaan jaringan transmisi dapat memenuhi kondisi sistem komunikasi yang bekerja secara optimal dalam melakukan performansi komunikasi. Dan agar dapat bekerja dengan maksimal, perencanaan *link budget* pada perencanaan jaringan harus mempertimbangkan hal-hal yang diperlukan dalam perhitungan diantaranya besaran sinyal optik dan noise. Hitungan *link budget* ini sangat diperlukan dalam perencanaan jaringan FTTH.

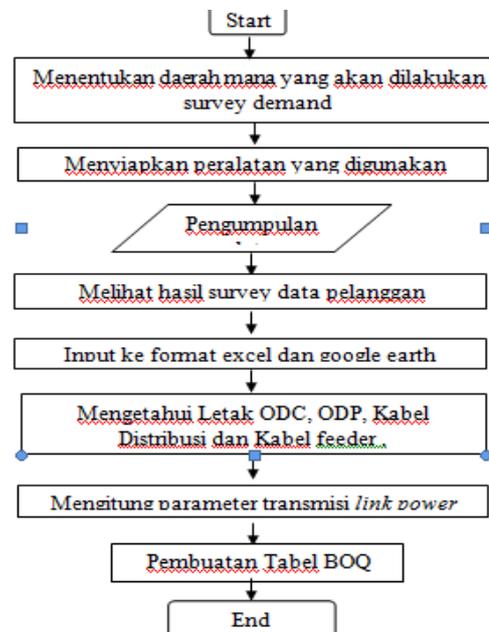
Untuk menghitung *link budget* maka yang harus diketahui terlebih dahulu adalah nilai-nilai loss maksimum per elemen.

Tabel 1 Nilai loss maksimum^[3]

Network Elemen	Batasan	Ukuran
Kabel	Max	0.35 dB/km
Splicing	Max	0.1 dB
Connector Loss	Max	0.25 dB
Splitter 1:2	Max	3.70 dB
Splitter 1:4	Max	7.25 dB
Splitter 1:8	Max	10.38 dB
Splitter 1:16	Max	14.10 dB
Splitter 1:32	Max	17.45 dB

Pembuatan BOQ (*Bill Of Quantity*)^[8], Tabel BOQ merupakan tabel yang menjelaskan tentang anggaran biaya yang digunakan untuk membuat sebuah jaringan FTTH pada suatu daerah dan dapat menjelaskan perangkat yang digunakan untuk membangun sebuah jaringan FTTH tersebut. Perangkat yang dihitung volume materialnya diantaranya adalah jaringan feeder, jaringan distribusi, dan jaringan *drop cable*. Dan untuk memudahkan dalam perhitungan maka dapat menggunakan diagram batang tabel dan tabel jumlah demand, jenis layanan dan volume material yang dipakai.

Flowchart Sub Sistem, merupakan tahapan dalam penelitian sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Flowchart Sub Sistem

Pemodelan Sistem Waktu Dan Tempat Pengambilan Data Pada saat mengerjakan Penelitian ini penulis mengambil data di titik lokasi Klaten area STO Solo. Penulis membutuhkan waktu selama 1 minggu untuk melakukan survey pada satu daerah tersebut. Pengamatan dilakukan berdasarkan

dengan form tabel yang diberikan oleh pihak *on desk survey*. Setelah dilakukan pengamatan maka dapat diketahui data-data pelanggan pada suatu wilayah tersebut.

Tahap Persiapan, tahap ini merupakan tahap persiapan bagi penulis karena pada tahap ini penulis melakukan penyusunan proposal penelitian sekaligus melakukan pengumpulan literatur – literatur yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian ini. Tahap Pengumpulan Data, dalam penelitian ini, penulis mengambil materi penelitian mengenai data keadaan rumah pelanggan pada daerah Klaten. Tahap Pengolahan Data, pada tahapan ini, semua data yang sudah dikumpulkan akan diolah dengan rincian sebagai berikut: Melakukan *input* data dengan menggunakan *google earth*, Melakukan desain jaringan FTTH pada *google earth*, Membuat tabel BOQ (*Bill Of Quantity*), Menghitung nilai *Link Budget*, Tahap Desain FTTH

Pada tahap ini, data hasil survey pelanggan yang sudah di dapatkan maka akan di lakukan *input* ke *Microsoft Excel* dan *Google Earth* yang kemudian dibuat desain FTTH untuk dapat mengetahui letak STO, ODC, ODP, kabel distribusi, kabel *feeder*. Dan setelah desain selesai dibuat maka dapat dilakukan perhitungan parameter *Link Budget* dan pembuatan tabel BOQ.

Tahap Analisis Data, pada tahap ini data yang sudah diolah dan dilakukan desain akan dilakukan analisa dengan cara melakukan perhitungan dan perincian alat yang digunakan pada tabel *Bill Of Quantity* dan perhitungan nilai-nilai redaman pada tabel *Link Budget*. Dan pada Tahap Akhir Merupakan tahap akhir dari penyusunan Penelitian yaitu penulisan Laporan

PEMBAHASAN

Survey dan Design, survey dilakukan dengan tujuan untuk mengumpulkan data dan informasi untuk perencanaan jaringan *Fiber To The Home* (FTTH). Pada tahapan survey ini dibagi menjadi dua bagian berdasarkan lokasi, yaitu *on desk survey* dan *on site survey*. Berikut adalah peralatan yang digunakan untuk survey FTTH : 1. Peta Lokasi, 2. GPS. 3. Alat Tulis. 4. Kendaraan

Dokumentasi tipe rumah ada 3 macam yaitu R1, R2, R3. Pada tipe R1 dengan luas tanah lebih dari 200 meter dengan kategori rumah mewah, pada tipe rumah R2 dengan luas tanah lebih dari 100 meter tetapi kurang dari 200 meter dengan kategori rumah biasa, sedangkan untuk rumah dengan tipe R3 dengan luas bangunan kurang dari 100 meter, dengan kategori bangunan sederhana.



Gambar 3 Design 1:32

Design *one stage* Gambar 3 desain 1:32, dapat dilihat peralatan yang digunakan untuk perencanaan jaringan FTTH yaitu menggunakan 1 kabel *feeder* untuk menyambungkan dari STO ke ODC dengan ketentuan maksimal 2 km jarak dari STO ke ODC, 19 kabel distribusi untuk menyambungkan dari ODP ke ODP lain, dan pada desain 1:32 1 kabel distribusi digunakan untuk mencakup 2 ODP. 39 ODP untuk menyambungkan dari ODC ke pelanggan dengan ketentuan 1 ODP untuk mencakup maksimal 16 pelanggan, 591 drop kabel untuk menyambungkan ODP ke pelanggan, jarak maksimal dari ODP ke pelanggan adalah 0.1 km atau 100 m.

Setelah dilakukan desain maka didapatkan 3 sampel ODP untuk menghitung parameter *link budget* dan membuat tabel BOQ. Untuk menghitung parameter *link budget* maka diambil asumsi 3 ODP terjauh, menengah dan terdekat. Dan pada posisi terjauh pada ODP 21 dengan jarak 0.95 km. Posisi terdekat pada ODP 1 dengan jarak 0.04 km dan posisi menengah pada ODP 32 dengan jarak 0.39 km. Untuk parameter *link budget* yang diambil dari 3 sampel ODP, dan pada ODP terdekat

didapatkan nilai redaman rata-rata 20,63 dB. Nilai rata-rata redaman pada posisi ODP menengah adalah 20,75 dB. Dan nilai redaman pada posisi ODP terjauh adalah 20,95 dB.



Gambar 4 Design 1:4 1:8

Two Stage sistem 1:4 1:8, dari gambar desain 4 dapat dilihat peralatan yang digunakan untuk perencanaan jaringan FTTH yaitu menggunakan 1 kabel feeder untuk menyambungkan dari STO ke ODC dengan ketentuan maksimal 2 km jarak dari STO ke ODC, 3 kabel distribusi untuk menyambungkan dari ODP ke ODP lain, dan pada desain 1:4 1:8 74 ODP untuk menyambungkan dari ODC ke pelanggan dengan ketentuan 1 ODP untuk mencakup maksimal 8 pelanggan, 591 drop kabel untuk menyambungkan ODP ke pelanggan, jarak maksimal dari ODP ke pelanggan adalah 0.1 km atau 100 m.

Setelah dilakukan desain maka didapatkan 3 sampel ODP untuk menghitung parameter *link budget* dan membuat tabel BOQ. Untuk menghitung parameter *link budget* maka diambil asumsi 3 ODP terjauh, menengah dan terdekat. Dan pada posisi terjauh pada ODP 36 dengan jarak 0.9 km. Posisi terdekat pada ODP 1 dengan jarak 0.01 km dan posisi menengah pada ODP 48 dan ODP 22 dengan jarak masing-masing sama yaitu 0.3 km. Untuk parameter *link budget* yang diambil dari 3 sampel ODP, dan pada ODP terdekat didapatkan nilai redaman rata-rata 20,8 dB. Nilai rata-rata redaman pada posisi ODP menengah-1 adalah 20,94 dB pada posisi ODP menengah-2 nilai redamannya adalah 21,24 dB. Dan nilai redaman pada posisi ODP terjauh adalah 21,11 dB.



Gambar 5 Design 1:2 1:16

Two Stage sistem 1:2 1:16, dari Gambar 5 desain dapat dilihat peralatan yang digunakan untuk perencanaan jaringan FTTH yaitu menggunakan 1 kabel feeder untuk menyambungkan dari STO ke ODC dengan ketentuan maksimal 2 km jarak dari STO ke ODC, 3 kabel distribusi untuk menyambungkan dari ODP ke ODP lain, dan pada desain 1:2 1:16 39 ODP untuk menyambungkan dari ODC ke pelanggan dengan ketentuan 1 ODP untuk mencakup maksimal 8 pelanggan, 591 drop kabel untuk menyambungkan ODP ke pelanggan, jarak maksimal dari ODP ke pelanggan adalah 0.1 km atau 100 m.

Setelah dilakukan desain maka didapatkan 3 sampel ODP untuk menghitung parameter *link budget* dan membuat tabel BOQ. Untuk menghitung parameter *link budget* maka diambil asumsi 3 ODP terjauh, menengah dan terdekat. Dan pada posisi terjauh pada ODP 21 dengan jarak 0.95 km. Posisi terdekat pada ODP 1 dengan jarak 0.04 km dan posisi menengah pada ODP 32 dengan jarak 0.39 km. Untuk parameter *link budget* yang diambil dari 3 sampel ODP, dan pada ODP terdekat

didapatkan nilai redaman rata-rata 20,98 dB. Nilai rata-rata redaman pada posisi ODP menengah adalah 21,11 dB. Dan nilai redaman pada posisi ODP terjauh adalah 21,4 dB.

Bill Of Quantity Boundary 9, pada Tabel 2 dijelaskan perangkat apa saja yang dibutuhkan untuk membuat perencanaan jaringan FTTH pada boundary 9 dengan menggunakan sistem *two stage* 1:4 1:18. Penggunaan kabel *feeder* yaitu kabel yang menghubungkan antara STO ke ODC adalah 1,48 km. Pada penggunaan kabel distribusi, yaitu kabel yang menghubungkan antara ODC ke ODP yaitu 10,92 km. Penggunaan drop kabel, yaitu kabel yang menghubungkan antara ODP ke pelanggan sebanyak 114,4 km. Pada desain ini menggunakan 1 *passive splitter* dengan tipe 1:2 pada ODC dan 185 *passive splitter* dengan tipe 1:16 pada ODP, menggunakan 1 STO. Dan pada penggunaan ODP yang berfungsi untuk menghubungkan ODC ke pelanggan sebanyak 185 buah dengan kapasitas 1 ODP maksimal untuk mencakup 8 rumah. Penggunaan tiang kosong sebanyak 115 berfungsi untuk penghubung dari ODP ke ODP lain apabila jaraknya lebih dari 45 meter. Dan pada penggunaan konektor SC/UPC karena redamannya kecil yaitu 0,25 dB sebanyak 15730 buah karena per pelanggannya menggunakan 11 konektor dan jumlah pelanggan pada *boundary* 2 sebanyak 1430 pelanggan.

Tabel 2 BOQ Boundary 9

No	Nama Perangkat	Jumlah	Satuan
1	Kabel Feeder	2,16	Km
2	Kabel Distribusi	9,3	Km
3	Kabel Drop	56,56	Km
4	Splitter 1:4	1	Bh
5	Splitter 1:8	110	Bh
5	Sto	1	Bh
6	Odc	1	Bh
7	Odp	110	Bh
8	Tiang Kosong	41	Bh
9	Konektor Sc/Upc	7777	Bh
10	Sambungan Feeder	1	Bh

Tabel 3 BOQ Boundary 10

No	Nama Perangkat	Jumlah	Satuan
1	Kabel Feeder	1,48	km
2	Kabel Distribusi	10,92	km
3	Kabel Drop	114,4	km
4	Splitter 1:4	1	bh
5	Splitter 1:8	185	bh
5	STO	1	bh
6	ODC	1	bh
7	ODP	185	bh
8	Tiang Kosong	115	bh
9	Konektor SC/UPC	15730	bh

Bill Of Quantity Boundary 10, pada Tabel 3 dijelaskan perangkat apa saja yang dibutuhkan untuk membuat perencanaan jaringan FTTH pada boundary 10 dengan menggunakan sistem *two stage* 1:4 1:18. Penggunaan kabel *feeder* yaitu kabel yang menghubungkan antara STO ke ODC adalah 2,16 km. Pada penggunaan kabel distribusi, yaitu kabel yang menghubungkan antara ODC ke ODP yaitu 9,3 km. Penggunaan drop kabel, yaitu kabel yang menghubungkan antara ODP ke pelanggan sebanyak 56,56 km. Pada desain ini menggunakan 1 *passive splitter* dengan tipe 1:2 pada ODC dan 110 *passive splitter* dengan tipe 1:16 pada ODP, menggunakan 1 STO. Dan pada penggunaan ODP yang berfungsi untuk menghubungkan ODC ke pelanggan sebanyak 110 buah dengan kapasitas 1 ODP maksimal untuk mencakup 8 rumah. Penggunaan tiang kosong sebanyak 41 berfungsi untuk penghubung dari ODP ke ODP lain apabila jaraknya lebih dari 45 meter. Dan pada penggunaan konektor SC/UPC karena redamannya kecil yaitu 0,25 dB sebanyak 7777 buah karena per pelanggannya menggunakan 11 konektor dan jumlah pelanggan pada *boundary* 10 sebanyak 707 pelanggan.

KESIMPULAN

1. *Link budget* adalah sebuah cara yang berfungsi untuk mengetahui seberapa besar redaman sebuah jaringan. Semakin jauh letak pelanggan maka semakin besar redamannya. Sebuah perencanaan jaringan yang baik apabila nilai redamannya tidak lebih dari 28 dB. Apabila nilai redamannya lebih dari 28 dB maka perencanaan tersebut tidak bagus. Redaman rata-rata yang didapatkan pada desain ini adalah 20-21 dB yang artinya perencanaan jaringan FTTH yang dibuat pada desain ini bagus karena nilai redamannya tidak lebih dari 28 dB.

2. Dari ke-3 skenario yaitu 1:32, 1:2 1:16, serta 1:4 1:8 didapatkan kesimpulan bahwa pada skenario 1:32 dapat dipakai apabila jumlah rumah pada suatu *boundary* banyak dan mengumpul tetapi pemakaian kabel distribusi lebih banyak. Sama halnya dengan skenario 1:2 1:16 dapat dipakai apabila jumlah rumah pada sebuah daerah banyak dan mengumpul pemakaian kabel distribusi lebih sedikit. Perbedaan dua skenario tersebut adalah pada penggunaan kabel distribusi. Sedangkan skenario 1:4 1:8 digunakan pada daerah yang letak rumahnya banyak dan menyebar.
3. *Bill Of Quantity* (BOQ) merupakan sebuah cara yang berfungsi untuk mengetahui berapa jumlah perangkat yang digunakan untuk sebuah perencanaan jaringan. Dan dari desain 3 skenario, pada skenario 1:32 penggunaan perangkat utama seperti kabel distribusi sebanyak 8,82 km, kabel drop 23,05 serta ODP sebanyak 39 buah. Pada skenario 1:2 1:16 penggunaan perangkat utama seperti kabel distribusi sebanyak 2,94 km, kabel drop 23,05 km, serta ODP sebanyak 39 buah. Pada skenario 1:4 1:8 penggunaan perangkat utama seperti kabel distribusi sebanyak 3,72 km, kabel drop 18,36, serta ODP sebanyak 74 buah, dapat diketahui bahwa pada skenario 1:2 1:16 lebih sedikit memerlukan peralatan seperti kabel distribusi 2,94 km dan penggunaan ODP sebanyak 39 buah. Yang dapat diartikan bahwa lebih sedikit pengeluaran yang harus dikeluarkan oleh perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Angga Julian Maulana. *Perencanaan Desain Jaringan Metro FTTH*. Depok: Universitas Indonesia Depok 2012.
- Divlat PT. Telkom,Tbk. *Sistem Jaringan Lokal Akses Fiber Optik*. Bandung : PT.Telkom,Tbk, 2000
- Divlat PT. Telkom Akses,Tbk. *Design FTTx*. Jakarta : PT.Telkom Akses,Tbk, 2014
- Divlat PT. Telkom Akses,Tbk. *Overview FTTx*. Jakarta : PT.Telkom Akses,Tbk, 2014
- John Crisp dan Barry Elliott. (2005). *Serat Optik Sebuah Pengantar* . Credo Ut intelligam : Erlangga
- Lita Berliati. *Perhitungan Parameter Kualitas Jaringan Pada Pelanggan Speedy Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (Gpon)*. Purwokerto: Akademi Teknik Telkom Sandy Putra Purwokerto,2013.
- Modul Praktikum SKSO Akatel Sandhy Putra Purwokerto
- Wettelijck Depot. *FTTH Handbook*.Europe 2011
- Zulfadjri Basri dkk. *Jurnal Aplikasi Perencanaan JARLOKAF*. Kupang : Universitas Nusa Cendana Kupang

PENGARUH UKURAN KAPASITOR TERHADAP KARAKTERISTIK KELUARAN GENERATOR INDUKSI 1 FASE

Agus Supardi¹, Dedi Ary Prasetya², Joko Susilo³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
e-mail :Agus.Supardi@ums.ac.id, Dediary.Prasetya@ums.ac.id

ABSTRACT

Most electrical equipment used by the public usually require 1 phase source. One type of generator that can be used to generate electricity is induction generator. Single phase induction generator can be operated in stand-alone conditions. In order to generate electricity, the induction generator must be connected to the capacitor with a certain size. This research investigated the effect of the size of the capacitor on the output characteristics of single phase induction generator. This research was started by assembling prime mover and induction generator. Induction generator under no-load is then rotated until 1500 rpm. After that the capacitor 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, and 72 μF connected to the induction generator terminals gradually. Measurement of voltage and frequency of induction generator are carried for each variation of capacitor. Testing continued with the induction generator test under resistive, inductive and resistive inductive load condition. Incandescent lamps are used as resistive loads while fluorescent lamps are used as inductive load. The generator load is varied from 40-440 watts to simulate residential load. The results showed that the size of the capacitor will influence the magnitude of voltage generated by the induction generator. The larger the capacitor, the greater the voltage generated. The size of the capacitor does not significantly affect to the frequency of induction generator. Types of loads connected to the induction generator will influence to voltage drop. For the same load, inductive load will result greater voltage drop than resistive load.

Keywords: 1-phase induction generator, capacitor, voltage and frequency

PENDAHULUAN

Salah satu komponen utama yang menjadi pertimbangan dalam perencanaan sistem pembangkit adalah jenis generator yang digunakan untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator induksi merupakan salah satu alternatif di antara beberapa jenis generator lainnya. Generator induksi mempunyai konstruksi yang kokoh, tidak memerlukan sikat arang/komutator, harganya murah, mudah perawatannya, mudah pengoperasiannya, dan mampu membangkitkan tenaga listrik pada berbagai kecepatan. Karakteristik inilah yang menyebabkan generator induksi menjadi salah satu alternatif pilihan untuk aplikasi pembangkit listrik berdaya kecil pada daerah yang terpencil lokasinya.

Apabila generator induksi hendak diterapkan pada suatu sistem pembangkit di lokasi terpencil, maka akan dijumpai kenyataan bahwa potensi tenaga penggerak mula yang digunakan untuk memutar generator tersebut adalah tidak konstan. Pada pembangkit tenaga mikrohidro sering dijumpai debit air yang berbeda-beda akibat pengaruh musim. Di sisi lain, beban harian yang harus dipikul oleh sistem pembangkit tersebut juga tidak konstan. Kondisi ini akan berdampak besar terhadap tegangan dan frekuensi pembangkit tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu penelitian untuk membuat suatu prototipe generator induksi yang dapat menghasilkan tegangan dan frekuensi dalam batas-batas kualitas yang baik walaupun untuk implementasi di daerah terpencil.

Bansal (2005) mengungkapkan bahwa motor induksi 3 fase dapat dioperasikan sebagai generator induksi. Hal ini ditunjukkan dari diagram lingkaran mesin pada daerah slip negatif. Ini berarti bahwa agar mesin induksi 3 fase dapat beroperasi sebagai generator maka rotornya harus berputar lebih cepat daripada kecepatan medan magnet di statornya sehingga dihasilkan slip negatif. Pada kondisi ini daya aktif mengalir dari mesin, namun mesin membutuhkan daya reaktif. Agar terminal generator menghasilkan tegangan, maka eksitasi harus disediakan. Daya eksitasi ini bisa berasal dari jaringan (mesin menjadi semacam beban) atau bila sistem terisolasi (*stand-alone*) harus terhubung dengan suatu bank kapasitor yang cukup.

Besarnya kapasitor eksitasi yang diperlukan dapat diprediksi dengan melakukan pemodelan matematis. Boora (2010) memaparkan bahwa karakteristik generator induksi 3 fase tereksitasi diri

yang dimodelkan pada kondisi seimbang dan tak seimbang sangat ditentukan oleh nilai kapasitor eksitasi. Karena generator induksi yang dianalisis dalam kondisi *stand alone* maka frekuensi medan putar di belitan statornya akan berubah seiring dengan perubahan kecepatan rotor dan menghasilkan slipnya yang nilainya tetap kecil. Hasil lainnya menunjukkan efisiensi generator induksi mempunyai nilai yang tinggi.

Generator induksi mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan generator sinkron antara lain harga unitnya murah, konstruksinya kuat dan sederhana, mudah dalam pengoperasiannya, memerlukan sedikit perawatan, dan mempunyai keandalan yang tinggi (Ouhrouche, 1995). Menurut Bansal (2005) keunggulan generator induksi lainnya adalah reduksi unit *cost* dan ukuran, tanpa sikat, ketiadaan sumber DC terpisah, kemampuan proteksi diri terhadap beberapa kondisi beban lebih dan hubung singkat.

Generator induksi dapat diterapkan pada sistem pembangkit tenaga angin dimana mesin atau kincir angin yang memutar generator tidak mengharuskan pada kecepatan sinkronnya agar dihasilkan tegangan. Dengan demikian, jika daya yang dibangkitkan tidak mensyaratkan frekuensi dan tegangan tetap maka generator dapat dioperasikan *stand alone* atau terisolasi, terlepas dari saluran publik (Irianto, 2004). Fukami et al (1999) melaporkan bahwa mesin induksi 3 fase dapat digunakan sebagai generator induksi 1 fase pada suatu sistem yang tidak terhubung dengan jala-jala listrik (*stand alone*).

Ada beberapa permasalahan yang perlu dipecahkan terkait dengan pemanfaatan generator induksi sebagai pembangkit. Supardi (2009) memaparkan bahwa generator induksi 3 fase tereksitasi diri bisa menghasilkan harmonik. Tegangan generator induksi yang diteliti pada saat tanpa beban mengalami distorsi sebesar 16,7–20,7% dari komponen fundamentalnya. Harmonisa orde ke-3 adalah yang paling dominan dibanding dengan yang lainnya. Pemasangan beban lampu LHE dan lampu TL dengan ballast lilitan mengakibatkan keluaran generator menjadi lebih terdistorsi. Sumbangan lampu LHE terhadap distorsi harmonik lebih besar dari lampu TL dengan ballast lilitan. Dengan menggunakan filter harmonik orde ke-3 (terhubung seri) dan orde 5 (terhubung paralel) maka distorsi harmoniknya dapat diselesaikan karena nilainya sudah memenuhi standar IEEE 519 (THD-V < 5% dan THD-I < 15%). Ouhrouche and Chaîne (1995) memaparkan bahwa generator induksi yang terhubung dengan kapasitor menjadi *self excited* jika dilepaskan dari jala-jala listrik. Nilai reaktans magnetisasinya turun sehingga bisa menyebabkan ferroresonance. Gelombangnya menjadi sangat terdistorsi sehingga peralatan proteksi dapat salah merespon. Permasalahan lainnya yang muncul terkait dengan aplikasi generator induksi adalah tegangan dan frekuensi output generator induksi pada pengoperasian pembangkit *stand-alone* sangat sensitif terhadap perubahan beban. Hal ini akan menyebabkan generator induksi beroperasi pada tegangan dan frekuensi output yang berfluktuatif pada perubahan beban.

Dalam penelitian ini, kami mengusulkan pemakaian motor induksi 1 fase sebagai generator induksi. Hal ini dilatarbelakangi kenyataan bahwa motor ini mempunyai kapasitas daya yang kecil, jumlahnya fasenya hanya satu, sangat mudah dijumpai di pasaran, dan harganya sangat terjangkau sehingga sangat cocok untuk aplikasi pada pembangkit skala kecil di daerah terpencil. Untuk tujuan ini maka akan diteliti karakteristik dari generator induksi 1 fase dalam kondisi tereksitasi diri dengan memanfaatkan bank kapasitor. Pengujian karakteristik generator induksi dilakukan pada saat tanpa beban dan pada saat berbeban. Beban yang dipakai terdiri dari beban resistif, beban induktif dan beban resistif induktif. Beban resistif yang dipakai berupa lampu pijar sedangkan beban induktifnya berupa lampu TL.

METODE

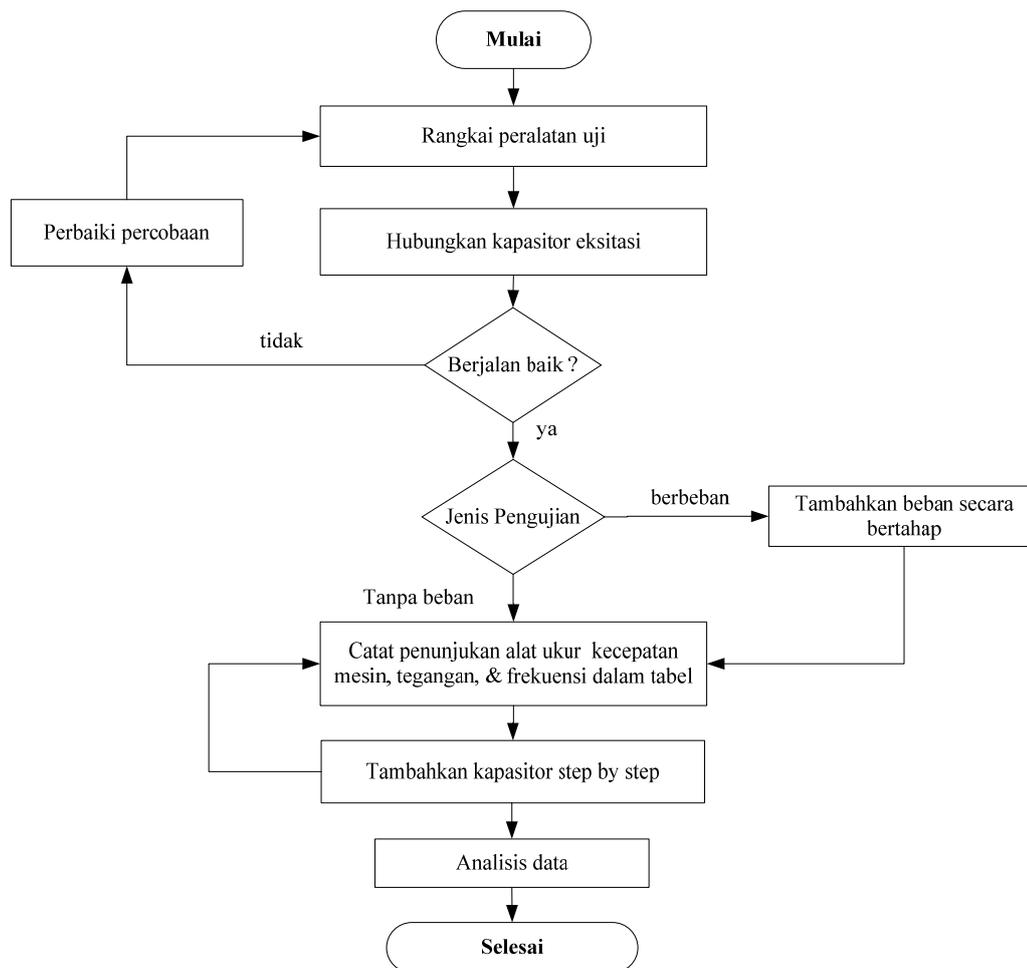
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin induksi 1 fase yang difungsikan sebagai generator.
2. Penggerak mula untuk memutar generator induksi sampai suatu kecepatan tertentu.
3. Streng (*v belt*) dan *pully* untuk mengkopel generator induksi dengan penggerak mulanya.
4. Dudukan besi sebagai tempat untuk memasang generator induksi dan penggerak mulanya.
5. Tachometer untuk mengukur kecepatan putar generator induksi.
6. *Power quality analyzer* untuk mengukur tegangan dan frekuensi generator induksi.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menguji generator induksi adalah sebagai berikut :

Pertama, generator induksi dikopel dengan penggerak mulanya. Kedua, generator induksi diputar hingga mencapai kecepatan 1500 rpm dengan jalan mengatur tegangan masukan pada penggerak mulanya. Ketiga, kapasitor eksitasi berukuran 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, dan 72 μF dihubungkan secara bertahap pada terminal generator induksi. Keempat, *power quality analyzer* dihubungkan pada terminal keluaran generator induksi untuk mengukur tegangan dan frekuensi generator induksi. Kelima, pengukuran tegangan dan frekuensi generator induksi dilakukan pada saat tanpa beban dan pada saat berbeban. Dan yang keenam, beban yang dipakai adalah beban resistif, beban induktif, dan beban resistif induktif dengan daya yang divariasi mulai dari 40 – 440 W untuk menirukan beban rumah tangga.

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

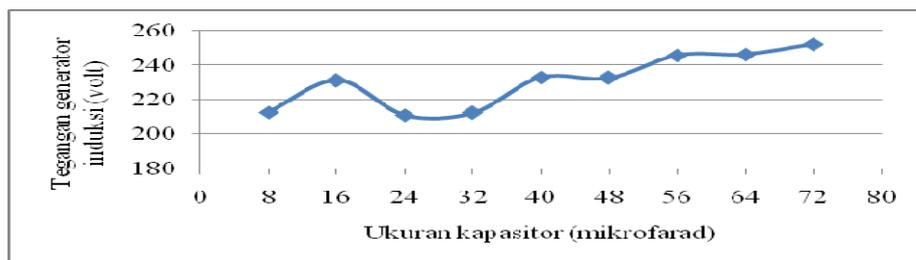
PEMBAHASAN

Pengujian Generator Induksi Tanpa Beban, pengujian rangkaian ini ditujukan untuk mengetahui hubungan antara ukuran kapasitor terhadap tegangan dan frekuensi generator induksi pada saat generator induksi tanpa beban. Hasil pengujian generator induksi pada saat tanpa beban ditunjukkan pada gambar 2 dan Gambar 3.

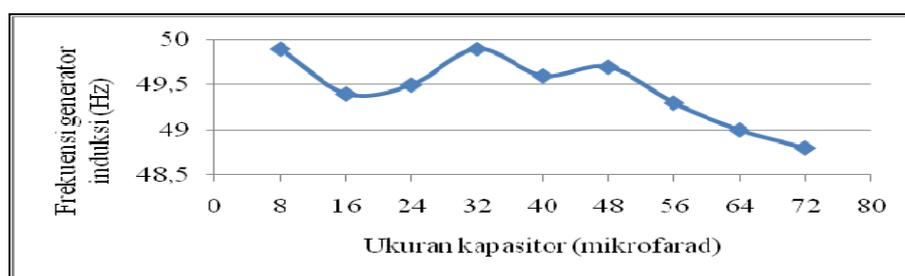
Gambar 2 menunjukkan bahwa ukuran kapasitor akan berpengaruh terhadap tegangan generator induksi pada saat tanpa beban. Tegangan minimal sebesar 211 volt dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 8 μF . Tegangan maksimal sebesar 252,3 volt dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 72 μF . PLN menetapkan standar kualitas tegangan berkisar antara 0,9 – 1,05 kali tegangan

nominal. Bila mengacu pada standard kualitas tegangan ini maka range tegangan yang baik adalah 198 – 231 volt. Berdasarkan hasil pengujian maka kapasitor berukuran 8 – 48 μF adalah ukuran yang boleh dihubungkan pada generator induksi. Bila ukuran kapasitornya lebih dari 48 μF maka tegangan keluaran generatornya sangat tinggi sehingga bisa mengakibatkan kegagalan isolasi bahkan kerusakan dari peralatan listrik yang dihubungkan padanya. Data menunjukkan bahwa semakin besar ukuran kapasitornya maka tegangan generator induksinya akan semakin besar. Hal ini karena kapasitor berfungsi sebagai eksitasi generator induksi sehingga berperan sangat penting dalam proses pembangkitan tegangan pada belitan stator generator induksi. Semakin besar kapasitansi kapasitornya, maka impedansinya akan semakin kecil sehingga arus yang eksitasi yang dapat dialirkan oleh kapasitor tersebut semakin besar. Semakin besar arus eksitasinya, maka tegangan induksinya akan semakin besar.

Gambar 3 menunjukkan bahwa ukuran kapasitor juga akan berpengaruh terhadap frekuensi generator induksi. Frekuensi minimal sebesar 48,8 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 72 μF . Frekuensi maksimal sebesar 49,9 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 8 dan 32 μF . PLN menetapkan standar kualitas frekuensi berkisar antara 0,95- 1,05 kali frekuensi nominal (50 Hz). Bila mengacu pada standar kualitas frekuensi ini maka range frekuensi yang masih dikategorikan berkualitas adalah 47,5 – 52,5 Hz. Berdasarkan hasil pengujian maka kapasitor berukuran 8 – 72 μF dapat dihubungkan pada generator induksi tanpa mengakibatkan penurunan kualitas frekuensi. Data menunjukkan bahwa semakin besar ukuran kapasitornya maka frekuensi generator induksinya semakin kecil walaupun tingkat penurunannya masih dalam batas – batas nilai yang ditetapkan oleh standar yang berlaku. Berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan frekuensi tersebut maka kapasitor berukuran 32 μF dipilih sebagai yang paling tepat diantara kapasitor lainnya.



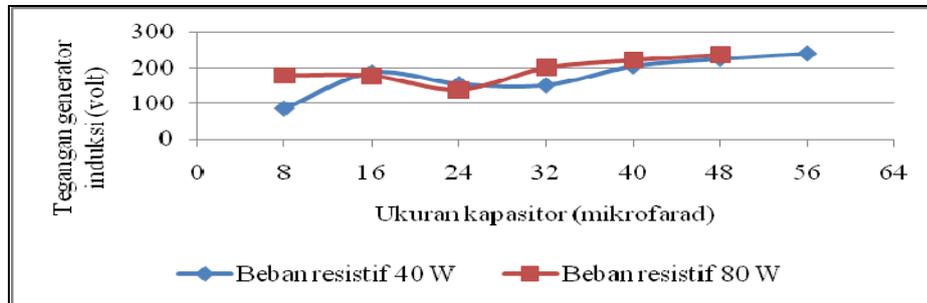
Gambar 2. Hubungan ukuran kapasitor dengan tegangan generator induksi pada saat tanpa beban



Gambar 3. Hubungan ukuran kapasitor dengan frekuensi generator induksi pada saat tanpa beban

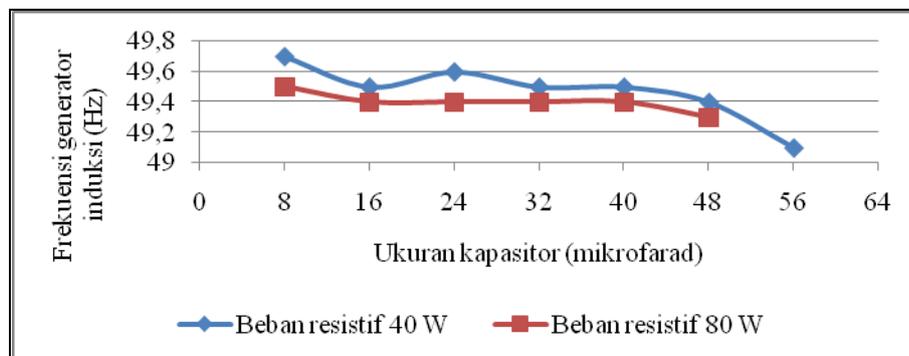
Pengujian Generator Induksi Berbeban Resistif, Gambar 4 menunjukkan bahwa ukuran kapasitor akan berpengaruh terhadap tegangan generator induksi pada saat diberi beban resistif. Tegangan minimal sebesar 87,6 volt dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 8 μF . Tegangan maksimal sebesar 241,1 volt dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 56 μF . Pada penelitian ini, ukuran kapasitor dibatasi sampai 56 μF agar tidak merusak beban yang dihubungkan pada generator induksi. Bila dibandingkan dengan hasil pengujian tanpa beban, maka penambahan beban resistif mengakibatkan penurunan tegangan generator induksi. Untuk kapasitor berukuran 8 μF penambahan beban resistif sebesar 40 W mengakibatkan penurunan tegangan sebesar 123,4 volt (58,8%). Untuk

kapasitor berukuran 56 μF , penambahan beban resistif sebesar 40 W akan menyebabkan penurunan tegangan sebesar 4,9 volt (2%) saja. Hal ini memperlihatkan bahwa kapasitor berukuran besar dapat menyediakan arus eksitasi yang lebih baik dibandingkan dengan kapasitor berukuran kecil. Penambahan daya beban resistif juga berpengaruh terhadap tegangan keluaran generator induksi.

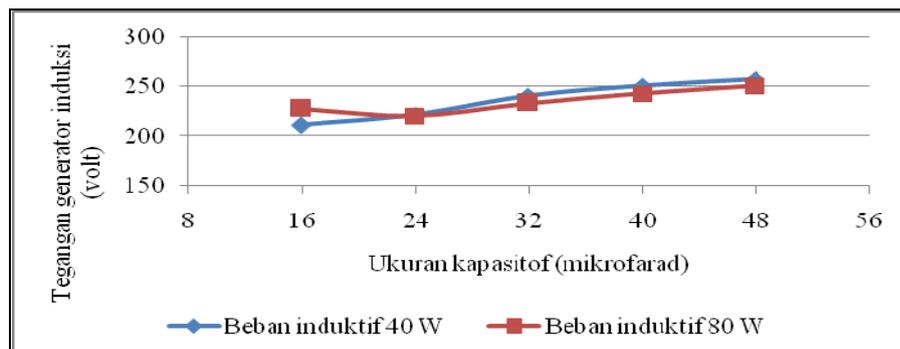


Gambar 4. Hubungan ukuran kapasitor dengan tegangan generator induksi pada saat berbeban resistif

Gambar 5 menunjukkan bahwa ukuran kapasitor juga akan berpengaruh terhadap frekuensi generator induksi walaupun pengaruhnya tidak terlalu signifikan. Frekuensi minimal sebesar 49,1 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 56 μF . Frekuensi maksimal sebesar 49,1 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 8 μF . Bila dibandingkan dengan dengan hasil pengujian tanpa beban, maka penambahan beban resistif mengakibatkan penurunan frekuensi generator induksi. Untuk kapasitor berukuran 8 μF penambahan beban resistif sebesar 40 W akan mengakibatkan penurunan frekuensi sebesar 0,2 Hz (0,4%). Untuk kapasitor berukuran 56 μF penambahan beban resistif akan mengakibatkan penurunan frekuensi sebesar 0,2 Hz (0,4%). Hal ini memperlihatkan bahwa penambahan beban resistif tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan frekuensi generator induksi. Gambar 3 juga menunjukkan bahwa semakin besar daya beban resistif yang dihubungkan maka frekuensi generatornya induksinya menjadi lebih kecil.



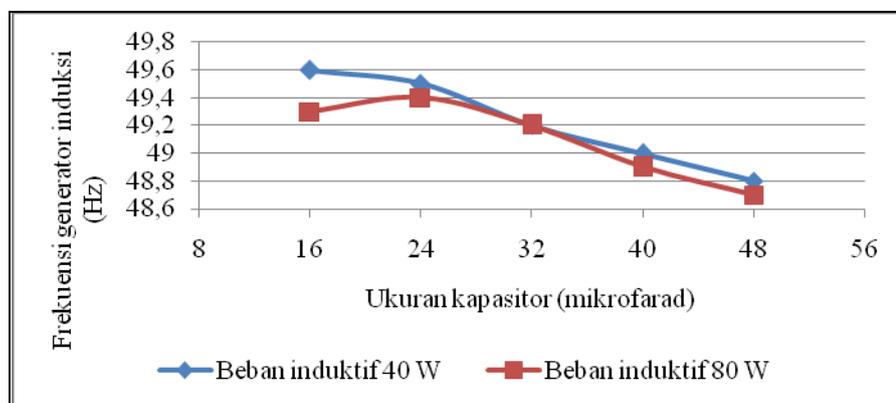
Gambar 5. Hubungan ukuran kapasitor dengan frekuensi generator induksi pada saat berbeban resistif



Gambar 6. Hubungan ukuran kapasitor dengan tegangan generator induksi pada saat berbeban induktif

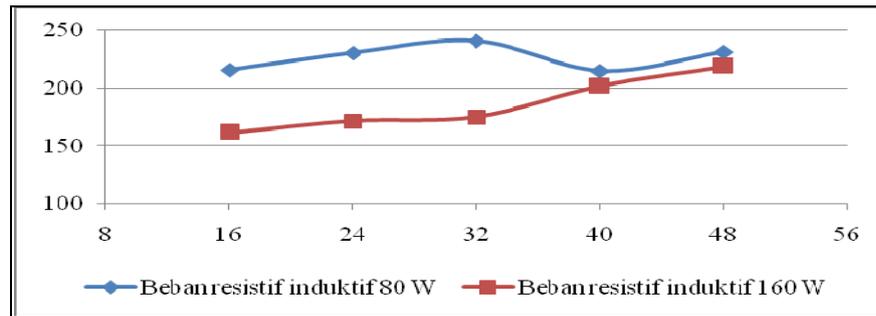
Pengujian Generator Induksi Berbeban Induktif, Gambar 6 menunjukkan bahwa ukuran kapasitor akan berpengaruh terhadap tegangan generator induksi pada saat diberi beban induktif. Tegangan minimal sebesar 211 volt dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 16 μF . Tegangan maksimal sebesar 257,1 volt dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 48 μF . Bila dibandingkan dengan hasil pengujian tanpa beban dan pengujian berbeban resistif, maka penambahan beban induktif mengakibatkan penurunan tegangan generator induksi yang lebih besar lagi. Untuk kapasitor berukuran 8 μF penambahan beban induktif sebesar 40 W mengakibatkan penurunan tegangan yang sangat besar sehingga lampu TL tidak dapat hidup. Untuk kapasitor yang lebih besar penurunan tegangannya masih dapat menghidupkan lampu TL. Hal ini memperlihatkan bahwa penambahan beban induktif akan sangat berpengaruh terhadap tegangan keluaran generator induksi. Hal disebabkan karena disamping menyerap daya aktif beban induktif juga akan menyerap daya reaktif. Satu-satunya sumber daya reaktif dari generator induksi tereksitasi diri adalah dari kapasitor. Dengan demikian tidak semua arus reaktif dari kapasitor digunakan untuk mengeksitasi generator induksi. Dampaknya adalah penurunan tegangan keluaran generator induksi.

Gambar 7 menunjukkan bahwa ukuran kapasitor juga akan berpengaruh terhadap frekuensi generator induksi walaupun pengaruhnya tidak terlalu signifikan. Frekuensi minimal sebesar 48,7 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 48 μF . Frekuensi maksimal sebesar 49,6 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 16 μF . Bila dibandingkan dengan dengan hasil pengujian tanpa beban dan pengujian berbeban induktif, maka penambahan beban induktif mengakibatkan penurunan frekuensi generator induksi yang lebih besar lagi. Untuk kapasitor berukuran 48 μF penambahan beban induktif akan mengakibatkan penurunan frekuensi sebesar 1 Hz (2%). Hal ini memperlihatkan bahwa penambahan beban induktif juga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan frekuensi generator induksi. Gambar 7 juga menunjukkan bahwa semakin besar daya beban induktif yang dihubungkan maka frekuensi generatormya induksinya menjadi lebih kecil.

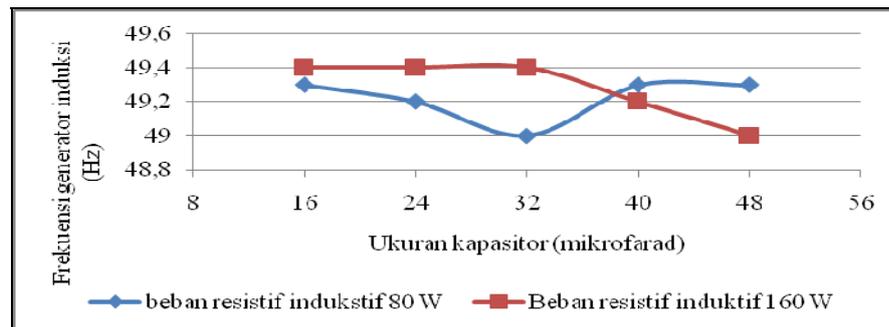


Gambar 7. Hubungan ukuran kapasitor dengan frekuensi generator induksi pada saat berbeban induktif

Pengujian Generator Induksi Berbeban Resistif Induktif, Gambar 8 menunjukkan bahwa ukuran kapasitor akan berpengaruh terhadap tegangan generator induksi pada saat diberi beban resistif induktif. Tegangan minimal sebesar 161,6 volt dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 16 μF . Tegangan maksimal sebesar 241,2 volt dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 48 μF . Bila dibandingkan dengan hasil pengujian tanpa beban, pengujian berbeban resistif, dan pengujian berbeban induktif maka penambahan beban resistif induktif mengakibatkan penurunan tegangan generator induksi yang lebih besar lagi.



Gambar 8. Hubungan ukuran kapasitor dengan tegangan generator induksi pada saat berbeban resistif induktif



Gambar 9. Hubungan ukuran kapasitor dengan frekuensi generator induksi pada saat berbeban resistif induktif

Gambar 9 menunjukkan bahwa ukuran kapasitor juga akan berpengaruh terhadap frekuensi generator induksi walaupun pengaruhnya tidak terlalu signifikan. Frekuensi minimal sebesar 49 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 32 μF . Frekuensi maksimal sebesar 49,4 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 16, 24, dan 32 μF . Bila dibandingkan dengan dengan hasil pengujian tanpa beban, pengujian berbeban resistif, dan pengujian berbeban induktif maka penambahan beban resistif induktif mengakibatkan penurunan frekuensi generator induksi yang lebih besar lagi.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran generator induksi dipengaruhi oleh ukuran kapasitor eksitasinya. Semakin besar ukuran kapasitor eksitasinya maka tegangan generator induksinya akan semakin besar.
2. Frekuensi generator induksi tidak terlalu dipengaruhi oleh ukuran kapasitor eksitasinya.
3. Jenis beban yang terhubung dengan generator induksi akan berpengaruh terhadap besarnya penurunan tegangan keluaran generator induksi. Untuk daya yang sama, beban induktif akan mengakibatkan penurunan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan beban resistif.
4. Jenis beban tidak terlalu berpengaruh terhadap penurunan frekuensi generator induksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DIKTI selaku pemberi dana hibah penelitian bersaing sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada LPPM UMS yang telah memfasilitasi penyelenggaraan berbagai kegiatan terkait hibah penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bansal, R.C., 2005, Three-Phase Self-Excited Induction Generators: An Overview, Ieee Transactions On Energy Conversion

- Fukami T, Kaburaki Y, Kawahara S, Miyamoto T., 1999, Performance analysis of a self-regulated self-excited single phase induction generator using a three-phase machine". IEEE Trans Energy Convers 1999;14(3):622–7.
- Irianto, C.G., 2004, Suatu Studi Penggunaan Motor Induksi sebagai Generator: Penentuan Nilai Kapasitor Untuk Penyedia Daya Reaktif, JETri, Volume 3, Nomor 2, Februari 2004, Halaman 1-16
- Ouhrouche M.A. and Chaîne Q.M., 1995, EMTD Based Study of Self Excitation Phenomenon in an Induction Generator
- S. Boora, 2010, Analysis of Self-Excited Induction Generator under Balanced or Unbalanced Conditions, ACEEE Int. J. on Electrical and Power Engineering, Vol. 01, No. 03, Dec 2010
- Supardi, A., 2009, Karakteristik Distorsi Harmonik Generator Induksi 3 Fase Tereksitasi Diri dan Perancangan Filternya, Conference on Information Technology and Electrical Engineering, Electrical Engineering Gadjah Mada University

ANALISIS PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK PADA PELANGGAN RUMAH TANGGA KAPASITAS KONTRAK DAYA 450 VA

Sudirman Palaloi¹

¹ Peneliti Madya Bidang Konversi dan Konservasi Energi di Balai Besar Teknologi Energi, B2TE- BPPT
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong 15314

Tel : +62217560550, Fax : + 62217560904 E-mail : palaloi@yahoo.com

ABSTRACT

The use of electrical energy in various sectors are currently experiencing rapid growth. Household sector is one of the largest use of electric energy. Based on data from 2013, energy consumption in the household sector amounted 77210.71 (GWh) by the number of customers 50.116.127 houses or 92.81% of the total PLN customers. Therefore, customers in this sector require attention. Hence, knowledge about the characteristics of electrical energy usage on household customers is very important. The method used in this research is to conduct an online measurement of electricity usage in 10 housing units with a capacity of power contract 450 VA, within recording every minute for 7 days. The analysis focused on the characteristics of the electricity use of electric current in house to compare with current limiting or circuit breaker. The supply voltage is also analyzed and compared with National standard voltage. Daily energy use profiles and weekly presented in a graph. Distribution of electric energy consumption based on household electrical appliances are also presented. The results showed almost all houses use electric current in a certain time exceeds the capacity of the circuit breaker. Working voltage supply is very varied, so it can be lower or higher than the standard voltage. The results also show that the largest energy user is refrigerator (29%), lighting (25%), TV (14%), rice cooker (12%), and 20% for washing machines, fans and irons.

Keywords: *use of electricity, distribution, household customers, power contract 450VA*

PENDAHULUAN

Sektor rumah tangga merupakan salah satu sektor pengguna energi listrik yang paling besar. Jumlah energi listrik terjual pada tahun 2013 sebesar 187.541 GWh, meningkat 7,79% dibandingkan tahun sebelumnya. Kelompok pelanggan Rumah Tangga mengkonsumsi energi sebesar 77.211 GWh (41,17%), sektor industri 64.381 GWh (34,33%), Bisnis 34.498 GWh (18,40%), dan lainnya (sosial, gedung pemerintah dan penerangan jalan umum) 11.451 GWh (6,11%). Penjualan energi listrik untuk semua jenis kelompok pelanggan yaitu Industri, Rumah Tangga, Bisnis dan Lainnya mengalami peningkatan masing-masing sebesar 6,99%, 7,04%, 1,33% dan 7,08%. Jumlah pelanggan PLN pada tahun 2013 untuk rumah tangga adalah 50.116.127 pelanggan (92,81%) dari total pelanggan PLN. Jumlah pelanggan untuk jenis R1 (450VA, 900VA dan 1300VA) ada sekitar 49.105.025 pelanggan, dengan daya sambungan 39.952,37 MVA, dan energi terjual 69.067.615,58 MWh dan pendapatan Rp. 44.201.442.487.120. Khusus untuk pelanggan R1 yang daya terpasangnya 450VA berjumlah 34.373.510 pelanggan (70%) dari total pelanggan pada sector rumah tangga [Statistik PLN 2013]. Penggunaan energi pada sektor rumah tangga setiap negara berbeda-beda. Di Australia 25 38% energi digunakan untuk pengkondisi udara (pemanas dan pendingin), 25% energi digunakan untuk pemanas air, 7% untuk penerangan, 4% untuk memasak, 7% untuk lemari pendingin, 16 19 % untuk peralatan listrik lainnya [Pemerintahan Australia Selatan, 2012].

Sedangkan hasil survei konsumsi energi untuk rumah tangga di Amerika Serikat tahun 2013 menunjukkan bahwa 41% energi listrik untuk space heater, 18% energi digunakan untuk water heating, 6% untuk AC dan sisanya 35% untuk appliances, electronic, and lighting [EIA, 2013]. Karakteristik penggunaan energi di Indonesia tentunya berbeda dengan di negara Subtropis dan Negara yang memiliki 4 musim. Umumnya rumah-rumah di Indonesia tidak dilengkapi dengan pemanas ruangan. Oleh karena itu sangat penting untuk melakukan penelitian tentang penggunaan energi listrik pada sector rumah tangga.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik penggunaan energi pada sector rumah tangga khususnya yang memiliki langganan PLN dengan kontrak daya 450VA. Penelitian ini

menyajikan analisis dan karakteristik penggunaan arus listrik, tegangan, daya dan faktor daya. Disamping itu juga disajikan distribusi penggunaan energi pada pelanggan 450 VA.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Propinsi Banten, Kota Tangerang Selatan, Kecamatan Setu. Pengumpulan data awal dilakukan dengan mengisi kuesener pada 100 rumah yang mempunyai daya terpasang 450VA. Dari unit 100 rumah tersebut ditetapkan 10 unit rumah untuk dilakukan pengukuran penggunaan energi listriknya. Setiap rumah yang dipilih mempunyai peralatan listrik rumah tangga seperti kulkas, pompa air, televisi, rice cooker, lampu penerangan dan setrika listrik, nama penghuni rumah dan beban-beban listrik pada masing-masing rumah diperlihatkan pada Tabel 1.

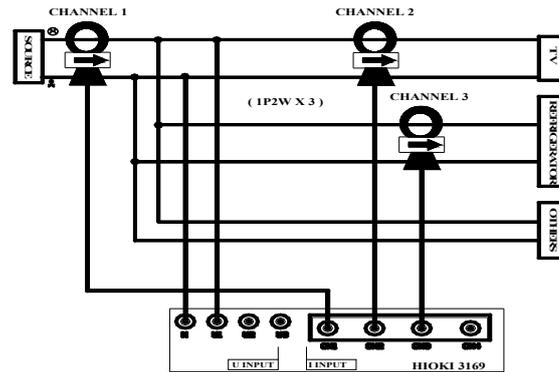
Tabel 1. Rumah dan jenis beban peralatan listrik rumah tangga

No	Rumah	Kontrak Daya [VA]	Beban-beban peralatan listrik		
			TV	Lemari pendingin	Beban listrik lainnya
1	Ismail	450	21", 21" / 80W,88W	Sanyo/ 65W	Lampu,pompa air sumur/125W, setrika /300W, mesin cuci/199W, rice cooker/350 W, Fan/65W
2	Sardian	450	21" (Polytron) / 80W	Samsung/ 65W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika /350W, fan / 45W, rice cooker 350W
3	Asmin	450	21" (Sanyo) / 80W	Sanyo/65W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika /300W, fan / 65W, rice cooker 350W
4	Narman	450	21" (Samsung) / 80W	Toshiba / 50W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika 300W, fan 45W, rice cooker 350W.
5	Suwarno	450	21" (Polytron) / 80W	Sanyo/65W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika /300W, fan/45W, rice cooker 350W.
6	Dahlan	450	21" (Polytron) / 80W	Samsung/115 W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika /300W, fan/45W, rice cooker 350W
7	Nurhafi	450	21" (Polytron) / 80W	Sanyo/65W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika /300W, fan/45W, rice cooker 350W
8	Niung	450	21" (Changhong) / 80W	Toshiba / 65W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika /300W, fan/45W, rice cooker 350W
9	Soleh	450	21" (Samsung) / 80W	Asatron / 115W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika /300W, fan/45W, rice cooker 350W
10	Marpuah	450	21" (Fujitec) / 80W	*Cooler / 210W	Lampu, pompa air sumur/125W, setrika /300W, fan/45W, rice cooker 350W

Pengukuran penggunaan listrik menggunakan *power quality* yang dapat merekam data secara terus-menerus. Alat ukur yang digunakan mempunyai 3 chanel yaitu chanel 1 untuk mengukur penggunaan listrik total, channel 2 mengukur penggunaan listrik untuk TV, channel 3 penggunaan listrik untuk lemari pendingin. Pengukuran secara spot dilakukan pada beberapa peralatan lainnya. Pengukuran dilakukan secara terus-menerus selama 7 hari berturut turut dengan perekaman data setiap 1 menit sekali. Perhitungan penggunaan energi listrik selain TV dan lemari pendingin dipergunakan persamaan :

$$E_{\text{others}} = E_{\text{total}} - (E_{\text{TV}} + E_{\text{refrigerator}}) \dots\dots\dots (1)$$

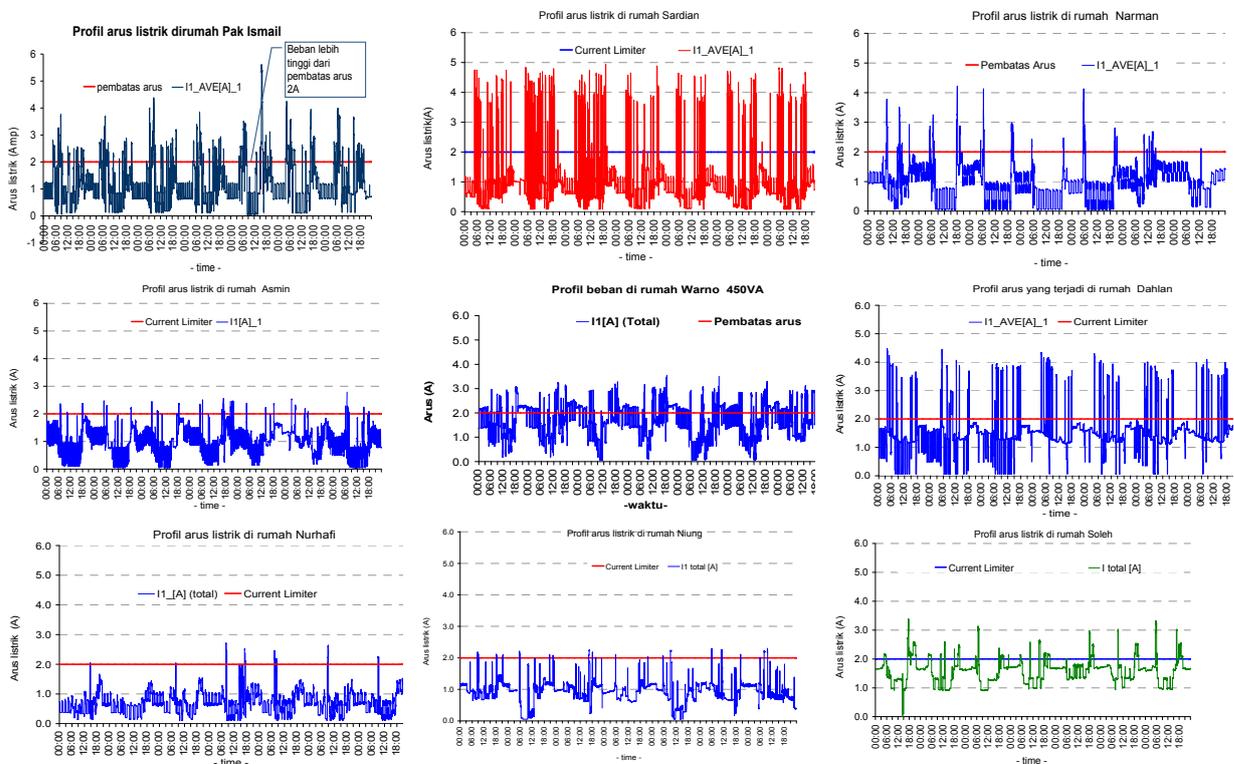
Parameter listrik yang diukur pada setiap berupa tegangan, arus, daya, dan faktor daya. Konfigurasi metode pengukuran diperlihatkan pada Gambar 1 berikut . Sedangkan analisis data menggunakan metode statistik. Data-data hasil pengukuran selama 7 hari diolah menggunakan statistik dalam bentuk grafik. Analisis penelitian mencakup, profil arus listrik, tegangan, daya dan faktor daya.



Gambar 1. Konfigurasi dan diagram pengukuran listrik rumah pelanggan 450 VA.

PEMBAHASAN

Karakteristik arus listrik, Penggunaan daya listrik pada pelanggan dibatasi oleh arus listrik yang mengalir ke dalam rumah. Pembatas yang digunakan adalah pemutus tenaga 2A, 240V untuk rumah yang berlangganan 450 VA. Cara kerja pemutus tenaga 2A ini berdasarkan atas temperatur. Apabila arus yang melewati pemutus tenaga melebihi 2 Amp, maka akan timbul panas yang dapat mentriapkan pemutus tenaga tersebut. Umumnya waktu yang digunakan tidak lebih dari 8 millidetik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus minimal berada pada kisaran 0,5A, rata-rata 0,5 s.d 1,69 A, dan maksimum 2,14 s.d -5,61 Amp. Walaupun arusnya bervariasi, namun arus rata-rata yang terjadi tidak ada yang melebihi 2A. Karakteristik dan profil arus yang terjadi pada masing-masing rumah diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva beban arus harian selama 7 hari

Arus listrik yang terjadi pada masing-masing rumah sangat bervariasi. Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa pengukuran rata-rata arus yang terjadi semuanya masih berada di bawah dari nilai pembatas arus (*current limiter*). Ini berarti bahwa beban-beban yang terjadi tidak melebihi dari batasan yang

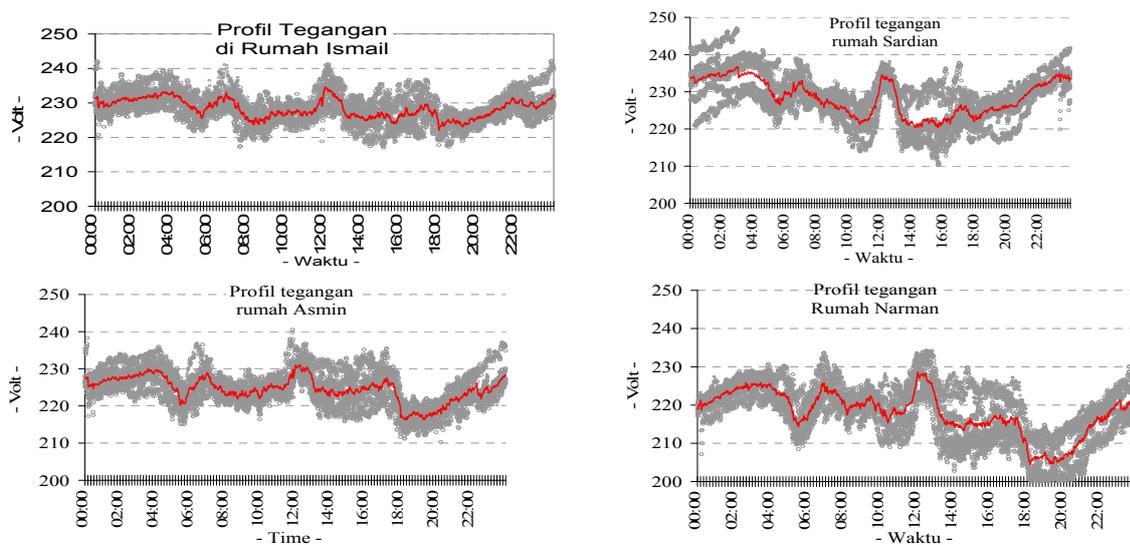
ditetapkan oleh PLN. Namun yang paling menarik ditemukan bahwa arus yang melebihi dari 2 ampere sering terjadi sepanjang hari, terutama rumah 1,2, 5 dan 6. Hampir separuh arus yang terjadi berada di atas batasan 2 ampere, tetapi belum menyebabkan tripnya pemutus tenaga. Hal ini kemungkinan disebabkan karena durasi waktu terjadinya terlalu singkat dan kejadiannya hanya sesaat. Gambar diatas juga memperlihatkan bahwa penggunaan arus listrik pada masing-masing rumah sangat fluktuasi, namun hampir mempunyai pola yang sama setiap hari. Summary hasil pengukuran yang meliputi nilai rata-rata, nilai minimum dan nilai maksimum arus listrik yang terjadi pada masing-masing rumah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan karakteristik arus rumah kontrak daya 450VA

No	Rumah	Kontrak daya [VA]	CB [Amp]	Arus min. [Amp]	Arus rata2 [Amp]	Arus maks. [Amp]
1	Ismail	450	2	0,05	1,23	5,61
2	Sardian	450	2	0,08	1,15	4,93
3	Asmin	450	2	0,05	0,98	2,93
4	Narman	450	2	0,06	0,98	4,22
5	Suwarno	450	2	0,06	1,69	3,55
6	Dahlan	450	2	0,06	1,49	4,48
7	Nurhafi	450	2	0,10	0,74	2,71
8	Niung	450	2	0,05	0,92	2,30
9	Soleh	450	2	0,07	0,58	2,14
10	Marpuah	450	2	0,05	0,84	2,91

Karakteristik tegangan, idealnya tegangan suplai dari PLN adalah tegangan sinusoidal murni pada tegangan 220 V. Namun dalam kenyataannya karena adanya variasi beban, tegangan tersebut berfluktuasi. Fluktuasi tegangan dapat digambarkan sebagai variasi berulang atau acak tegangan amplop karena perubahan mendadak dalam daya nyata dan reaktif ditarik oleh beban. Karakteristik fluktuasi tegangan tergantung pada jenis beban, ukuran dan kapasitas sistem tenaga listrik.

Dalam menentukan baik tidaknya suplai tegangan pada peralatan listrik, maka telah dibuat standar tegangan yaitu SNI 04-0227-2003 tentang tegangan standar. Dalam standar tersebut ditetapkan tegangan standar di Indonesia adalah 380 V+10% -5% dan 400 V+5% -10%. Ini berarti bahwa tegangan yang diperbolehkan adalah 361 V s.d 420 V, tegangan 1 fasa berada pada rentang 209 s.d 242,7 V. Hasil pengukuran tegangan selama 1 minggu dengan penyimpanan data setiap 1 menit telah dilakukan secara setentak. Karakteristik tegangan beberapa rumah diperlihatkan pada Gambar 3 dan Tabel 3.



Gambar 3. Profil tegangan suplai pada beberapa rumah
 Tabel 3. Tegangan suplai rata-rata, minimum, maksimum setiap rumah

No	Rumah	Kontra k daya [VA]	Tegangan min.	Tegangan rata2	Tegangan maks.	Standar deviasi [%]
			[Volt]	[Volt]	[Volt]	
1	Ismail	450	217,0	228,2	243,2	3,93
2	Sardian	450	210,3	228,2	247,0	6,10
3	Asmin	450	210,3	224,3	240,5	4,46
4	Narman	450	196,5	217,5	234,3	7,12
5	Suwarno	450	217,7	228,7	243,4	3,83
6	Dahlan	450	211,0	228,4	247,1	6,41
7	Nurhafi	450	210,9	228,4	247,2	6,10
8	Niung	450	198,7	221,5	237,7	6,59
9	Soleh	450	220,2	234,9	251,8	5,61
10	Marpuah	450	199,5	221,0	237,2	6,62

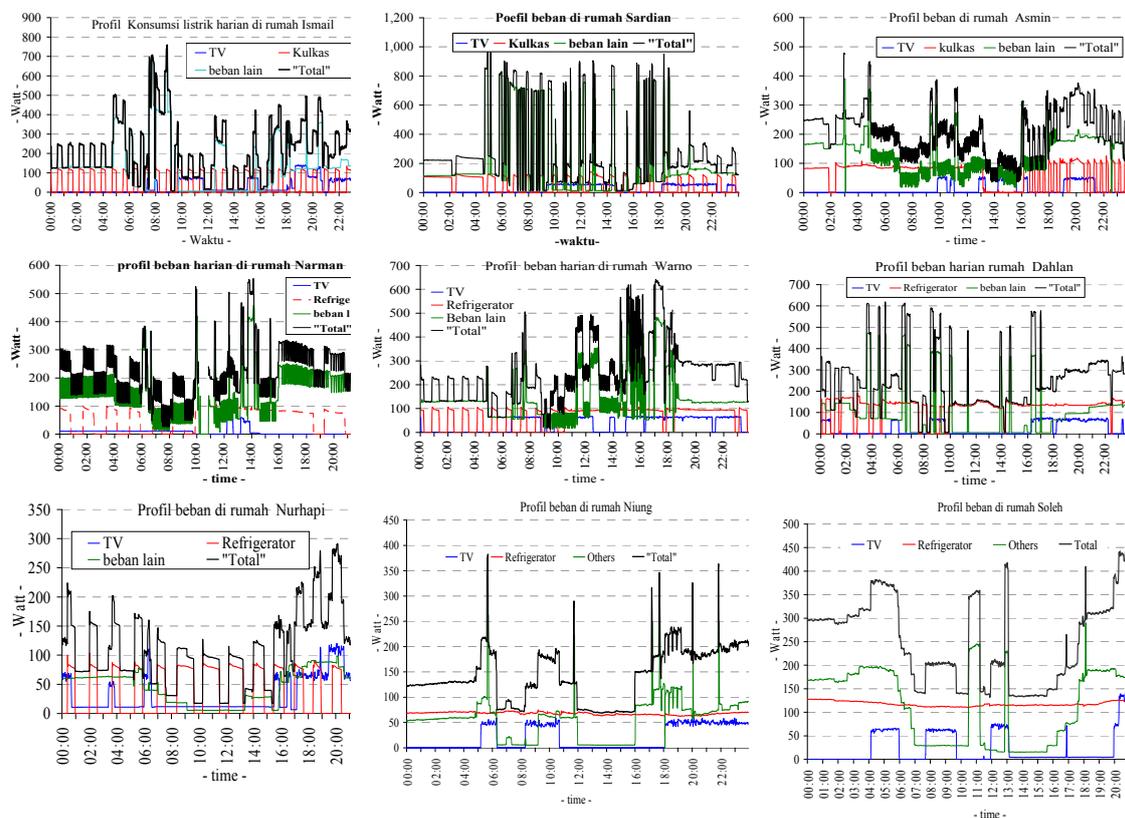
Fluktuasi tegangan cukup tinggi pada setiap rumah. Ada 3 rumah yang disurvei sering mengalami kerendahan tegangan dibandingkan dengan tegangan standar yaitu rumah no. 4 dengan tegangan 196,5V, rumah no. 8 pada tegangan 198,7V dan rumah no.10 tegangan 199,5V. Pada umumnya tegangan rata-rata berada pada nilai 217,5s.d 284,7V. Ada satu hal yang menarik mengenai tegangan kerja ini, yaitu ada 6 rumah yang kadang tegangan maksimum yang terjadi melebihi tegangan standar Indonesia.

Fluktuasi juga sangat tinggi, ini nampak dari kurva yang ditampilkan pada Gambar 3 dan secara numerik setiap rumah diperlihatkan pada Tabel 3. Standar deviasi dapat mencapai 7,12%, yaitu pada rumah no. 4. Ini berarti bahwa tegangan yang terjadi sangat fluktuatif setiap hari. Timbulnya fluktuasi pada rumah yang diukur bukan hanya mempengaruhi beban yang ada pada tetangganya, tetapi juga berpengaruh terhadap beberapa pelanggan yang terhubung. Efek utama dari fluktuasi tegangan adalah lampu berkedip. Lampu berkedip terjadi ketika intensitas cahaya dari lampu bervariasi akibat perubahan besarnya tegangan suplai. Intensitas perubahan ini dapat menciptakan gangguan pada mata manusia. Kerentanan terhadap iritasi dari lampu berkedip akan berbeda untuk setiap individu. Namun, tes telah menunjukkan bahwa umumnya mata manusia sangat sensitif terhadap gelombang tegangan modulasi sekitar frekuensi 6-8Hz. Fluktuasi tegangan juga dapat menyebabkan salah kerja relai proteksi; mengganggu peralatan komunikasi; dan menurunkan unjuk kerja peralatan elektronik. Fluktuasi yang terlalu besar pada beberapa kasus bukan hanya dapat merusak peralatan, tapi juga tidak dapat dioerasikan dengan baik. Selain itu, motor induksi yang beroperasi pada torsi maksimum, tidak dapat berputar karena adanya fluktuasi tegangan yang besarnya signifikan.

Karakteristik Daya, seperti kita tahu, pada listrik, daya bisa diperoleh dari perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir. Pada kasus sistem AC dimana tegangan dan arus berbentuk sinusoidal, perkalian antara keduanya akan menghasilkan daya semu (*apparent power*), satuan *volt-ampere* (VA) yang memiliki dua buah bagian. Bagian pertama adalah *daya yang dimanfaatkan* oleh konsumen, bisa menjadi gerakan pada motor, bisa menjadi panas pada elemen pemanas, dsb; *daya yang dimanfaatkan* ini sering disebut sebagai daya aktif (*real power*) memiliki satuan watt (W) yang mengalir dari sisi sumber ke sisi beban bernilai rata-rata tidak nol. Bagian kedua adalah *daya yang tidak dimanfaatkan* oleh konsumen, namun hanya ada di jaringan, daya ini sering disebut dengan daya reaktif (*reactive power*) memiliki satuan *volt-ampere-reactive* (VAR) bernilai rata-rata nol. Beban bersifat resistif hanya mengonsumsi daya aktif; beban bersifat induktif hanya mengonsumsi daya reaktif; dan beban bersifat kapasitif hanya memberikan daya reaktif. Sama halnya dengan listrik, bergantung pada kondisi jaringan, daya tampak yang diberikan oleh sumber tidak semuanya bisa dimanfaatkan oleh konsumen sebagai daya aktif, dengan kata lain terdapat porsi daya reaktif yang merupakan bagian yang tidak memberikan manfaat langsung bagi konsumen. Summary hasil pengukuran daya listrik pada masing-masing rumah disajikan Tabel 4. Secara grafik diperlihatkan pada Gambar 4.

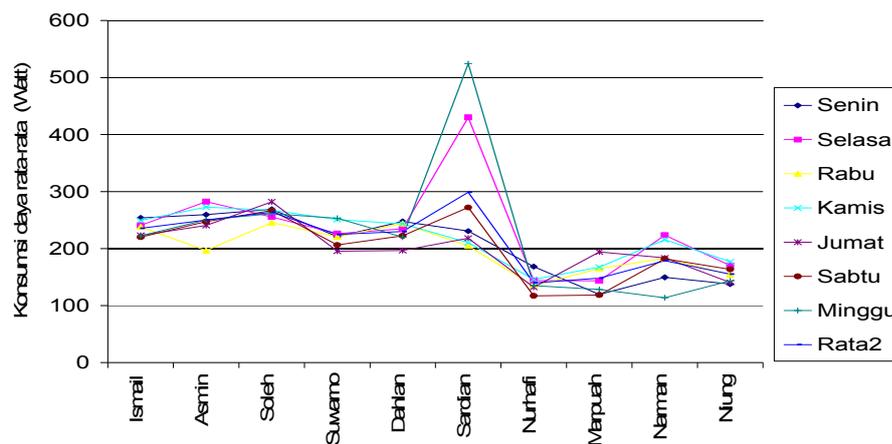
Tabel 4. Konsumsi daya harian selama 1 minggu masing-masing rumah

Rumah	Kontrak daya (VA)	Konsumsi daya rata-rata (watt)							
		Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu	Rata2
Ismail	450	253.74	240.96	238.01	249.32	223.28	220.16	222.24	235.39
Asmin	450	259.46	282.34	196.47	272.71	240.60	247.19	250.35	249.88
Soleh	450	268.85	255.16	245.48	267.15	281.96	266.69	261.27	263.80
Suwarno	450	220.91	226.30	220.79	250.86	195.25	206.14	253.05	224.76
Dahlan	450	247.36	234.70	243.82	243.25	196.57	222.38	220.14	229.75
Sardian	450	230.59	430.10	204.50	210.50	218.30	272.08	524.39	298.64
Nurhafi	450	168.47	144.01	134.76	145.93	132.00	117.16	135.03	139.62
Marpuah	450	119.47	143.36	164.94	167.26	193.97	118.29	128.29	147.94
Narman	450	149.56	223.51	182.82	215.48	183.44	181.82	113.73	178.62
Niung	450	137.76	170.37	154.26	176.90	140.40	163.55	143.45	155.24
Rata-rata		205.62	235.08	198.59	219.94	200.58	201.55	225.19	212.36



Gambar 4. Profil beban harian masing-masing rumah

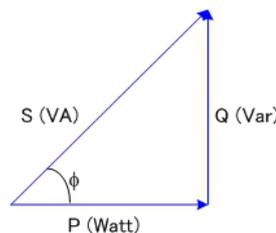
Profil penggunaan daya listrik pada masing-masing rumah bervariasi. Variasi ini disebabkan karena waktu keberadaan penghuni pada masing-masing rumah tidak sama. Secara umum profil penggunaan daya untuk kulkas memiliki pola yang sama. Sedangkan penyalaan TV dipengaruhi oleh penghuni rumah. Hampir semua rumah mengoperasikan TV mereka pada jam 16.00 – 22.00. Sedangkan beban-beban lain seperti rice cooker, kipas, setrika, pompa air tidak ada pola yang sama. Konsumsi daya rata-rata setiap rumah pada hari senin- minggu tidak jauh berbeda. Hanya 1 rumah yang mengalami fluktuasi yang sangat besar. Hal ini disebabkan karena rumah tersebut memiliki warung. Konsumsi daya rata-rata **212,36** watt.



Gambar 5. Profil daya rata-rata harian selama 1 minggu masing-masing rumah

Analisis Faktor daya, umumnya rumah tangga mempunyai beban yang linier. Beban linier adalah beban yang menghasilkan bentuk arus sama dengan bentuk tegangan. Pada kasus sumber tegangan berbentuk sinusoidal murni, beban linier mengakibatkan arus yang mengalir pada jaringan juga berbentuk sinusoidal murni. Beban linier dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam, *beban resistif*, dicirikan dengan arus yang sefasa dengan tegangan; *beban induktif*, dicirikan dengan arus yang tertinggal terhadap tegangan sebesar 90° ; *beban kapasitif*, dicirikan dengan arus yang mendahului terhadap tegangan sebesar 90° , dan beban yang merupakan *kombinasi* dari tiga jenis tersebut, dicirikan dengan arus yang tertinggal/mendahului tegangan sebesar sudut, katakan, ϕ . Rasio besarnya daya aktif yang bisa kita manfaatkan terhadap daya tampak yang dihasilkan sumber inilah yang disebut sebagai faktor daya. Ilustrasi segitiga daya pada Gambar 6 memberikan gambaran yang lebih jelas. Daya tampak (S) terdiri dari daya aktif (P) dan daya reaktif (Q)..

$$\text{Faktordaya} = \cos\phi = \frac{P(W)}{S(VA)} \quad \dots\dots\dots (2)$$



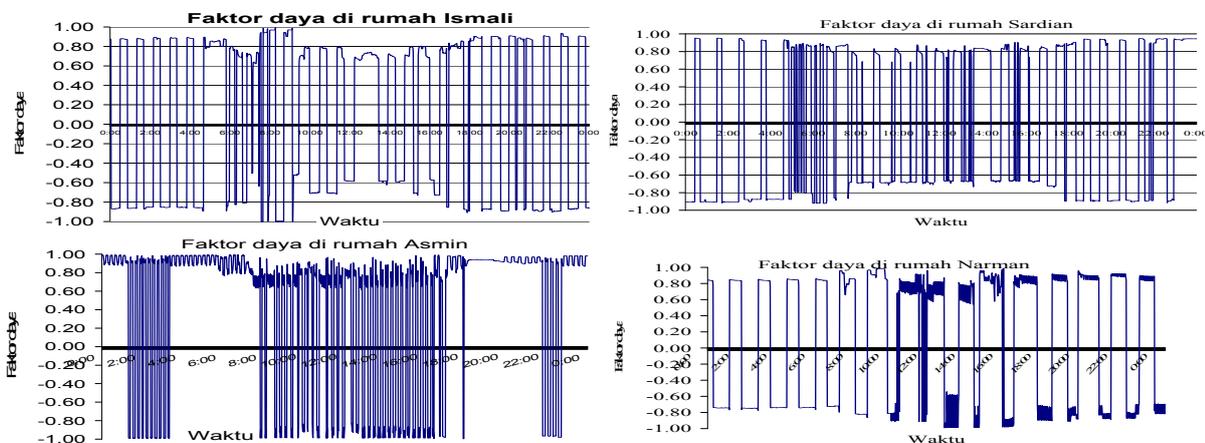
Gambar 6. Segitiga daya

Faktor daya bisa dikatakan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang kita miliki dalam menyalurkan daya yang bisa kita manfaatkan. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber bisa kita manfaatkan, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya yang bisa kita manfaatkan dari sejumlah daya tampak yang sama.

Bagi penyedia layanan, jaringan dengan faktor daya yang jelek mengakibatkan dia harus menghasilkan daya yang lebih besar untuk memenuhi daya aktif yang diminta oleh para konsumen. Apabila konsumen didominasi oleh konsumen jenis residensial maka mereka hanya membayar sejumlah daya aktif yang terpakai saja, artinya penyedia layanan harus menanggung sendiri biaya yang hanya menjadi daya reaktif tanpa mendapatkan kompensasi uang dari konsumen. Berikut ini memperlihatkan rangkuman hasil pengukuran faktor daya pada masing-masing rumah. Summary hasil pengukuran faktor daya diperlihatkan pada Tabel 5. Sedangkan profil faktor daya disajikan pada Gambar 7.

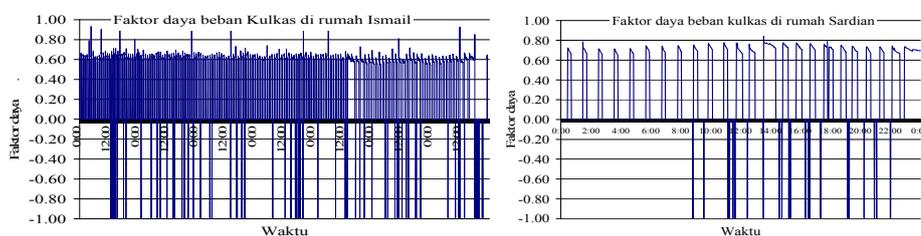
Tabel 5. Konsumsi daya harian selama 1 minggu masing-masing rumah

No Rumah	Nama	Faktor daya		
		Maks.	Rata2	Min.
#1	Ismail	0.996	0.074	-0.999
#2	Sardian	0.994	-0.119	-0.999
#3	Asmin	0.998	0.599	-0.999
#4	Narman	0.999	0.153	-0.999
#5	Suwarno	0.990	0.542	-0.991
#6	Dahlan	0.998	0.419	-1.000
#7	Nur hafi	0.991	-0.079	-0.999
#8	Niung	0.999	0.608	-1.000
#9	Soleh	0.958	0.266	-0.999
#10	Marpuah	0.993	0.524	-0.999



Gambar 7. Profil faktor daya harian total beberapa rumah

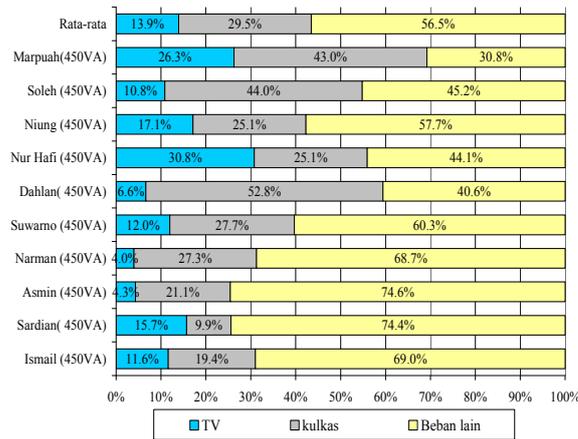
Berdasarkan gambar dan tabel di atas terlihat bahwa faktor daya yang terjadi sangat variatif. Faktor daya yang terjadi kadang bersifat induktif dan bersifat kapasitif. Pada beberapa rumah terjadi perubahan sifat beban secara periodik, dari kapasitif menjadi induktif, begitu pula sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh adanya beberapa beban yang bersifat induktif dan bersifat kapasitif. Berdasarkan hasil pengukuran penggunaan daya listrik untuk kulkas nampak bahwa faktor daya yang terjadi bersifat induktif, walaupun demikian kadang juga bersifat kapasitif. Karakteristik faktor daya pada beban kulkas diperlihatkan pada Gambar 8.



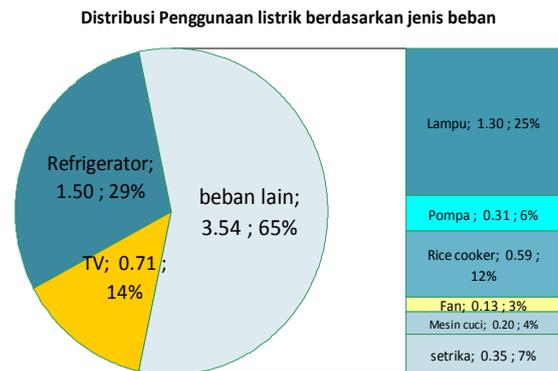
Gambar 8. Profil faktor daya harian untuk kulkas

Faktor daya yang terjadi pada peralatan listrik kulkas berada pada rentang 0,6 lagging dan kadang bersifat kapasitas, yang dapat diamati dari faktor dayanya negatif (-1). Contoh pengukuran faktor daya pada kulkas disajikan pada Gambar 8. Jadi dapat disimpulkan bahwa kulkas adalah beban induktif. Adanya sifat kapasitif yang timbul pada beban kulkas karena saat dinginnya tercapai, daya yang diserap dari sistem menjadi terhenti, sementara sifat kapasitif yang ada masih terhubung ke sistem, sehingga kulkas berfungsi sebagai sumber daya kapasitif.

Analisis konsumsi energi listrik, tarif yang dikenakan pada pelanggan rumah tangga dengan kapasitas 450 VA adalah tarif R1. Berdasarkan Permen EDSM No 19/2014 tentang Tarif tenaga listrik yang disediakan oleh PLN dikatakan bahwa untuk pelanggan R1/TR batas daya s.d 450VA, dikenakan biaya beban sebesar Rp.11.000/kVA/bulan dengan biaya pemakaian dibagi kedalam 3 blok. Harga energi listrik Blok I (0-30kWh) Rp. 169/kWh, Blok II (30 – 60 kWh) Rp. 360/kWh dan Blok III > 60 kWh dengan harga Rp.495/kWh. Harga listrik untuk pelanggan prabayar adalah Rp. 415/kWh. Hasil pengukuran konsumsi energi listrik masing-masing rumah dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Distribusi penggunaan energi listrik berdasarkan beban setiap rumah



Gambar 10. Distribusi penggunaan listrik pada rumah dengan kontrak daya 450 VA

Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa penggunaan energi untuk TV, Kulkas dan peralatan listrik lainnya (Lampu, pompa air sumur, setrika, mesin cuci, rice cooker dan kipas), sangat bervariasi untuk setiap rumah. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah pola konsumsi pada masing-masing rumah. Dari hasil pengukuran untuk 10 rumah dengan kontrak daya 450VA dapat disimpulkan bahwa rata-rata energi yang digunakan untuk TV adalah 17,5% , untuk lemari pendingin 29,5% dan untuk kebutuhan lainnya seperti lampu penerangan, pompa air sumur, setrika, mesin cuci, rice cooker/ dan kipas sekitar 56,5%. Secara detail distribusi penggunaan energi listrik perperalatan diperlihatkan pada Gambar 10.

Gambar 10 terlihat bahwa energi yang digunakan untuk penerangan rata-rata 1,30 kWh/hari (25%), untuk pompa air 0,31 kWh/hari (6%), rice cooker 0,59kWh/hari (12%), untuk mesin cuci 4%, seterika 5% dan sisanya untuk fan 3%. Pengukuran penggunaan energi listrik selama seminggu pada masing-masing rumah juga telah dilakukan untuk mengetahui distribusi penggunaan energi harian. *Summary* penggunaan energi listrik dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Konsumsi energi harian setiap rumah

Rumah	Kontrak daya (VA)	Konsumsi energi harian(kWh)								Total sebulan
		Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu	Rata2	
Ismail	450	6.09	5.78	5.71	5.98	5.36	5.28	5.33	5.65	158.18
Asmin	450	6.23	6.78	4.72	6.55	5.77	5.93	6.01	6.00	167.92
Soleh	450	6.45	6.12	5.89	6.41	6.77	6.40	6.27	6.33	177.27
Suwarno	450	5.30	5.43	5.30	6.02	4.69	4.95	6.07	5.39	151.04
Dahlan	450	5.94	5.63	5.85	5.84	4.72	5.34	5.28	5.51	154.39
Sardian	450	5.53	10.32	4.91	5.05	5.24	6.53	12.59	7.17	200.68
Nurhafi	450	4.04	3.46	3.23	3.50	3.17	2.81	3.24	3.35	93.83
Marpuah	450	2.87	3.44	3.96	4.01	4.66	2.84	3.08	3.55	99.41
Narman	450	3.59	5.36	4.39	5.17	4.40	4.36	2.73	4.29	120.03
Niung	450	3.31	4.09	3.70	4.25	3.37	3.93	3.44	3.73	104.32
Rata-rata		4.93	5.64	4.77	5.28	4.81	4.84	5.40	5.10	142.71

Berdasarkan tabel di atas terlihat bahwa rata-rata penggunaan energi listrik rumah tangga yang kontrak dayanya 450 VA adalah 142,71 kWh/bulan dan energi rata-rata 5,10 kWh/hari. Ada satu rumah yang menggunakan energi lebih dari 200 kWh/bulan, hal ini disebabkan rumah tersebut memiliki *freeshesher* untuk mendinginkan minuman dan makanan dagangannya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Fluktuasi penggunaan arus dan daya listrik pada pelanggan rumah tangga dengan kapasitas kontrak daya 450 VA sangat tinggi
2. Penggunaan daya rata-rata masing-masing rumah masih berada di bawah kapasitas 450VA. Namun arus maksimum yang terjadi sering lebih besar dari pembatas arus (2A), tetapi tidak menyebabkan pemutus daya trip
3. Konsumsi energi listrik rata-rata rumah 450 VA adalah 5,10 kWh/hari atau sekitar 142 kWh/bulan.
4. Konsumsi energi listrik rata-rata pada rumah dengan kontrak daya 450 adalah untuk refrigerator 1,5 kWh/hari (29%), TV 0,71 kWh/hari (14), penerangan rata-rata 1,30 kWh/hari (25%), pompa air 0,31 kWh/hari (6%), rice cooker 0,59 kWh/hari (12%), untuk mesin cuci 4%, seterika 5% dan sisanya untuk fan 3%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih yang tak terhingga kepada Bapak Edi Hilmawan, Louis, Zulramadhanie, Diding Fahrudin, Sarwo Turino, Rendy Januardi, Heru Eka dan teman-teman yang membantu dalam kesuksesan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Australian Bureau of Statistics. Household Energy Consumption Survey, in Australia, 2012. Dapat diakses di <http://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Lookup/4670.0main+features100052012>
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 04-0227-2003 tentang Tegangan Standar.
- Balai Besar Teknologi Energi, 2013. Laporan Hasil Penelitian Penggunaan Energi listrik pada Sektor Rumah Tangga. Balai Besar Teknologi Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Kementerian ESDM. 2008. The Study on Energy Conservation and Efficiency Improvement in the Republic of Indonesia. Join with JICA –MEMR Republic of Indonesia
- Kementerian Energi Sumber Daya Mineral, 2014. Permen EDSM No 19/2014 tentang Tarif tenaga listrik yang disediakan oleh PLN
- Perusahaan Listrik Negara (Persero). Buku Statistik PLN 2013. Dapat diakses di <http://www.pln.co.id/dataweb/STAT/STAT2013IND.pdf>
- Resident Energy Consumption Survey (RECS). http://www.eia.gov/consumption/residential/reports/2009/state_briefs/ : US Energy Information Administration

APLIKASI RANCANG BANGUN ALAT PENETES PENGUMPAL GETAH KARET SECARA OTOMATIS

Untung Priyanto ⁽¹⁾, Fauzie B ⁽²⁾, Noor S ⁽³⁾
^{1,2,3} Teknik Elektro Universitas Pancasila. Jakarta 12640
Email. unt_p58@yahoo.com

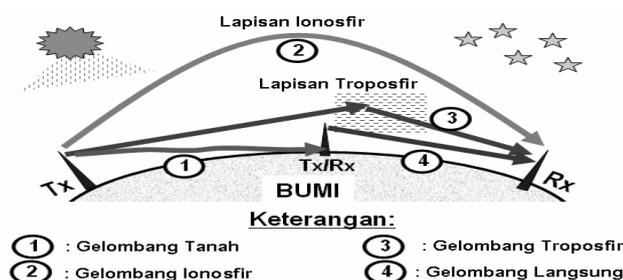
ABSTRACT

In the process of tapping the rubber tree, the entry of rain water into the bowl latex rubber will degrade the quality of crop quality, and improve the quality, it was made tool design can dripped / sprayed the liquid to accelerate clotting in the latex reservoir bowl automatically. Application design latex coagulant dropper tool, is designed to replace the manual method of rubber plantation workers, who came to each tree to be dripping liquid latex coagulant on bowl results leads to a wide area when it rains. Application design latex dropper tool works when the sensor is exposed to drops of rain fell, with sensors fitted at each level of the liquid in the reservoir bottle rubber trees and AT89S52 microcontroller connected to the transmitter YS-1020UA as sending media data to the main house is expected to assist in the monitoring of the volume liquid level changes can be viewed on a computer screen at home parent. Information that is of high liquid level indicator, medium, and low coagulant are fluid availability status on each bottle container. If there is liquid coagulant is at a low level, then the LED indicator on the tree panel on the computer screen turns red and a siren sounded as a warning that the farmer can immediately go to the tree, to add to the thickening fluid reservoir bottle until liquid level is at a high or medium level.

Keywords : sensor, water level, microcontroller AT89S52, YS-1020UA, rubber latex.

PENDAHULUAN.

Penerapan sistem komunikasi dalam perkebunan karet akan lebih efisien apabila menggunakan udara bebas sebagai media transmisinya. Hal ini memungkinkan karena gelombang radio atau RF (radio frequency) akan diradiasikan oleh antena sebagai matching device antara sistem pemancar dan udara bebas dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. Gelombang ini merambat atau berpropagasi melalui udara dari antena pemancar ke antena penerima yang digunakan dilokasi yang terdapat pada perlintasan lokasi perkebunan karet. Pada Gambar 1. diperlihatkan jenis lintasan propagasi mekanisme perambatan gelombang radio elektromagnetik berpropagasi antara dua tempat di udara bebas.



Gambar 1 Lintasan propagasi perambatan gelombang radio

Ketinggian antena dan kelengkungan permukaan bumi merupakan faktor pembatas yang utama dari propagasi ini. Jarak jangkauannya sangat terbatas, kira-kira 30 - 50 Km per link, tergantung topologi daripada permukaan buminya. Dalam praktek, jarak jangkauannya sebenarnya adalah 4/3 dari line of sight (untuk $K = 4/3$), karena adanya faktor pembiasan oleh atmosfer bumi bagian bawah. Lintasan propagasi berkas gelombang radio selalu mengalami pembiasan / pembengkokan (curved) karena pengaruh refraksi (pembiasan) oleh atmosfer yang paling bawah. Keadaan ini, tergantung pada kondisi atmosfer pada suatu daerah, yang pada akhirnya bisa diketahui indeks refraksi atmosfer di daerah itu. Karena adanya indeks refraksi yang berbeda-beda ini, maka bisa diperkirakan kelengkungan lintasan propagasi di atas permukaan bumi, parameter yang menyatakan perbandingan antara

radius bumi ekuivalen (equivalent earth radius) dengan bumi sesungguhnya (actual earth radius), disebut dengan faktor kelengkungan ; faktor K, dinyatakan dalam persamaan :

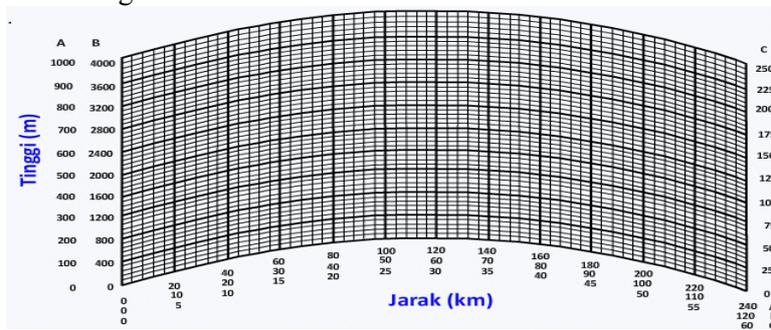
$$K = \frac{a_e}{a} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

a_e = radius bumi ekuivalen (equivalent earth radius) ,

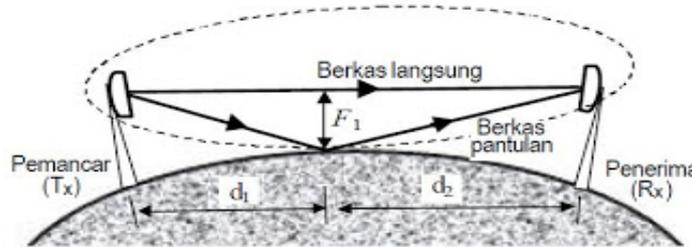
a = radius bumi sesungguhnya (actual earth radius).

Pada kondisi atmosfer normal, dalam perhitungan radius bumi ekuivalen biasanya digunakan $K = 4/3$. Bila kita menggunakan $K = 4/3$ dan dengan mengalikan radius bumi yang sesungguhnya dengan harga K tersebut, maka pada waktu memetakan lintasan propagasi gelombang, kita dapat memodifikasi kurvatur bumi sedemikian rupa, sehingga lintasan radio dapat digambarkan secara garis lurus (straight line). Gambar 2, menunjukkan kurvatur bumi untuk radius bumi ekuivalen untuk harga $K = 4/3$, yang disebut dengan Profile Lintasan atau Path Profile $K = 4/3$.



Gambar 2 Kurvatur bumi dari radius bumi ekuivalen untuk harga $K = 4/3$

Sistem Lintasan Gelombang Radio. Daerah Fresnel pertama dalam perencanaan lintasan gelombang radio line of sight. sebisa mungkin harus bebas dari halangan pandangan (free of sight obstruction), karena bila tidak, akan menambah redaman lintasan. Gambar 3. menunjukkan 2 (dua) berkas lintasan propagasi gelombang radio dari pemancar (T_x) ke penerima (R_x), yaitu berkas lintasan langsung (direct ray) dan berkas lintasan pantulan (reflected ray), yang mempunyai radius F_1 dari garis lintasan langsung. Jika berkas lintasan pantulan mempunyai panjang setengah kali lebih panjang dari berkas lintasan langsung, dan dianggap bumi merupakan pemantul yang sempurna (koefisien pantul = -1, artinya gelombang datang dan gelombang pantul berbeda fasa 180 derajat), maka pada saat tiba di penerima akan mempunyai fasa yang sama dengan gelombang langsung. Akibatnya akan terjadi intensitas kedua gelombang pada saat mencapai antenna penerima akan saling menguatkan.



Gambar 3. Daerah Fresnel pertama di sekitar lintasan langsung

Berdasarkan Gambar 3. dan keterangan di atas, F_1 disebut sebagai radius daerah Fresnel pertama , yang dirumuskan dengan :

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f(d_1 + d_2)}} \dots\dots\dots (2)$$

dimana : F_1 = radius daerah Fresnel pertama (m)
 f = frekuensi kerja (GHz).
 d_1 = jarak antara T_x dengan halangan (km)
 d_2 = jarak antara R_x dengan halangan (km)
 $d = d_1 + d_2$ = jarak antara T_x dan R_x (km).

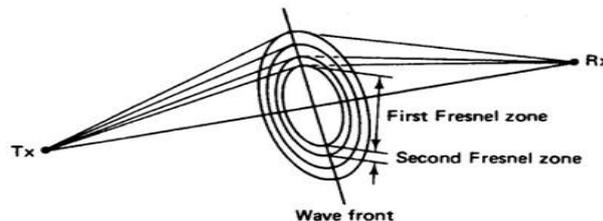
daerah Fresnel pertama di tengah lintasan $d = d_1 + d_2$ dan $d_1 = d_2 = \frac{1}{2} d$ sehingga :

$$F_1 = 8,67 \sqrt{\frac{d}{f}} \quad (\text{meter}) \dots\dots\dots (3)$$

Didaerah yang dekat dengan antenna, seperti d_1 dari antenna :

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{d_1}{f}} \quad (\text{meter}) \dots\dots\dots (4)$$

Sedangkan untuk radius daerah Fresnel kedua , daerah Fresnel ketiga, dan seterusnya diperlihatkan dalam ilustrasi Gambar 4, dan dirumuskan :



Gambar 4 Pemetaan daerah-daerah Fresnel

$$F_n = 17,3 \sqrt{\frac{n(d_1 \cdot d_2)}{f(d_1 + d_2)}} \quad (\text{meter}) \dots\dots\dots (5)$$

$n = 1,2,3,4$

Gain Sistem, adalah dalam sepanjang lintasan propagasi akan terjadi gain sistem (G_s) adalah perbedaan antara daya keluaran nominal pemancar dan daya input minimum yang diperlukan oleh penerima. Gain sistem harus lebih besar dari atau sama dengan jumlah semua keuntungan dan kerugian yang ditanggung oleh sinyal sebagai merambat dari pemancar ke penerima, dituliskan dalam bentuk persamaan 6.

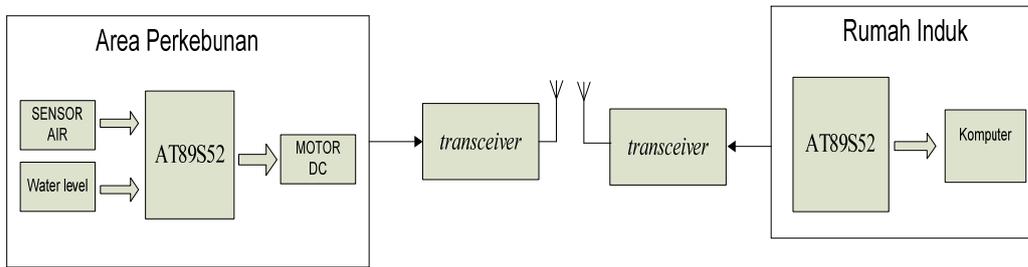
$$G_S = P_t - C_{\min} \geq FM + L_p + L_f + L_b - A_t - A_r \quad \dots\dots\dots (6)$$

dimana ;
 G_s = penguatan sistem (dB)
 P_t = daya output transmitter (dBm)
 C_{\min} = minimum daya diterima, terdapat penguatan dan rugi-rugi (dBm).
 A_r, A_t = Penguatan antenna penerima & pemancar (dB).
 L_p = free space path loss between antennas (dB)
 L_f = waveguide feeder loss (dB).
 L_b = total coupling or branching loss (dB).
 FM = fade margin for a given reliability objective.

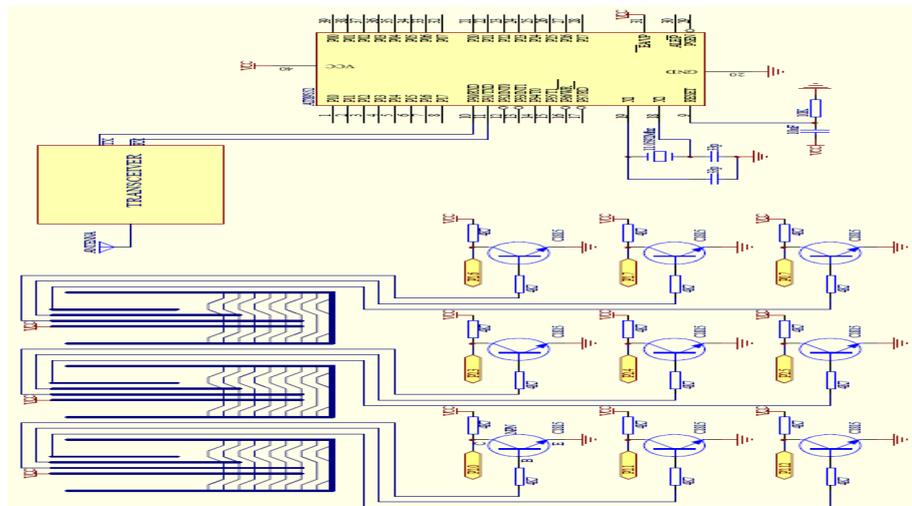
Rancang Bangun Alat Penetes Penggumpal Getah Karet Secara Otomatis. Perencanaan Link radio ditempatkan transceiver dilokasi Perkebunan karet dan transceiver di Rumah Induk, dengan jarak maksimal antar titik node. Propagasi gelombang bisa bersifat LOS dan NLOS.

Dasar Perhitungan model Walfish-ikegami terbagi dalam dua kasus, yaitu keadaan line-of-sight (LOS) dan nonline-of-sight. Dengan melengkapi data mengenai topologi dan kondisi cuaca, serta parameter yang mempengaruhi media transmisi microwave ini, perlu ditunjang dengan pemahaman

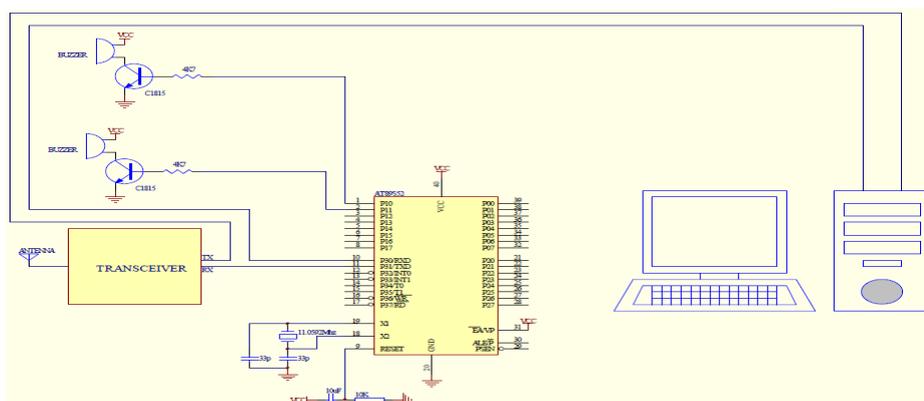
piranti yang akan dipasang, tentunya jalur transmisi tersebut layak dapat untuk digunakan seperti diperlihatkan pada Gambar 4



Gambar 5 Blok perancangan alat penetes pengumpul getah karet.



Gambar 6 Sistem rangkaian pemancar di Perkebunan



Gambar 7 Sistem rangkaian penerima di rumah induk

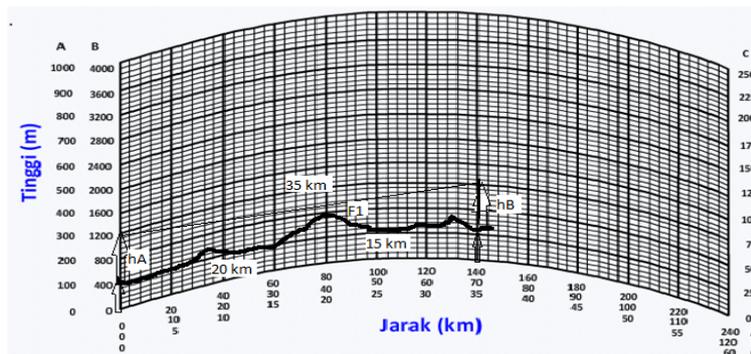
Merancang Ketinggian Antena. Penempatan Link Radio dilokasi perkebunan karet. Jarak antara T_x (pada titik A) dan R_x (pada titik B) adalah 20 km. Pada jarak 15 km dari A, profil lintasan (path profile) seperti pada Gambar 7, diperlukan menghitung ketinggian antenna pada T_x dan R_x , digunakan gelombang pada frekuensi 11,059 MHz secara line of sight. Evaluasi dari profil lintasan pada Gambar 7, menunjukkan bahwa halangan pandangan atau (sight obstruction) harus kita antisipasi adanya bukit yang berjarak 20 Km dari A atau 15 Km dari B. Perlu dicari radius Fresnel pertama dari persamaan berikut :

$$d_1 = 20 \text{ Km}, d_2 = 35 - 20 = 15 \text{ Km}.$$

$$F_n = 17,3 \sqrt{\frac{n(d_1 \cdot d_2)}{f(d_1 + d_2)}} \dots\dots\dots (7)$$

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{1}{11,059} \frac{(20 \cdot 15)}{(20 + 15)}} = 15,194 \quad [meter] \dots\dots\dots (8)$$

Harga F_1 ini merupakan daerah Fresnel pertama ini dipetakan di atas bukit tersebut. Setelah garis line of sight geometris di atas F_1 dibuat, maka ketinggian antenna di titik A dan B dapat ditentukan dibawah (Gambar 7). Dari profil lintasan tersebut, ketinggian antenna di titik A, $h_A = \pm 50$ [meter], dan di titik B, $h_B = \pm 75$ [meter].



Gambar 8 Hasil merancang ketinggian antenna.

Perancangan Dan Percanaan Link Radio Loss. Aplikasi Blok perancangan alat penetes penggumpal getah karet menggunakan sistem radio link loss yang dirancang seperti Gambar 4, dengan data-data sebagai berikut ;

Data Transmisi Jaringan, penggunaan jalur transmisi sepanjang lintasan memberikan data-data secara lengkap antara stasiun pemancar dan penerima dan keadaan link yang akan digunakan:

1. *Link numbers.* jumlah hop dalam perencanaan sistem jaringan radio, hanya menggunakan 1 (satu) pemancar dan penerima saja, tanpa adanya repeater, maka dikatakan hanya terdapat 1(satu) link.
2. *Equipment type.* perangkat yang digunakan aplikasi rancang bangun transceiver pemancar dan penerima.
3. *Station names.* Lokasi perkebunan penempatan pemantauan penyadapan getah pohon karet stasiun pemancar (B) = ± 75 m dan lokasi stasiun penerima (A) = ± 50 m di rumah induk sebagai monitoring indikator data volume level cairan penggumpal getah karet.
4. *Frequencies.* Frekuensi kerja sistem yang digunakan 11,059 MHz.
5. *Polarization.* Polarisasi gelombang yang dipakai untuk propagasi Horizontal.
6. *Channel capacity.* Kapasitas kanal yang dirancang 10 MHz.
7. *Radio equipment modulation type.* Adalah modulasi FM berbasis *Gaussian Frequency Shift Keying* GFSK dan menggunakan *interface Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART).
8. *Site Evaluation.* Evaluasi ketinggian tempat terhadap level permukaan laut pada masing-masing stasiun, salah satunya menggunakan Profile Lintasan atau Path Profile $K = 4/3$.
9. *Path length.* Jarak antara stasiun (km) berdasarkan pada profile lintasan panjang lintasan antara stasiun A dan stasiun B adalah 35 km.
10. *Antenna height.* ketinggian antenna penerima dan pemancar terhadap permukaan tanah pada masing-masing stasiun. Berdasarkan hasil perhitungan profil lintasan tinggi antenna stasiun A = ± 50 meter dan stasiun B = ± 75 meter.
11. *Diversity antenna height.* Jika menggunakan diversiti ruang (space diversity), ketinggian diversiti antenna terhadap permukaan tanah harus diperhatikan.

Losses, sepanjang jalur lintasan memberikan rincian tentang jumlah redaman (losses) yang mungkin timbul pada link radio, yang akhirnya menentukan fade margin (FM).

- Free space path loss (L_p). Redaman umum dialami setiap gelombang yang merambat propagasi ruang, dengan frekuensi alokasi MHz, dinyatakan dengan ;
 - L_p (dB) = $32,4 + 20 \log f$ (MHz) + $20 \log D$ (km).
 - Dari data link diatas, $f = 11,059$ MHz dan $D = 35$ km, sehingga dengan rumus diatas diperoleh L_p (dB) = 88,99 dB
- Reliability expressed* (R). Keandalan jalur sepanjang lintasan yang diharapkan memiliki kondisi baik, mencapai nilai (99.99 % = 0,9999 reliability).
- Reliability objective* ($1 - R$). *Kondisi sebenarnya* keandalan jalur sepanjang lintasan memiliki faktor-faktor ; Memiliki 4 variasi kerapatan curah air hujan (A), Faktor perubahan iklim kemungkinan terburuk perbulan untuk probabilitas tahunan 0,5 (B)
- Feeder length*. Panjang saluran pencatu yang digunakan. Biasanya 1,5 kali dari ketinggian antenna, dihitung dari jarak letak menara antenna terhadap peralatan pemancar dan penerima. Dihasilkan panjang kabel pemancar ($75 \times 1,5$) = 112,5 m dan penerima ($50 \times 1,5$) = 75 m.
- Feeder loss* (L_f). Redaman total saluran pencatu yang digunakan mengacu tabel 7.1 system gain parameter [1]. L_f (5,4dB/100m.) = 10,8 dB.
- Branching loss*. Redaman yang diperkirakan dari filter RF (pemancar dan penerima), pencatu yang digunakan mengacu tabel 7.1 system gain parameter [1]. L_b (2dB/Tx,Rx.) = 4 dB.
- Sum of the losses*. Jumlah redaman (losses) yang mungkin timbul pada link radio, yang akhirnya menentukan fade margin (FM).

$$\begin{aligned}
 FM &= 30 \log D + 10 \log (6ABf) - 10 \log (1-R) - 70 \\
 &= 30 \log 35 + 10 \log (6)(4)(0,5)(11,059) - 10 \log (1-0,9999) - 70. \\
 &= 141,56 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Gains, sumber-sumber penguatan (gain) yang menjadi penentu utama bagi kualitas yang direncanakan ;

- Antenna gain*. Penguatan antenna yang digunakan mengacu tabel 7.1 system gain parameter [1]. untuk antenna penerima (A_r) dan antenna pemancar (A_t) = 31,2 dB
Sum of the gains. Jumlah penguatan (gain) menunjukkan bahwa untuk mencapai 99,99% reliabilitas dengan medan yang diberikan, jaringan distribusi, dan antenna, daya output pemancar dihasilkan harus setidaknya lebih dari minimum level daya terima.
- $G_s = FM + L_p + L_f + L_b - A_t - A_r = 141,56 + 88,99 + 10,8 + 4 - 31,2 - 31,2 = 182,95$ dB
- Receiver threshold level*. Carrier to Noise (C/N) adalah parameter output bandwidth digunakan pada batas ambang penerima penting dipertimbangkan ketika mengevaluasi kinerja sistem komunikasi microwave. Minimum daya (C_{min}) sebagai masukan ke penerima, input noise power dinyatakan dalam [dBm].

$$N(\text{dBm}) = 10 \log \frac{KTB}{0.001} = 10 \log \frac{KT}{0.001} + 10 \log B$$

Untuk, 1 Hz bandwidth noise power, dalam temperatur ruang :

$$\begin{aligned}
 N(\text{dBm}) &= -174 + 10 \log B \\
 &= -174 + 10 \log 11,059 = -163,56 \quad [\text{dBm}]
 \end{aligned}$$

Didapat untuk minimum receiver carrier power (C_{min}).

$$\begin{aligned}
 C_{min} &= \frac{C}{N} (\text{dB}) + N (\text{dB}) \\
 &= 4(\text{dB}) + (-163,56 \text{ dBm}) = -159,56 \quad [\text{dBm}]
 \end{aligned}$$

Transmitter carrier power (P_t).

$$\begin{aligned}
 P_t &= G_s + C_{min} \\
 &= 182,95 \text{ dB} + (-159,56 \text{ dBm}) = 23,39 \quad [\text{dBm}]
 \end{aligned}$$

PEMBAHASAN

Pada saat sinyal Transceiver aktif, proses pengiriman dan penerimaan data yang ditunjukkan dalam bentuk gelombang di Osiloscope. Analisa hasil pengamatan, penerimaan data ditunjukkan pada gambar 8 dan pengiriman data ditunjukkan *transceiver* digunakan sebagai sinkronisasi pengiriman dan penerimaan data, dengan hasil perhitungan sebagai pengirim dan penerima pengiriman data. Didapat untuk Jarak (D) = 35 km transmitter carrier power (P_t) = 23,39 dBm. (0,199 W)



Gambar 9 Penerima Data (R_x).

Tabel 1. Hasil pengujian penerimaan data pada jarak 35 km

No	Jarak	Delay pengiriman data (s)	Kondisi monitoring motor penetes cairan penggumpal	Kondisi monitoring level cairan penggumpal	Keterangan
1	± 35 km	0.52	Baik	Baik	tidak ada kesalahan data
2		0.55			
3		0.46			
4		0.55			
5		0.48			
rata-rata		0.512	Baik	Baik	Baik

Dari percobaan kerja sistem berdasarkan jarak dilakukan beberapa percobaan, yaitu Dari percobaan untuk jarak 35 km, didapat hasil pengiriman data dengan hasil yang sangat baik. dikarenakan daya yang diterima oleh *receiver* di rumah induk sangat kuat, Hal ini karena dilakukan secara *Line Of Sight* (LOS) yang dimana jarak *transmitter* dan *receiver* tidak ada penghalang atau obstacle. Sehingga pada percobaan tidak ditemukan kesalahan pembacaan, dan waktu yang diterima pun sangat cepat yaitu rata-rata 0.512 detik dapat dilihat pada tabel 1. Untuk perbedaan waktu dalam pengambilan data dapat terjadi karena adanya kesalahan akurasi alat karena pada percobaan ini dilakukan secara manual menggunakan *stopwatch*.

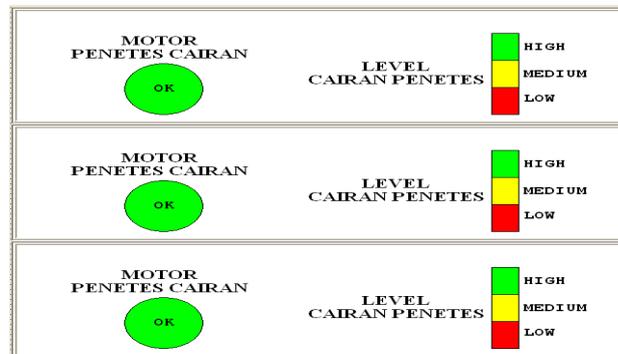
Pengujian Software, Tujuan untuk mengetahui respon *software* aplikasi saat *hardware* bekerja, *Software* mampu membaca dan menerima respon-respon yang di kirim oleh hardware serta mampu mengirim respon untuk mengaktifkan *hardware* bekerja.
Hasil dan Analisa.

Terlihat pada Gambar 9. tampilan layar saat *standby*, semua *level* cairan penggumpal masing-masing pohon berada pada level *high*. LED indikator motor berwarna merah karena motor berada pada kondisi *off*.



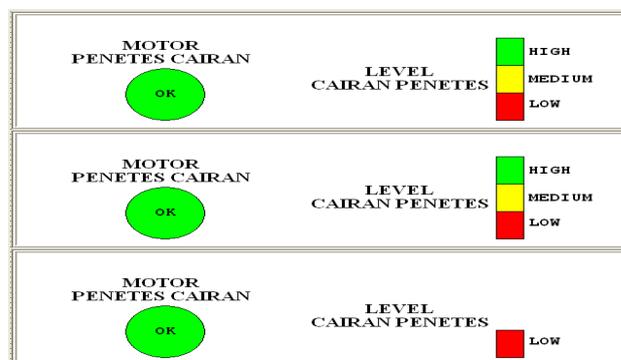
Gambar 9. Display layar monitor saat standby

Gambar 10. menampilkan indikator LED motor berwarna hijau yang menyatakan motor sedang bekerja menyemprotkan cairan penggumpal ke masing-masing mangkok penampung getah karet. Selain indikator LED akan terdengar bunyi *sirine* yang mengindikasikan bahwa motor sedang bekerja. *Sirine* akan terus berbunyi jika tombol “Buzz Off” belum tekan oleh operator.



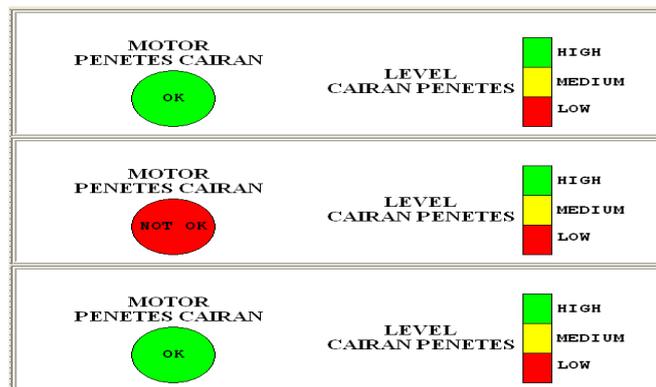
Gambar 10. Display layar saat motor aktif

Pada gambar 11. motor sedang bekerja dan level cairan penggumpal pada pohon (3)ketiga berada pada level *low*, maka ada dua *sirine* yang berbunyi menandakan motor telah bekerja dan level cairan pada salah satu pohon berada pada level *low*. Perlu pengisian cairan penggumpal untuk mengembalikan level agar berada pada posisi *high* atau *medium*. Kemudian operator dapat menekan tombol *Buzz Off* agar semua *sirine* mati.



Gambar 11. Display saat motor aktif dan cairan pada level low

Terlihat pada gambar 12. motor penetes pada pohon ke (2)dua tidak bekerja, maka LED indikator akan berwarna merah dan disertai bunyi *sirine* yang mengharuskan operator mengecek ke pohon ke (2)dua untuk meneteskan cairan penggumpal secara manual.



Gambar 12. Display layar saat motor dua mati

Hasil yang diperoleh dari pengujian *software* ini yaitu saat sistem tidak terjadi hujan, dan *relay pressure pump* masih *open circuit*, *software* akan membaca bahwa motor penetes belum bekerja yang divisualisasikan dengan LED merah dengan keterangan NOT OK. Saat terjadi hujan, dan sensor mengaktifkan *relay pressure pump* dan tidak adanya kegagalan dalam sistem, maka akan divisualisasikan dengan LED hijau dengan label OK. Apabila terdapat motor penetes yang gagal bekerja atau *error* maka, akan divisualisasikan dengan adanya dengan LED merah berlabel NOT OK. Untuk level cairan disimbolkan dengan diagram batang, yang terdiri dari tiga indikator *high*, *medium*, dan *low* pada setiap panel pohon. *Level high* disimbolkan dengan warna hijau, *level medium* disimbolkan dengan warna kuning, dan warna merah untuk *level low*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian alat yang dibuat, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kesalahan pengiriman data terjadi karena jarak yang cukup jauh, sehingga daya pancar yang diterima oleh *receiver* mulai melemah dan menyebabkan kualitas sinyal yang diterima tidak maksimal dan *bit error rate* dalam pengiriman data semakin besar karena adanya *losses*.
2. *Obstacle* dapat menyebabkan *blocking* sinyal dan *fading* dalam propagasinya, sehingga menurunkan kualitas sinyal
3. Diperlukan monitoring ketinggian cairan penggumpal, karena jika cairan penggumpal habis dan motor tetap bekerja meneteskan cairan lama-kelamaan motor akan memanas dan akan rusak sehingga tidak dapat bekerja.
4. Bunyi sirine sebagai peringatan agar petani menambahkan cairan penggumpal, selain diagram batang yang ditampilkan di layar komputer saat level cairan penggumpal berada pada *level low*.
5. Alat ini diterapkan untuk membantu petani karet dalam melindungi hasil panen sadapan getah karet, tercampur air pada saat hujan turun.

DAFTAR PUSTAKA.

- Wayne Tomasi. Advanced. Inc. ©1992, 1987 "Electronic Communications System" Second Edition. Prentice Hall. International, http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf diakses 5 Juli 2013.
- www.rfidglobal.org/uploadfiles/2008_2/2008021861669329.pdf (diakses September 2013) Teddy, Marcus. 2005, Pemrograman Delphi dengan ADOExpress, Informatika, Bandung.
- Wahana Komputer. 2009, Aplikasi Cerdas Menggunakan Delphi, C.V Andi OFFSET, Yogyakarta. <http://www.atmel.com>. Atmel Corporation, 2006, "Microcontroller AT89S52". diakses 5 Juli 2013.
- <http://www.e-dukasi.net>. E-dukasi.net, 2008, "Rectifier, Filter & Regulator". diakses 7 Juli 2013
- <http://www.e-dukasi.net>. E-dukasi.net, 2008, "TRANSFORMATOR". diakses 5 Juli 2010.

<http://lionjogja.20m.com/relay.html> Lionjogja, 2007, “RELAY“diakses 11 Juli 2010.
www.rfidglobal.org/uploadfiles/2008.pdf YiShi Electronic, 2008, “YS-1020UA RF Data
Transceiver”.diakses 11 Juli 2010.
<http://www.google.Firarubiyanti.blogspot.com>.Propagasi Gelombang Tanah (ground wave)

IDENTIFIKASI JUMLAH CITRA NENER MENGUNAKAN METODE BLOB

Ruly Sutrisno Sinukun¹, Stevanus Hardi², MauridhiHeryPurnomo³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri,
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
e-mail :¹rulysinukun@poligon.ac.id,²hardi@ee.its.ac.id,³hery@ee.its.ac.id,

ABSTRACT

Based research is necessary to develop the region. Moreover, appropriate research. Fish is a brackish water fish are very appreciated by the public. However, by looking at the process of maintenance there are many problems that can be lifted into a penilitian. The big problem facing the fish farmers at the time of purchase or sale of fish seed (Nener). What we see with that is sized very small milkfish, and at the time of sale or purchase in large quantities will have the amount of calculation errors. In this research will make a quick way to calculate nener system by using digital image processing. Nener image retrieval using of pocket cameras and containers that have been determined. Then the existing image segmentation disegmentasi. Hasil will be on a label to distinguish between the object and the background using Blob Method. And after the separation is complete, the division continued with a pixel size of the object to determine the actual object (nener) or object bully (not nener). It is expected that this research will gain calculation accuracy reaches 90%.

Keywords : calculation, identification, segmentation, nener, pocket camera, Blob, Blob Detection.

PENDAHULUAN

Ikan bandeng (*Chanoschanos*) adalah ikan yang populer di Asia Tenggara, ikan yang masih muda dan baru menetas hidup di laut selama 2 sampai 3 minggu lalu berpindah ke rawa bakau berair payau, dan kadangkala danau- danau berair asin. Ikan ini akan kembali ke laut ketika sudah dewasa dan bisa berkembang biak. Pengembangan usaha budidaya ikanbandeng juga perlu memperhatikan dari kemampuan pasar atas daya beli masyarakat khususnya petani bandeng. Penggunaan teknologi dalam suatu usaha sangatlah penting apalagi teknologi tepat guna yang berfungsi sebagai penunjang bisnis yang dikelola.

Dalam Penelitian ini data yang digunakan adalah bibit ikan bandeng atau yang biasa disebut Nener. Sistem identifikasi jumlah nener pada saat pembelian sangat penting, ini bisa dilihat dengan banyaknya kerugian para petani nener pada saat penjualan, mereka harus menghitung nener yang sangat kecil satu persatu. Salah satu masalahnya yang dihadapi adalah soal waktu yang terbuang percuma hanya untuk menghitung bibit bandeng . Masalah lain adalah petani tidak dapat menghitung secara akurat ketika para pembeli mengambil benih tersebut dengan jumlah yang banyak.

Image segmentation (segmentasi citra) adalah salahsatu langkah penting dalam analisis sebuah citra. Segmentasi citra dengan komputer merupakan salah satu hal yang paling sulit dilakukandalam pengolahan citra digital. Algoritma segmentasiuntuk citra monokrome biasanya didasarkan pada duaproperti dasar dari level keabuan yaitu diskontinuitasdan kesamaan. Prinsip diskontinuitas adalah citradibagi berdasarkan perubahan yang besar pada tingkatkeabuan sedangkan prinsip kesamaan membagi citrake area yang mempunyai kesamaan tingkat keabuan [7].Perhitungan dalam pengenalan gambar pada hasil *scanner* tulisan pada sebuah kertas adalah kejadian atau kasus yang hampir sama dengan penelitian ini, namun cara pengerjaan serta metode yang digunakan sangat berbeda. Huruf atau tulisan yang ada pada sebuah halaman putih akan dihitung jumlah karakternya. Ini dilakukan dengan beberapa cara salah satunya yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah perhitungan dengan menggunakan pembacaan pola atau yang biasa dikenal dengan metode labeling pada huruf tersebut.

Penelitian ini mencoba untuk membuat sistem identifikasi benih ikan bandeng agar kemudian bisa menghitung jumlah benih yang ada pada satu wadah dengan akurat sehingga para petani tidak dirugikan. Penilitiakanmembuat segmentasi Citra nener dengan menggunakan metode *Blob*, dan kemudian hasil dari segmentasi tersebut dilabel untuk proses perhitungannya.

METODE

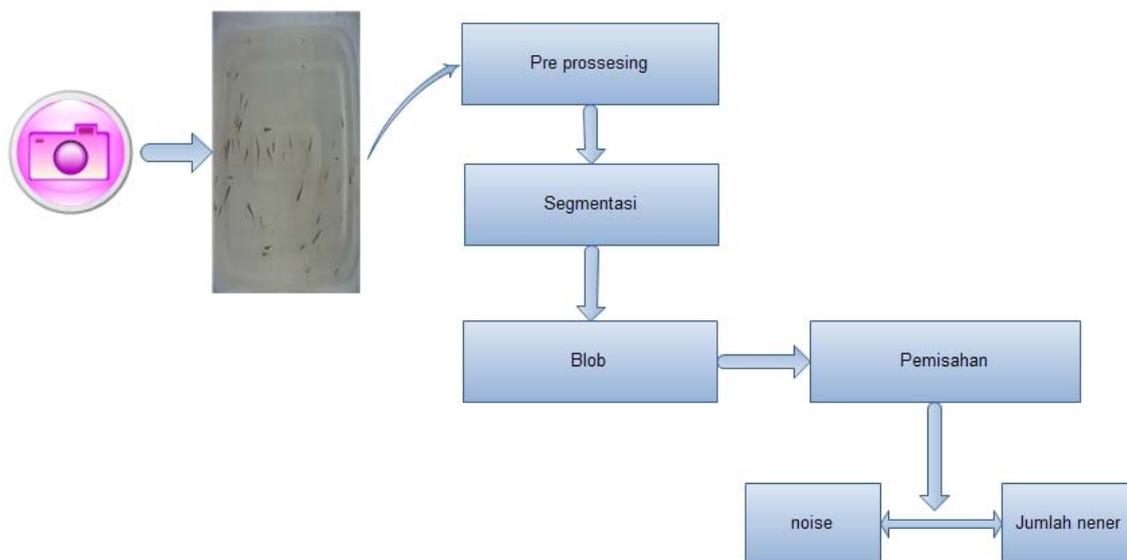
Perhitungan jumlah nener pada lokasi pengambilan data menggunakan cara manual yaitu dengan cara memindahkan maksimal 7 ekor nener dalam sekali ambil untuk mengurangi kesalahan perhitungan jumlah. Namun dengan cara ini menimbulkan beberapa kendala antara lain estimasi waktu. Salah satu contohnya adalah para petani harus menghitung nener dalam manual dalam jumlah yang banyak, sementara para konsumen antri untuk membeli. Dengan masalah ini para petani nener harus mempekerjakan karyawan lebih hanya untuk menghitung nener.

Identifikasi citra ini merupakan salah satu cara yang dilakukan dengan memanfaatkan teknik pengolahan citra digital. Yang nanti selanjutnya murni menggunakan hasil foto sebagai data yang diolah.

Alat dan bahan yang di gunakan adalah:

1. Hardware yang terdiri dari : 1) Kamera Pocket digital panasonic lumix 10 Mega Pixel ; 2) Wadah berukuran 15 x 30 cm dengan warna lantai putih; 3) Laptop Core i3.

Adapun tahapan penelitiannya adalah sebagai berikut: Pengambilan data pada pengolahan citra kurang lebih harus memperhatikan beberapa aspek diantaranya adalah teknik pengambilan citra serta komponen2 penunjangnya. Bicara soal teknik pengambilan citra yang dilakukan peneliti adalah dengan meletakkan wadah yang berisi nener dalam suatu ruangan yang tidak terjadi kontak langsung dengan sinar matahari. Ini bertujuan agar citra yang dihasilkan mendapatkan cahaya yang baik sehingga tidak terdapat *noise* didalamnya. Cahaya lampu kilat pada kamera digital yang digunakan harus dimatikan ini pun bertujuan agar citra yang dihasilkan tidak terdapat cahaya pantul dari lampu kilat kamera.



Gambar 1. Alur dan tahapan penelitian

Wadah yang digunakan berbentuk segi empat dengan ukuran 15 x 30 cm dengan lantai dasar wadah berwarna putih. air yang digunakan dalam wadah sebagai tempat nener diukur paling tinggi 3 cm. Ini bertujuan agar objek yang ditangkap tidak menyebar. Dengan teknik wadah ini kita bisa mendapatkan citra yang baik untuk kemudian di proses dalam sebuah sistem identifikasi citra.

Perubahan Gambar, salah satu hal yang penting berhubungan dengan citra digital adalah pengenalan objek. Pengenalan objek merupakan penelitian yang menggabungkan konsep citra digital, pengenalan pola, matematika dan statistik. Untuk melakukan pengenalan obyek, harus diawali dengan tahapan *pre processing*, ekstraksi fitur, dan penentuan hasil kemiripan.

Pada tahap *pre processing* citra yang ditangkap diolah terlebih dahulu untuk disamakan ukurannya dan diubah kedalam bentuk *grey scale*[7]. Ini dimaksudkan agar citra yang akan diolah menjadi semakin baik. Salah satu contoh kasus yang melakukan *pre processing* adalah penelitian yang dilakukan oleh S. Phadikar, J. Sil, and A. K. Das dalam jurnal yang berjudul *classification of rice leaf diseases based on Morphological changes*[8]. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa tahap *grey level* digunakan sebagai dasar untuk melanjutkan ketahapan berikutnya yaitu tahap fitur ekstraksi.

Segmentasi Citra, segmentasi citra merupakan proses yang ditujukan untuk mendapatkan objek-objek yang terkandung di dalam citra atau membagi citra kedalam beberapa daerah dengan setiap objek atau daerah yang memiliki kemiripan atribut [6]. Pada citra yang mengandung satu objek, objek akan dibedakan dari latar belakangnya. Contoh ditunjukkan pada Gambar 2.



a. Citra nener RGB b. Citra nener keabuan c. Citra nener biner

Gambar 2. Segmentasi bentuk biner

Perubahan citra yang dilakukan diatas adalah teknik segmentasi yang dilakukan dalam penelitian ini, dimana citra asli dirubah menjadi citra berskala keabuan kemudian di konversi ke citra biner. Strategi yang dipakai untuk perubahan citra keabuan ke citra biner adalah dengan menerapkan suatu nilai yang dikenal sebagai bikau ambang (*threshold*). Nilai tesebut dipakai untuk menentukan suatu intensitas akan dikonversi menjadi 0 atau 1. Secara matematis, konversi dinyatakan dengan rumus:

$$b(x) = \begin{cases} 0, & 1 \geq a \\ 1, & 1 < a \end{cases} \quad (1)$$

Gambaran berbagai aplikasi segmentasi dan acuan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 serta prinsip, segmentasi dilakukan untuk mendapatkan objek yang menjadi perhatian.

Tabel 1. Gambaran acuan segmentasi

Objek	Citra	Kegunaan segmentasi	Acuan yang digunakan
Mobil	Mobil, jalan, dan latar belakang	Pelacakan mobil	Gerakan dan warna
Stuktur permukaan bumi	Foto satelit	Klasifikasi area	Tekstur dan warna
Wajah orang	Kerumunan dipasar	orang Pengenalan wajah	Warna, bentuk dan tekstur

Labeling, proses yang dilakukan setelah segmentasi data berjalan dengan baik adalah proses labeling, yang mana citra telah dipisahkan antara objek dan *back round*. Metode blob ini berfungsi sebagai penentu titik untuk memberi tanda terhadap objek. Setelah citra berhasil dilabeling maka data sudah bisa diketahui jumlahnya walaupun masih menyatu dengan citra yang bukan nener.

PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini menghasilkan perhitungan jumlah nener pada satu wadah yang telah ditentukan. Hasil akan baik ketika semua faktor pendukungnya berjalan dengan baik. Namun keakuratan hasil identifikasi jumlah tergantung juga pada data yang tidak bertumpuk.

Tabel 2. Data citra

No	Data	Manual	Komputer	Ket
1	Nener	20	25	Uji 1
2	Nener	30	40	
3	Nener	40	34	
4	Nener	20	24	Uji 2
5	Nener	30	32	
6	Nener	40	36	

Pada uji pertama terlihat jelas terjadi banyak kesalahan dalam identifikasi jumlah nener. ini disebabkan beberapa faktor, antra lain adalah warna latar wadah tidak bersih atau dengan kata lain masih terdapat warna lain selain warna putih dan pada saat pengambilan citra terdapat banyak nener yang saling tumpang tindih. sedangkan pada uji ke 2 hasilnya lebih baik dari uji pertama.

Tabel 3. Hasil identifikasi citra

objek	T	L	area	Hasil
1	70	79	2794 pixels	
2	116	134	8483 pixels	
3	115	106	3023 pixels	
4	83	73	1453 pixels	
5	94	43	576 pixels	
6	102	21	911 pixels	
7	17	65	553 pixels	
8	45	82	578 pixels	
9	40	105	698 pixels	
10	29	104	868 pixels	
11	34	121	2005 pixels	
12	69	95	1573 pixels	

13	26	131	1750 pixels	
14	101	217	5551 pixels	
15	156	172	4633 pixels	
16	27	57	556 pixels	
17	59	48	1105 pixels	
18	74	129	2551 pixels	
19	91	136	2477 pixels	
20	722	197	49092 pixels	
21	172	125	4596 pixels	
22	78	48	994 pixels	
23	155	44	3346 pixels	
24	62	34	506 pixels	

Pada hasil identifikasi citra terdapat 4 objek yang di deteksi sebagai nener ini disebabkan ukuran noise yang besar sehingga dibaca sebagai nener. pada tabel hasil identifikasi diatas dicantumkan bentuk dan ukuran citra sehingga lebih mudah melihat dimana letak kesalahannya.

KESIMPULAN

Dari proses perancangan, implementasi dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Labeling dan pemisahan adalah teknik yang baik dilakukan untuk kasus seperti ini, karena dalam pengambilan sampel tidak bisa dihindari adanya *noise*.
2. Warna latar wadah diusahakan satu jenis warna, dalam penelitian ini menggunakan latar belakang putih.
3. Nener yang menjadi objek, jangan sampai tumpang tindih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pembimbing Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng., Ph.D dan Ir. Stevanus Hardiristanto, M.T . Teman – teman Dosen Program Studi Teknik Informatika Politeknik Gorontalo, Mahasiswa Program Studi Teknik Informatika Politeknik Gorontalo.

DAFTAR PUSTAKA

- Ant'onio dos Anjos, Hamid Reza Shahbazkia, Automatic Marker Detection for Blob Images, University of Algarve Electronic Engineering and Informatics Department 8000-139 Faro, IEEE, 2009
- Bizhong Wei, Ning Ouyang, YueLin Chen, Xiaodong Cai, Automatic Color Blob Segmentation and Fast Arbitrary Shape Tracking School of Applied Science & Technology School of Information and Communication Guilin University of Electronic Technology Jin Ji Road, Guilin China, IET, 2008
- Hui Kong, Hatice Cinar Akakin, and Sanjay E. Sarma, A Generalized Laplacian of Gaussian Filter for Blob Detection and Its Applications, IEEE Transaction on Cybernetic, VOL. 43, NO. 6, December 2013
- Jiamin Liu, Jacob M. White, Ronald M. Summers, Automated Detection of Blob Structures by Hessian

- Analysis and Object Scale, IEE, 2010
- J.N. Fabric, I.E. Turla, J.A. Capacillo, L.T. David, and P.C. Naval, Jr, Fish Population Estimation and Species Classification from Underwater Video Sequences using Blob Counting and Shape Analysis, Department of Computer Science Marine Science Institute University of the Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines, IEEE, 2013
- Kadir A; Susanto A. Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra. Andi. Yogyakarta.
- Purnomo MH; Muntasa A. Konsep pengolahan citra digital dan ekstraksi fitur. Graha Ilmu. Yogyakarta. 2010
- S.pandikar, J. Sil, A. K., Classification of Rise Leaf Diseases Based on Morphological Changes, International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol. 2, No. 3, May 2012
- Thasprabu Ramasamy, Vijanth Asirvadam, Patrick Sebastian, Labeling Blob Using Dual Cooperative Camera, Department of Electrical & Electronic, Universiti Teknologi PETRONAS Bandar Seri Iskandar, Perak.
- Wooi-Nee Tan, Tejamaya Sunday, Yi-Fei Tan, Enhanced "GrabCut" Tool with Blob Analysis in Segmentation of Blooming Flower Images, Faculty of Engineering, Multimedia University Jalan Multimedia, 63100 Cyberjaya, Selangor, Malaysia, IEEE, 2013

ANALISIS POTENSI PENGHEMATAN ENERGI PADA BOILER DI PABRIK TEKSTIL

Sudirman Palaloi

Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) – BPPT, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Indonesia
palaloi@yahoo.com

ABSTRACT

Boiler is one of the energy conversion equipment which produces steam to supply steam in the process production in the textile mills. The boilers use to produce steam for the industrial sector in the United States approximately 34%. In the production process of steam in the boiler, losses incurred on the boiler can not be avoided, so it is necessary to optimize the operation of the boiler. One way to identify the sources of waste is through energy audits. Based on the results of the energy audit has been carried out it was found that the increase in boiler efficiency can be obtained by controlling the composition of combustion air and fuel, use of air preheater, and installation of economizer. This will increase the efficiency of the boiler 1 of 80.6% to 88.8% and to an increase in the efficiency of the boiler 2 from 75.8% to 89.4%. Total potential savings that can be obtained is 93335.6 USD / year (IDR. 1.1014 billion, - / year) with a total investment of \$ 130.000 USD (IDR. 1.56 billion).

Keywords : *Textil industry, boiler, efficiency, energy saving*

PENDAHULUAN

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap. Komponen penting pada boiler adalah burner, ruang bakar, penukar panas dan sistem kontrol. Komposisi yang tepat dalam pencampuran antara bahan bakar dan udara di ruang bakar akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Panas yang dihasilkan ditransfer ke air melalui penukar panas. Air panas atau uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk proses produksi. Berdasarkan informasi didapatkan bahwa penggunaan boiler pada sektor industri untuk menghasilkan uap di Amerika Serikat sekitar 34% [Mark Schiffhauer, 2009]. Hal ini berarti bahwa peningkatan efisiensi pada boiler sangat penting [Saidur, R, 2011]. Dalam proses produksi dari air menjadi uap, dapat terjadi kehilangan panas atau rugi rugi seperti kehilangan panas berupa udara berlebih dan temperatur yang tinggi pada gas buang dicerobong. Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu. Kehilangan dari blowdown dan kondensat. Kehilangan konveksi, radiasi dan penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar [Einstein, Dkk]. Untuk mengoptimalkan pengoperasian boiler, maka sangat penting untuk melakukan identifikasi sumber-sumber pemborosan atau kehilangan tersebut [A. Bhatia, B.E.2012,]. Kehilangan yang banyak ditemukan pada proses produksi uap adalah gas buang yang bisa mencapai 10-30% dari total rugi-rugi, yang temperaturnya berkisar 150 – 250°C [Paul Dockrill dkk]. Oleh karena itu pemanfaatan gas buang ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi boiler, dengan demikian didapatkan penghematan energi. Salah satu cara untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang [Morimoto,2003]

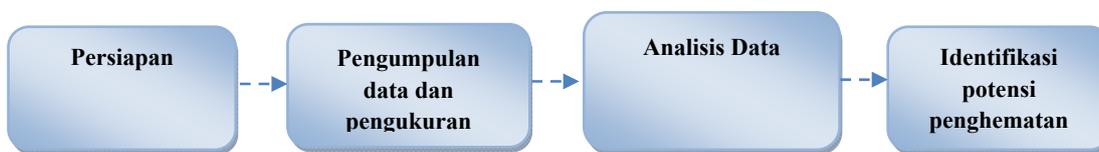
Untuk menyuplai kebutuhan uap pada peralatan mesin produksi, maka dilengkapi dengan 2 unit boiler, masing-masing berkapasitas 10 ton/jam dan 5 ton/jam. Kedua boiler ini mempunyai tipe yang sama, yaitu *3 pass flue & smoke tube type* pada tekanan gauge 0,8 MPa (kerja) dan desain gauge 0,8 MPa. Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem uap dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan uap. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Uap dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan uap diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Bahan bakar daripada boiler ini adalah Gas. Berdasarkan

informasi bahwa boiler ini boros menggunakan gas untuk memproduksi uap, sehingga diperlukan audit energi. Pabrik ini merupakan pabrik tekstil yang memproduksi bahan jadi berupa kain katun. Dalam proses produksi membutuhkan uap. Kebutuhan uap terdistribusi kebeberapa mesin yaitu mesin produksi dyeng 1, mesin dyeng 2, drayer 1 dan drayer 2. Pabrik ini beroperasi dari jam 08.00- 22.00

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi penghematan energi yang didapatkan dari hasil audit energi. Efisiensi *performance* boiler sebelum dan setelah *improvement*, analisis potensi penghematan yang dapat dilakukan serta perhitungan secara sederhana besar investasi dan biaya yang dapat dihemat.

METODE

Untuk menentukan *performance boiler* maka diperlukan beberapa kegiatan seperti persiapan, penentuan parameter, titik ukur, dan pelaksanaan pengukuran. Kemudian evaluasi data hasil pengukuran dan analisis data serta identifikasi potensi penghematan. Alur penelitian



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Parameter-parameter pengukuran yang diperlukan dari suatu boiler tergantung pada batas yang ditetapkan, peralatan ukur yang tersedia, dan kondisi pengukuran. Akan tetapi secara umum data-data yang diperlukan di dalam melakukan pengukuran pada boiler [3] adalah :

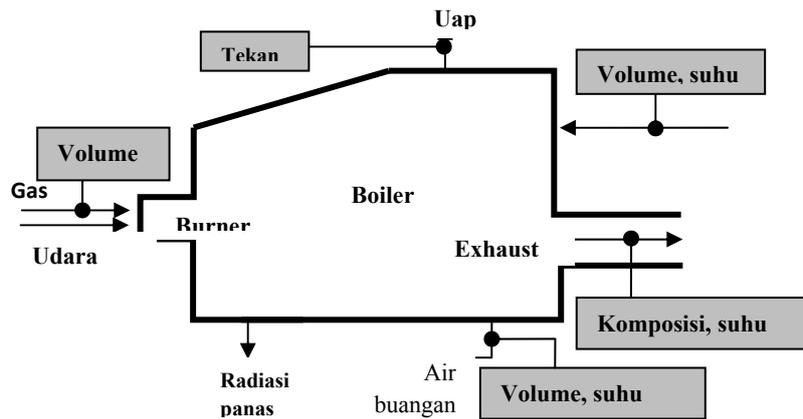
- Bahan bakar : laju air (m^3/h), temperatur ($^{\circ}C$), tekanan (kg/cm_2)
- Gas buang : Laju air/volume gas buang (m^3/h), temperatur ($^{\circ}C$), komposisi gas buang ($\%CO_2$, $\%CO$, $\%O_2$, $\%SO_2$)
- Air pengisi boiler : laju air (m^3/h), jumlah bahan padat yang terlarut (TDS), tekanan (kg/cm^2)
- Udara pembakaran : temperatur ambient ($^{\circ}C$), bola basah ($^{\circ}C$), temperatur bola kering ($^{\circ}C$)
- Air blowdown : laju air (m^3/h), jumlah bahan padat yang terlarut (TSD), temperatur ($^{\circ}C$).
- Dinding boiler : temperatur ($^{\circ}C$), luas permukaan (m^3)
- Uap : laju air (m^3/h), temperatur ($^{\circ}C$), tekanan, kualitas uap

Perlengkapan pengukuran atau instrumen pengukuran yang diperlukan diantaranya adalah :

- Pengukuran temperatur : termokopel dan thermometer bola basah dan bola kering
- Pengukuran laju air : Pilot tube, Fan wheel, Orifice, Ultrasonic flowmeter
- Pengukuran tekanan : Manometer
- Pengukuran komposisi gas buang : Gas analyser
- Pengukuran jumlah bahan padat yang terlarut : TDS meter

Menentukan titik pengukuran, langkah yang perlu diperhatikan dalam melakukan persiapan pengukuran adalah :

- Menentukan batas system boiler yang akan diukur yaitu dengan menyusun atau menggambarkan blok diagram system tersebut.
- Menentukan titik-titik pengukuran dari blok diagram sistem boiler, seperti diperlihatkan pada Gambar 1 di atas
- Instalasi instrument-instrumen pengukuran. Instalasi dilakukan pada saat boiler tidak/ sedang beroperasi. Pembacaan dan pengambilan data dapat pula dilakukan dari alat ukur yang telah terpasang, dengan memastikan bahwa alat ukur tersebut tidak rusak dan masih dapat dipercaya pembacaan meternya.
- Pengukuran dilakukan dalam kondisi tunak (*steady*), yaitu suatu kondisi dimana beban pembakaran boiler tidak berubah terhadap waktu untuk setiap masing-masing beban boiler yang diukur.
- Pengambilan data dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan data yang dapat mewakili operasi boiler.



Gambar 2. Titik pengukuran pada boiler

Evaluasi data hasil pengukuran dan analisis, data hasil pengukuran yang masih merupakan data mentah sehingga perlu diolah untuk dapat digunakan dalam perhitungan atau analisis. Untuk itu satuan-satuan yang digunakan perlu distandarkan, biasanya dipakai satuan-satuan standar internasional (SI). Analisa data bersisi perhitungan-perhitungan untuk mengetahui unjuk kerja boiler.

PEMBAHASAN

Dalam melakukan perhitungan digunakan beberapa data komposisi dan nilai kalor bahan bakar. Perhitungan disini dimaksudkan untuk mengetahui distribusi energi di boiler, kebutuhan udara pembakaran, faktor kelebihan udara, dan efisiensi boiler. Efisiensi boiler didefinisikan persentase jumlah masukan panas efektif yang digunakan digunakan untuk menghasilkan uap. Ada dua metode yang biasa digunakan untuk menentukan efisiensi boiler yaitu metode langsung (*input & output heat method*) dan metode tidak langsung (*heat loss method*) [3,1].

Metode langsung : Dimana energi yang didapat dari fluida kerja (air dan uap) dibandingkan dengan kandungan energi dari bahan bakar boiler. Persamaan yang digunakan [13,15,16,17] adalah :

$$\text{Efisiensi boiler, } \eta(\%) = \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat input}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta(\%) = \frac{\text{jumlah uap panas yang dibangkitkan, } Q_s \text{ (kkal)}}{\text{Jumlah panas hasil pembakaran bahan bakar, } Q_f \text{ (kkal)}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\eta(\%) = \frac{W(h_s - h_w)}{F \times H_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- W = volume uap yang dibangkitkan [kg]
- h_s = Entalpi dari uap [kkal/kg]
- h_w = Entalpi air yang diumpankan [kkal/kg]
- H₁ = Nilai kalori dari bahan bakar [kkal/liter atau kg]

Metode tidak langsung : efisiensi boiler dihitung berdasarkan pengurangan jumlah uap panas yang dihasilkan dengan rugi rugi panas yang terjadi. Metode perhitungan efisiensi tidak langsung pada boiler menggunakan standar British Standard, BS 845: 1987 dan Amerika Serikat Standar ASME PTC-4.1. Metode tidak langsung juga disebut metode kehilangan panas. Efisiensi boiler dapat dihitung dengan cara jumlah uap panas yang dihasilkan dikurangi dengan rugi rugi panas yang terjadi [1,4,10].

$$\text{Efisiensi, } \eta(\%) = 100 - (\text{Rugi - rugi panas total, } Thl) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Efisiensi } \eta(\%) = 100 - (L_{drg} + LH_2 + Lmf + Lma + Lfa + Lba + L_Q) \quad \dots\dots\dots (5)$$

Kehilangan energi dapat dibagi kedalam kehilangan yang tidak dan dapat dihindarkan. Audit energi merupakan salah satu cara untuk mengidentifikasi kehilangan yang dapat dihindari untuk meningkatkan efisiensi energi. Beberapa rugi-rugi pada boiler yang biasa terjadi dapat dihindari atau dikurangi. Hal tersebut akan mengakibatkan anatara lain pertama kehilangan gas buang pada cerobong: Udara berlebih (diturunkan hingga ke nilai minimum yang tergantung dari teknologi *burner*, kontrol operasi dan pemeliharaan) dan Temperatur gas buang di cerobong (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan (pembersihan), beban; burner yang lebih baik dan teknologi boiler). Kedua, kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu (mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan; teknologi *burner* yang lebih baik). Ketiga, kehilangan dari *blowdown* (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat). Keempat, kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat). Kelima, kehilangan konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi boiler yang lebih baik) dan yang keenam terjadi penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan dari desainnya. Data-data yang dibutuhkan untuk menghitung efisiensi boiler metode tidak langsung [6,15] adalah : Analisis *ultimate* bahan bakar (H₂, O₂, S, C, kadar air, kadar abu): Satu, persentase oksigen atau CO₂ dalam gas buang. Dua, temperatur gas buang dalam oC (T_f). Tiga, temperatur ambien dalam oC (T_a) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering. Empat, GCV bahan bakar dalam kkal/kg. Lima, persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat). Enam, GCV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat).

Prosedur rinci untuk perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode tidak langsung [3,1,2,4,11] disajikan berikut ini.

Tahap 1: Menghitung kebutuhan udara teoritis (TA)

$$TA = [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4,32 \times S)]/100 \text{ kg/kg bahan bakar} \dots\dots\dots (6)$$

Tahap 2 : Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok (EA)

$$EA = \frac{O_2 \%}{21 - O_2 \%} \dots\dots\dots (7)$$

Tahap 3: Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok/ kg bahan bakar (AAS)

$$AAS = \{1 + EA/100\} \times TA \dots\dots\dots (8)$$

Tahap 4: Memperkirakan seluruh kehilangan panas (THL)

- Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang yang kering, *heat loss due to dry flue gas (Ldfg)*

$$Ldfg (\%) = \frac{m \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

- m = massa gas buang kering dalam kg/kg bahan bakar
= (massa hasil pembakaran kering / kg bahan bakar) + (massa N₂ dalam bahan bakar pada basis 1 kg) + (massa N₂ dalam massa udara pasokan yang sebenarnya)
- C_p = Panas jenis gas buang (0,23 kkal/kg)

- Persen kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H₂ dalam bahan bakar, *heat loss due to evaporation of water formed due to H₂ in fuel (LH₂)*

$$LH_2 (\%) = \frac{9 \times H_2 \{ 584 + C_p (T_f - T_a) \}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

dimana :

- H₂ = jumlah kg H₂ dalam 1 kg bahan bakar
- C_p = panas jenis uap lewat jenuh/superheated uap (0,45 kkal/kg)

- Persen kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar, *heat loss due to evaporation of moisture present in fuel (Lmf)*

$$Lmf (\%) = \frac{M \{ 584 + C_p (T_f - T_a) \}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

M = persen kadar air dalam 1 kg bahan bakar

- Persen kehilangan panas karena kadar air dalam udara, *heat loss due to moisture present in air (Lma)*

$$Lma (\%) = \frac{AAS \text{ faktor kelembaban } C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (12)$$

- Persen kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang, *heat loss due to unburnt in fly ash (Lfa)*

$$Lfa(\%) = \frac{\text{total abu terkumpul/kg bahan bakar yang terbakar} \times GCV \text{ abu terbang}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

Tabel 1. Data spesifikasi dan hasil pengukuran boiler

Item	Boiler 1	Boiler 2	Unit
Capasitas	10	5	t/h
Dimensi			
Panjang	6	4.8	m
Diameter	2.9	2	m
Luasan dinding vertikal	13.20	6.28	m ²
Luasan permukaan silinder	54.64	30.14	m ²
Total luasan	67.84	36.42	m ²
Emisivitas	0.85	0.85	
Bahan Bakar dan gas buang			
Nilai kalori	42119	42119	kJ/kg
Jumlah udara teritis	11.09	11.09	Nm ³ /kg
Amount of the west gas(@Air Ratio =1) G0	11.82	11.82	Nm ³ /kg
Panas udara spesifik	1.3	1.3	kJ/Nm ³ °C
Panas spesifik gas buang	1.38	1.38	kJ/Nm ³ °C
Temperatur gas buang	270	350	°C
O2 % pada gas buang	8	8	%
Excess Air Ratio	1.62	1.62	
Nox % in exhaust gas	250	250	ppm
Temperatur permukaan	150	150	oC
Konsumsi bahan bakar	750	394.7	kg/hr
Konsumsi air	10600	5200	kg/hr
Temperatur bahan bakar	33	33	°C
Temperatur air umpan	20	20	°C
Temeperatur udara pembakaran	33	33	°C
Temperatur ambien	33	33	°C
Blow rate	6	6	%
Blow Temp.	170	170	°C

- Persen kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah, *heat loss due to unburnt in bottom ash (Lba)*

$$L_{fa} (\%) = \frac{\text{total abu terkum pul/kg bahan bakar yang terbakar} \times \text{GCV abu bawah}}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (14)$$

- Persen kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung, *furnace body heat losses* (L_Q)

$$L_Q = 4.88 \varepsilon \left\{ \left(\frac{t + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{a + 273}{100} \right)^4 \right\} \times 100 \quad \dots\dots\dots (15)$$

dimana :

- t = Temperatur permukaan dinding *furnace* (°C)
- a = Temperatur udara sekitar *furnace* (°C)
- ε = Emisivitas radiasi permukaan dinding boiler

Kehilangan radiasi dan konveksi aktual dapat dikaji dengan mengetahui emisivitas permukaan yang beraneka ragam, kemiringan, pola aliran udara. Kehilangan dapat diasumsikan secara tepat tergantung pada kondisi permukaan. Namun demikian ada cara yang dapat dilakukan dengan mengukur temperatur permukaan boiler [13,16,17].

Tahap 5: Menghitung efisiensi boiler dan rasio penguapan boiler

$$\text{Efisiensi } \eta(\%) = 100 - (L_{dfg} + LH_2 + Lmf + Lma + Lfa + Lba + L_Q)$$

Data-data yang dikumpulkan berupa data spesifikasi, bahan bakar, temperatur dan pengukuran gas buang untuk masing-masing boiler. Hasil pengukuran temperatur gas buang boiler 1 adalah 270°C lebih rendah bila dibandingkan dengan temperatur boiler 2 yaitu 350°C. Prosentasi O2 pada gas buang sama yaitu 8%. Data spesifikasi, bahan bakar, temperatur dan pengukuran gas buang untuk masing-masing boiler secara detail diperlihatkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil survei dan pengumpulan data, maka ada beberapa peluang penghematan energi yang dapat dilakukan antara lain : perbaikan pembakaran dengan mengontrol rasio udara pembakaran dan pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara pembakaran. Pada Boiler 1 ada beberapa potensi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi boiler yaitu pengaturan udara umpan dan bahan bakar, dan pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar dengan memasang preheater. Hasil perhitungan perbaikan efisiensi pada boiler dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan perbaikan efisiensi pada boiler 1

Boiler (1)	Kondisi sebelum perbaikan	Perbaikan dengan		Unit
		Pengaturan udara umpan dan bahan bakar	Pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar	
<i>Analysis Data</i>				
Exhaust gas temp.	270	270	170	°C
O2 % in exhaust gas	8	4.5	4.5	%
Excess Air Ratio	1.62	1.27	1.27	
NOx % in exhaust gas	250	250	250	ppm
Surface temp.	150	150	150	°C
Fuel consumption	750	750	725	kg/hr
Water consumption	10600	10600	10600	kg/hr
Fuel temp	33	33	33	°C
Feed water temp.	20	20	20	°C
Ambient temp.	33	33	33	°C
Blow rate	6	6	6	%

Boiler (1)	Kondisi sebelum perbaikan	Perbaikan dengan		Unit
		Pengaturan udara umpan dan bahan bakar	Pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar	
<i>Blow Temp. (assumed)</i>	170	170	170	°C
Calculation				
<i>Input Energy</i>				
<i>Input Energy = fuel consumption X Calarofic Value</i>				
	31589.25	31589.25	30536.28	MJ/hr
<i>1) Exhaust Gas Loss</i>				
<i>Exhaust Gas Rate = Fuel rate x (G0 + A0 x (excess air ratio-1))</i>				
	13983.46	11133.41	10762.30	m ³ /h
<i>Heat Loss of Exhaust Gas = Exhaust gas Rate x Calarofic value x Exhaust gas temp.</i>				
	5210.24	4148.31	2524.83	MJ/hr
<i>2) Heat Loss</i>				
	514.22	514.22	514.22	MJ/hr
<i>Radiation losses</i>				
<i>Radiation losses = 4.88x4.186 x Emissivity x Surface Area x ((Ts+273/100)⁴ - (Ta+273/100)⁴) /1000</i>				
	273.85	273.85	273.85	MJ/hr
<i>Convection losses</i>				
<i>Convection losses = 9.208 x Surface Area x ((Ts-Ta) 0.25 x (Ts-Ta))/1000</i>				
	240.37	240.37	240.37	MJ/hr
<i>3) Blowdown Loss</i>				
<i>Heat loss of Blow = Blow rate x heat coefficient x temp. difference</i>				
	394.00	394.00	394.00	MJ/hr
<i>Boiler Efficiency</i>	80.6%	84.0%	88.8%	
<i>Saving</i>				
<i>Fuel saving</i>		25.21	34.54	kg/hr
		105892.92	145081.22	kg/yr
<i>Cost saving</i>		21178.58	29016.24	\$/Yr
<i>Investment Cost of Air heater</i>			40000.00	\$
<i>CO2 Emission Reduction</i>		91067.91	124769.85	kg/yr
<i>Payback period</i>			1.45	Yr

Salah satu hal yang sangat penting untuk mengoptimalkan dan penyempurnakan pembakaran di dalam burner boiler adalah sistem pengendalian air rasion pada sistem pembakaran (*combustion control system*) Sistem tersebut memiliki peranan yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dari boiler serta berfungsi menjaga komposisi aliran udara dan aliran bahan bakar yang tepat sehingga terjadi proses pembakaran sempurna. Berdasarkan hasil pengamatan pengendalian rasio udara dan bahan bakar yang ada di pabrik ini dilakukan secara manual oleh operator dengan mengamati kandungan kadar oksigen (O₂) dan memperhatikan asap yang keluar dari stack (cerobong). Selain itu kadar O₂ yang berfungsi sebagai indikator sempurna-tidaknya proses pembakaran mengalami fluktuasi. Hal ini mengindikasikan bahwa rasio aliran udara dan aliran bahan bakar serta sistem pengendalian yang ada masih belum optimal. Oleh karena itu direkomendasikan untuk memasang sistem pengendalian rasio udara dan bahan bakar pada pembakaran boiler, serta mencari rasio dari aliran udara dan aliran bahan bakar yang optimal. Hal ini akan menurunkan kadar oksigen dari 8% menjadi 4,5%. Dengan demikian excess air ratio dapat diturunkan 1,6 menjadi 1,27. Hal ini akan meningkatkan efisiensi boiler dari 80,6% menjadi 84%, atau naik 4,2%.

Peningkatan efisiensi pada boiler 2 dapat dilakukan dengan cara perbaikan pembakaran dengan mengontrol air ratio, dan pemanfaatan gas buang untuk pemanasan awal udara pembakaran dan pemansangan economizer. Ringkasan hasil perhitungan peningkatan efisiensi boiler 2 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan perbaikan efisiensi pada boiler 2

Boiler (2)	Kondisi sebelum perbaikan	Perbaikan dengan			Unit
		Pengaturan udara umpan dan bahan bakar	Pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar	Pemanfaatan gas buang dengan memasang ekonimizer	
Analysis Data					
<i>Exhaust gas temp.</i>	350	350	242	140	°C
<i>O2 % in exhaust gas</i>	8	4.5	4.5	4.5	%
<i>Excess Air Ratio</i>	1.62	1.27	1.27	1.27	
<i>Nox % in exhaust gas</i>	250	250	250	250	ppm
<i>Surface temp.</i>	150	150	150	150	°C
<i>Fuel consumptoin</i>	394.7	394.7	382	362	kg/hr
<i>Water consumption</i>	5200	10600	10600	10600	kg/hr
<i>Fuel temp</i>	33	33	33	33	°C
<i>Feed water temp.</i>	20	20	20	56	°C
<i>Combustion air temp.</i>	33	33			°C
<i>Ambient temp.</i>	33	33	33	33	°C
<i>Blow rate</i>	6	6	6	6	%
<i>Blow Temp. (assumed)</i>	170	170	170	170	°C
Calculation					
<i>Input Energy</i>					
<i>Input Energy = fuel consumption x calarofic Value</i>	16624.37	16624.37	16089.46	15247.08	MJ/hr
1) <i>Exhaust Gas Loss</i>					
<i>Exhaust Gas Rate = Fuel rate x (G0 + A0 x (excess air ratio-1))</i>	7359.03	5859.14	5670.62	5373.73	m ³ /h
<i>Heat Loss of Exhaust Gas = Exhaust gas Rate x Calarofic value x Exhaust gas temp.</i>	3554.41	2829.97	1893.76	1038.20	MJ/hr
2) <i>Heat Loss</i>					
	276.09	276.09	276.09	276.09	MJ/hr
<i>Radiation losses</i>					
<i>Radiation losses = 4.88x4.186 x Emissivity x Surface Area x((Ts+273/100)4 - (Ta+273/100)4) /1000</i>	147.03	147.03	147.03	147.03	MJ/hr
<i>Convection losses</i>					
<i>Convection losses =9.208 x Surface Area x ((Ts-Ta) 0.25 x (Ts-Ta))/1000</i>	129.06	129.06	129.06	129.06	MJ/hr
3) <i>Blowdown Loss</i>					
<i>Heat loss of Blow = Blow rate x heat coefficient x temp. difference</i>	193.28	394.00	394.00	299.44	MJ/hr
Boiler Efficiency	75.8%	78.9%	84.1%	89.4%	
Saving					
<i>Fuel saving</i>		12.4	19.6	19.4	kg/hr
		52224.8	82126.1	81357.8	kg/yr
<i>Cost saving</i>		10445.0	16425.2	16271.6	\$/Yr
<i>Investment Cost of Air heater</i>			30000.0	60000.0	\$
<i>Payback period</i>			2.1	4.8	Yr

<i>Boiler (2)</i>	Kondisi sebelum perbaikan	Perbaikan dengan			Unit
		Pengaturan udara umpan dan bahan bakar	Pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar	Pemanfaatan gas buang dengan memasang ekonimizer	
<i>CO2 Emission Reduction</i>		44913.3	70628.4	69967.7	kg/yr

KESIMPULAN

Dari proses pengukuran, analisis data dan perhitungan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peningkatan efisiensi boiler dapat diperoleh dengan jalan mengontrol komposisi udara pembakaran dan bahan bakar, pemanfaatan gas buang untuk memanaskan udara pembakaran dan pemasangan economizer.
2. Efisiensi boiler 1 dapat ditingkatkan dari 80,6% menjadi 88,8 % dengan memasang air heater seharga US\$ 40.000.- Total penghematan yang diperoleh adalah US\$ 50.194 atau Rp. 592.298.000.- per tahun.
3. Perbaikan efisiensi boiler 2 dapat dilakukan dengan cara mengontrol komposisi udara pembakaran dan bahan bakar, pemanfaatan gas buang untuk memanaskan udara pembakaran dan pemasangan economizer. Total investasi yang dibutuhkan adalah US\$ 90.000, dan penghematan yang didapatkan US\$ 43.141,6 /tahun atau Rp. 509.070.000,-/tahun

DAFTAR PUSTAKA

- A. Bhatia, B.E.2012. Improving Energy Efficiency of Boiler Systems. www.PDHcenter.com *Boiler Efficiency Guide*. Printed in the USA, ©2010 Cleaver-Brooks, Inc. CB-7767
- BS 845-1:1987 Methods for Assessing thermal performance of boilers for steam, hot water and high temperature heat transfer fluids — BS 845-1:1987 Incorporating Amendment No. 1, 1999.
- David C. Farthing. Tech Paper #901. Improving Boiler Room Efficiencies. A Seminar on the ways and means of increasing boiler room efficiencies.
- Einstein, D., Worrell, E., Khrushch, M., Systems in Industry: Energy Use and Energy Efficiency Improvement Potentials. Lawrence Berkeley National Laboratory <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/789187-uTGqsP/native>
- Energy Efficiency Best Practice Guide: Uap, Hot Water and Process Heating Systems http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Best_Practice_Guide_Heating.pdf
- Energy Information Administration (EIA), International Energy Annual, Online, Retrieved 3rd January 2009 from www.eia.doe.gov/iea
- ERC, How to Save Energy and Money in Boilers and Furnace Systems, Energy Research Centre (ERC), University of Cape Town, South Africa.
- February 2002. Boiler Blowdown Heat Recovery Project Reduces Uap System Energy Losses at Augusta Newsprint. Office of Industrial Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy Washington, DC 20585-0121.
- Jeff Stein, 2010. Designing Efficient Boiler Systems for Commercial Buildings Taylor Engineering Alameda, CA. PG&E Energy Center (14)
- Mark Schiffhauer, 2009. "Increasing Natural Gas Boiler Efficiency by Capturing Waste Energy". ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Pp 683-693
- Morimoto. 2003. Energy Conservation in the Textile Industry. ECCJ. Japan
- Paul Dockrill, Frank Friedrich. Boiler and Heaters : Improving Energy Efficiency. I Federal Industrial Boiler Program Natural Resources Canada CANMET Energy Technology Central. 1 Haanel Drive, Nepean ON K1A 1M1.
- S. Krishnanunni, Josephkunju Paul, Mathu Potti, Ernest Markose Mathew. 2012. Evaluation of Heat Losses in Fire Tube Boiler. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 2, Issue 12, December 2012)
- Saidur, R, 2011 "Energy Savings and Emission Reductions in Industrial Boilers" THERMAL SCIENCE, Year 2011, Vol. 15, No. 3, pp. 705-719.

Sebastian Teir, Antto Kulla. 2002. *Boiler Calculations*. Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering Energy Engineering and Environmental Protection Publications Uap Boiler Technology eBook.

Syllabus Boilers: Types, Combustion in boilers, Performances evaluation, Analysis of losses, Feed water treatment, Blow down, Energy conservation opportunities. Bureau of Energy Efficiency

The Energy Saving Technology in Boiler, 2003. Tokyo Gas. Japan.

ANALISIS INSERTION LOSS UNTUK FILTER DAYA BERBASIS ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)

E Kurniawan¹, Ngapuli I. S.², Darwanto D.³, D Hamdani⁴, P Wibawa⁵

^{1,5}FTE-Telkom University, ^{1,2,3,4} Program S3-STEI ITB Bandung

e-mail : ¹ekkikurniawan@telkomuniversity.ac, ²ngapuli.sinisuka@stei.itb.ac.id, ³darwanto_gk@yahoo.com
⁴deny@power.ee.itb.ac.id, ⁵prasd.wibawa@gmail.com

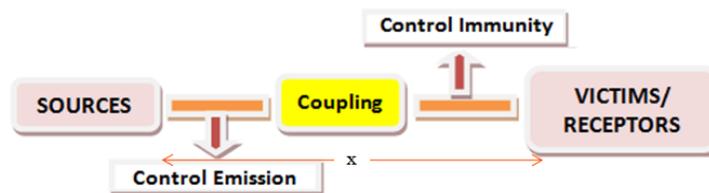
ABSTRACT

Along with the growth of technology is followed by increasing some kinds of frequency that circulating on the environment. The presence of those frequencies will decrease immunity and reliability of electronic equipments that should be improved by installation of filters. This paper is intended to look for a new filter topology, which is the most efficient from the various possible combinations. The filters will be installed before the equipments rectification system called Electromagnetic Interference (EMI) filter. EMI filters are analyzed consists of harmonic filter and Low Pass Broadband Filter (LPBF). Single tone harmonic filter is used to dampen the additional grids frequency that appear ranging from 100Hz to 3 KHz. LPBF will be combined to dampen the frequencies that higher than (> 3 kHz) due to the effect of capacitance, induction or radiation of electromagnetic pulse from the events of Electrostatic Discharge (ESD), Electrical Fast Transient (EFT) and Surges. Some EMC standards for transient immunity and harmonic current as set out in the standard IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5 and IEC 61000-3-2 is elaborated to determine the parameters of the filter. Analysis for the performance of the filter in the form of insertion loss (IL) uses the parameters of impedance, admittance and transmission in in two port network. The results of calculations based on the standard values of the source and load impedance, with a cut-off frequency for harmonic filter is 150 Hz and 6.37 kHz for LBBF shows that the parallel combination of the type a1 harmonic filter (series with the grid) with LBPF is the most efficient.

Keywords: electronic equipment, EMC standards, EMI filters, harmonics, LPBF, IL

PENDAHULUAN

Kodali el al. (1996) menyatakan bahwa EMC merupakan kesesuaian atau kemampuan suatu sistem peralatan elektronik/elektrik untuk bekerja dengan normal di lingkungan elektromagnetik tanpa terpengaruh atau menyebabkan gangguan di lingkungannya. EMC mengidentifikasi sumber emisi dan kerentanan korban (*victims*) yang terhubung melalui mekanisme kopling. Hubungan tersebut dapat disederhanakan dengan pemodelan konsep EMC seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan konsep dasar EMC

Mekanisme kopling dapat terjadi via kawat atau medan elektromagnetik. Mekanisme kopling via kawat bersifat konduktif atau galvanis. Melalui medan elektromagnetik, mekanisme yang mungkin terjadi adalah kopling kapasitif, induktif dan radiatif. Berdasarkan jarak dan panjang gelombangnya ada dua jenis medan yaitu medan dekat dan medan jauh. Pada medan dekat di mana jarak antara sumber dan korban (x) lebih kecil dari panjang gelombang dibagi 2π ($x < \lambda/2\pi$) akan terjadi mekanisme kopling kapasitif dan induktif. Pada medan jauh di mana jarak sumber-korban lebih besar dari $\lambda/2\pi$ maka akan terjadi mekanisme kopling radiatif atau dapat dikatakan juga bahwa kopling radiatif ini terjadi ketika sumber gangguan dan penerima terpisah pada jarak lebih besar dari panjang gelombangnya. Sumber gangguan dan penerima sebagai korban dapat bertindak sebagai antenna. Jika dimensi antenna sumber setara dengan panjang gelombang maka hanya mekanisme kopling radiatif

yang terjadi. Agar EMC tercapai maka para perancang harus berusaha menekan emisi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan sumber, mengurangi kopling dan meningkatkan imunitas dari korban. Perancangan dan pemasangan filter EMI yang baik merupakan salah satu upaya yang harus dilakukan untuk mengatasi masalah EMC tersebut.

METODE PENELITIAN

Adapun tahapan dalam makalah penelitian ini adalah seperti pada Gambar 2 sebagai berikut :

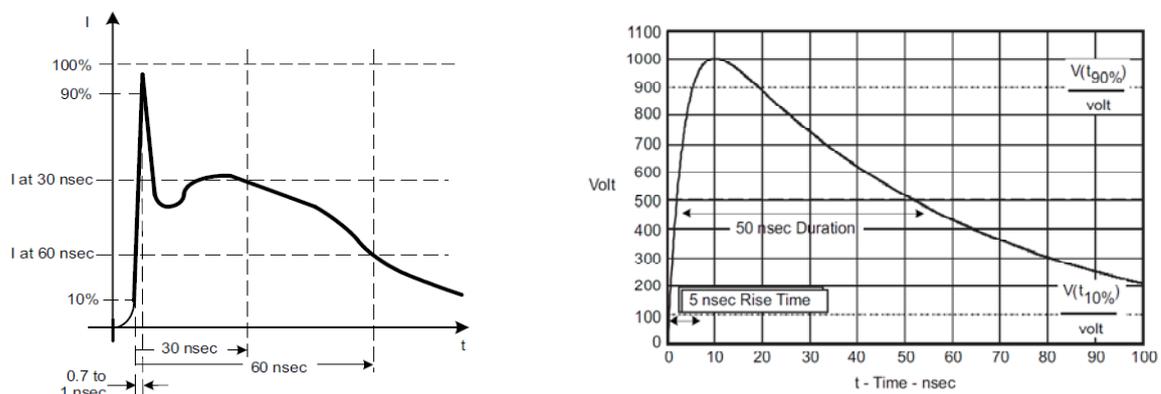


Gambar 2. Alur Tahapan Penelitian

1. Studi EMC meliputi konsep dasar dan standar-standar yang berhubungan dengan perancangan filter seperti : 1) IEC 61000-3-2 tentang batas emisi arus harmonisa ; 2) IEC 61000-4-2 tentang ESD 3) IEC 61000-4-3 tentang EFT dan 4) IEC 61000-4-5 tentang surja.
2. Perancangan filter terdiri dari 1) filter dasar filter harmonisa dan LPBF ; 2) persamaan matrik filter dasar dan kombinasinya dengan paramter Z, Y dan T.
3. Analisis Insertion Loss (IL) untuk filter untuk mengetahui filter yang berpotensi untuk dipasang.
4. Kesimpulan untuk menentukan topologi filter baru yang terbaik.

STUDI STANDAR EMC

Standar IEC 61000-4-2 tentang ESD yang dapat ditimbulkan oleh badan manusia ketika memegang logam. Bentuk gelombang arus transient akibat ESD dapat dilihat pada Gambar 3a. Waktu naik t_r diperkirakan kurang dari 1 ns, dengan durasi T selama 150 ns. Standar IEC 61000-4-4 tentang EFT yang dapat terjadi karena kontak bunga api pada saklar dan relay ketika terjadi pembebanan motor atau beban-beban induktif lainnya. Jenis *transient* ini dapat menimbulkan gangguan moda bersama (*common-mode*) pada kabel melalui kopling kapasitif. Bentuk gelombang EFT dapat dilihat pada Gambar 3b, waktu naik dapat berkisar selama 5 ns dengan durasi kira-kira 50 ns. Standar IEC 61000-4-5 mendefinisikan bahwa bentuk gelombang surja memiliki parameter waktu naik dan durasi $1.2 \times 50 \mu s$ untuk tegangan terbuka, dan $8 \times 20 \mu s$ untuk arus hubung singkat, kedua bentuk gelombangnya mirip dengan bentuk gelombang pulsa EFT. Periode untuk pulsa elektromagnetik karena pengaruh gelombang surja kira-kira 50 μs . Dalam domain frekuensi nilai f_l kurang lebih 6.57KHz ($1/(\pi \cdot 50 \mu s)$).



Gambar 3. Bentuk pulsa elektromagnetik standar dari peristiwa (a) ESD dan (b) EFT [Jean Picard, 2006]

Standar IEC 61000-3-2 menjelaskan batas emisi arus harmonisa untuk berbagai kelas peralatan dengan arus masukan lebih kecil atau sama 16 A pada tegangan nominal 220 Volt. Standar ini melingkupi empat kelas jenis peralatan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standard Emisi Arus Harmonisa [Power-One, 2000]

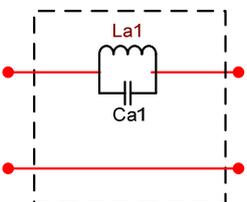
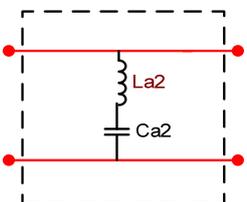
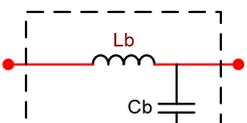
Kelas	Jenis Beban	Harmonisa ke-	Batas arus maksimum
A	Peralatan Tiga Fasa	2,3;4;5;6;7-40	1,08; 2,30; 0,43; 1,14; 0,30; 0,77..0,046 A
B	Peralatan <i>Portable</i>	2,3;4;5;6;7-40	Batas kelas A (sda) dikalikan 1,5
C	Peralatan Penerangan	2,3;5;7;9;11-39(ganjil)	2,30xλ;10; 7; 5; 3 % dari nilai fundamental
D	Peralatan Khusus(75-600 W)	3;5;7;9;11-39(ganjil)	3,4 ; 1,9 ; 1,0 ; 0,5 ; 0,35...0,1 mA/W

Ketr. λ = faktor daya rangkaian peralatan penerangan

PERANCANGAN FILTER

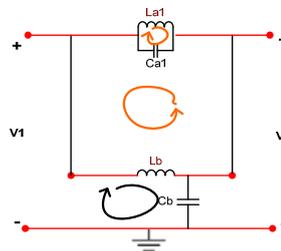
Filter harmonisa yang pilih adalah jenis filter *single tone*, komponen filter jenis pertama terdiri dari hubungan seri La1,Ca1 dan jenis kedua paralel La2,Ca2 dengan jala-jala. Sedangkan rangkaian pengganti filter RFI/*Broadband* untuk keperluan analisis dapat disederhanakan menjadi rangkaian kutub dua yang terdiri dari komponen Lb dan Cb, seperti terlihat pada skema filter dasar dalam Tabel 2.

Tabel 2 Skema rangkaian filter dasar dan matrik parameter kutub empat

N	Skema Filter Dasar	Paramater	Komponen Matrik Parameter
1	 <p>(a) filter harmonisa serial jenis a1</p>	<p>Za1</p> <p>Ya1</p> <p>Ta1</p>	$\begin{bmatrix} \infty & \infty \\ \infty & \infty \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} (s^2 L_{a1} C_{a1} + 1)/sL_{a1} & -(s^2 L_{a1} C_{a1} + 1)/sL_{a1} \\ -(s^2 L_{a1} C_{a1} + 1)/sL_{a1} & (s^2 L_{a1} C_{a1} + 1)/sL_{a1} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 1 & s^2 L_{a1} C_{a1} + 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
2	 <p>(b) filter harmonisa parallel jenia a2</p>	<p>Za2</p> <p>Ya2</p> <p>Ta2</p>	$\begin{bmatrix} (s^2 L_{a2} C_{a2} + 1)/sC_{a2} & (s^2 L_{a2} C_{a2} + 1)/sC_{a2} \\ (s^2 L_{a2} C_{a2} + 1)/sC_{a2} & (s^2 L_{a2} C_{a2} + 1)/sC_{a2} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} \infty & \infty \\ \infty & \infty \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/(s^2 L_{a2} C_{a2} + 1) & 1 \end{bmatrix}$
3		<p>Zb</p>	$\begin{bmatrix} sL_b + \frac{1}{sC_b} & \frac{1}{sC_b} \\ \frac{1}{sC_b} & \frac{1}{sC_b} \end{bmatrix}$

(c) LPBF	Y_b	$\begin{bmatrix} \frac{1}{sL_b} & -\frac{1}{sL_b} \\ -\frac{1}{sL_b} & \frac{s^2L_bC_b+1}{sL_b} \end{bmatrix}$
	T_b	$\begin{bmatrix} s^2L_bC_b + 1 & sL_b \\ sC_b & 1 \end{bmatrix}$

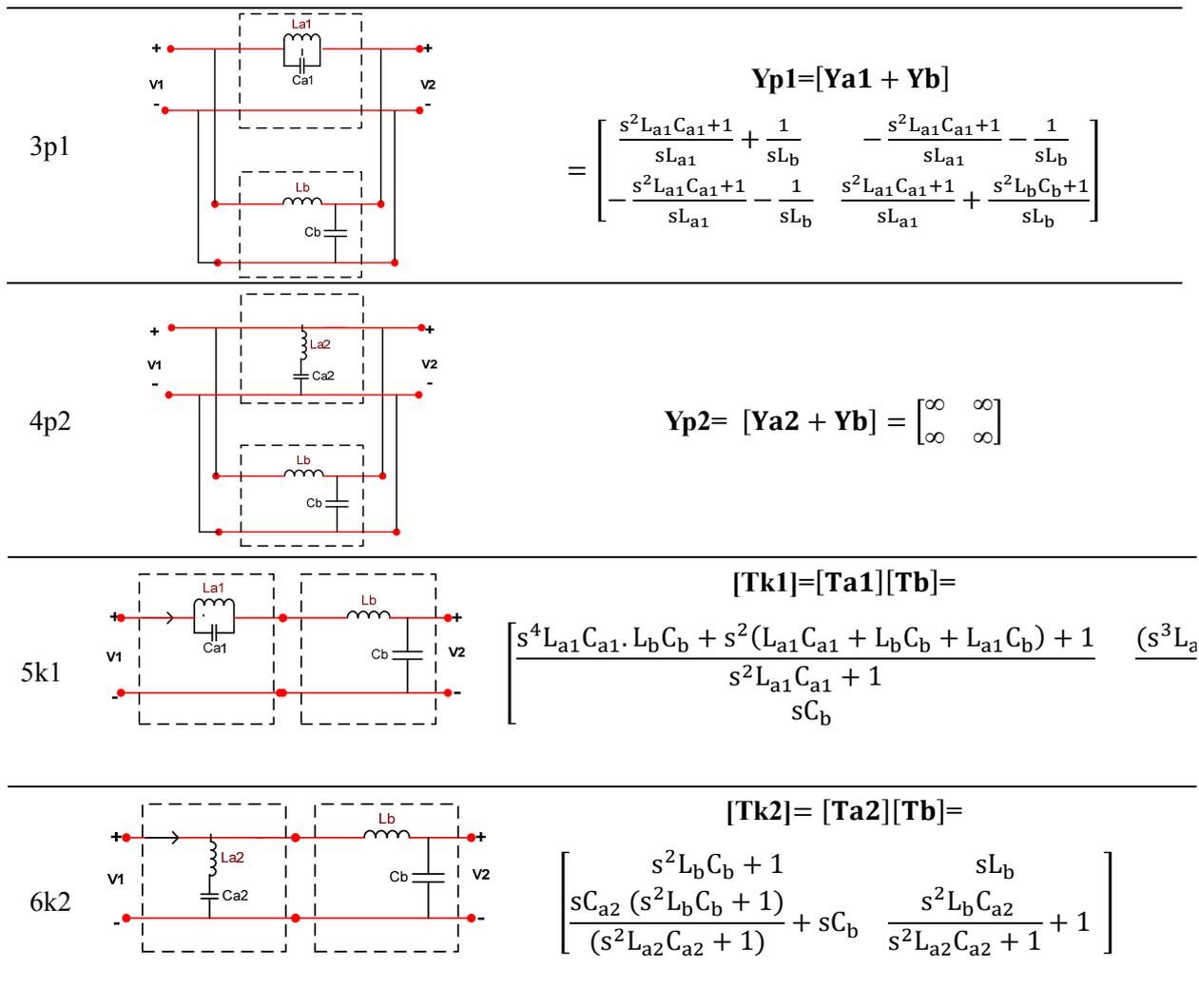
Untuk memudahkan analisis maka dibuat tabel yang menunjukkan tentang skema rangkaian yang mungkin dikombinasikan dari filter dasar, kemudian dibuatkan matriks parameternya lihat Tabel 3. Topologi 1s1 dan 4p2 menghasilkan matriks tak hingga, jenis ini tidak cocok diaplikasikan karena tidak akan ada arus yang mengalir pada komponen C_b dan L_b . Sedangkan topologi lainnya menghasilkan matriks untuk bahan analisis berikutnya misalnya topologi 3p1. Saat beban nol ada tiga lintasan loop yang memungkinkan terjadi resonansi pada filter harmonisa ($L_{a1}-C_{a1}$) dan LPBF (L_b-C_b) lihat Gambar 4.



Gambar 4. loop arus yang terjadi pada topologi 3p1

Tabel 3. Skema rangkaian kombinasi sambungan dari filter dasar dan matriksnya

No	Kombinasi Filter	Komponen matrik dari persamaan parameter kutub empat
1s1		$Z_{s1} = [Z_{a1} + Z_b] = \begin{bmatrix} \infty & \infty \\ \infty & \infty \end{bmatrix}$
2s2		$Z_{s2} = [Z_{a2} + Z_b]$ $= \begin{bmatrix} \frac{s^2L_{a2}C_{a2} + 1}{sC_{a2}} + sL_b + \frac{1}{sC_b} & \frac{s^2L_{a2}C_{a2} + 1}{sC_{a2}} + \frac{1}{sC_b} \\ \frac{s^2L_{a2}C_{a2} + 1}{sC_{a2}} + \frac{1}{sC_b} & \frac{s^2L_aC_a + 1}{sC_{a2}} + \frac{1}{sC_b} \end{bmatrix}$



PENENTUAN NILAI KOMPONEN L DAN C

Untuk menentukan nilai komponen L dan C filter maka dilakukan perhitungan frekuensi resonansi dengan rumus seperti tertulis pada Persamaan 1.

$$f = 1 / (2\pi \sqrt{LC}) \dots\dots\dots (1)$$

Untuk filter harmonisa, frekuensi resonansi yang dipilih adalah frekuensi harmonisa ke-3 dari jala-jala listrik yaitu 150Hz. Besar kapasitansi kapasitor Ca yang tersedia di pasaran misalnya 4 uF, sehingga diperoleh nilai induktansi dari induktor La sebesar 282 mH. Untuk menentukan nilai LPBF dilakukan dengan cara yang sama, sehingga diperoleh hasil seperti yang tertera pada Tabel 4. Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai Cb dan Lb yang berasal dari jenis pulsa elektromagnetik surja akan dipasang karena akan meredam cakupan frekuensi lebih tinggi yang disebabkan oleh jenis pulsa elektromagnetik, ESD, dan EFT

Tabel 4 Nilai Komponen L dan C untuk LPBF

Jenis EMP	tr (s)	T (s)	f1 (Hz)	Cb (Farad)	Lb (Henry)
ESD	7,00E-10	6,00E-08	5,31E+06	4,70E-06	1,91E-10
EFT	5,00E-09	5,56E-08	5,73E+06	4,70E-06	1,64E-10
Surja	1,20E-06	5,00E-05	6,37E+03	4,70E-06	1,33E-04

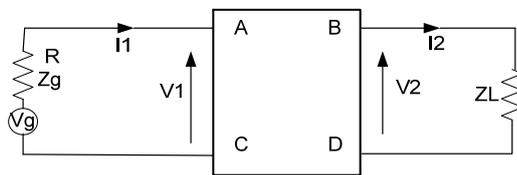
ANALISIS IL

Parameter yang diperlukan untuk karakterisasi sebuah filter adalah *Insertion Loss (IL)*. *IL* adalah rugi sisipan yang dapat menunjukkan ukuran keefektifan sebuah filter. Makin kecil nilai *IL* makin baik efisiensi sebuah filter. **Jiri Drinovsky et al. (2001)** menerangkan bahwa ketidakmenentuan dan ambiguitas sumber dan beban menyebabkan ketidakpastian parameter filter yang akan dipasang di lapangan. Maka salah satu upaya mengatasinya dengan menghadirkan teknik sederhana untuk meprediksi nilai batas *IL* untuk filter EMI. **Yuji Jitoh et al. (2002)** menjelaskan bahwa pengukuran *IL* merupakan hal penting dalam menentukan parameter filter, sehingga perlu ditetapkan regulasi atau peraturan khusus yang berkaitan dengannya. Aturan dan spesifikasi tentang pengukuran *IL* sudah ditetapkan oleh Standar *Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR)-22*. Persamaan 2 menjelaskan bahwa *IL* merupakan perbandingan daya sebelum dan sesudah disisipkan filter. Daya tersebut berbanding lurus dengan kuadrat tegangan dan berbanding terbalik dengan resistansinya. Satuan dari *IL* dinyatakan dengan decibel (dB).

$$IL = 10 \log \frac{P_1}{P_L} = 20 \log \frac{V_1}{V_L} = 20 \log \frac{I_1}{I_L} \dots\dots\dots (2)$$

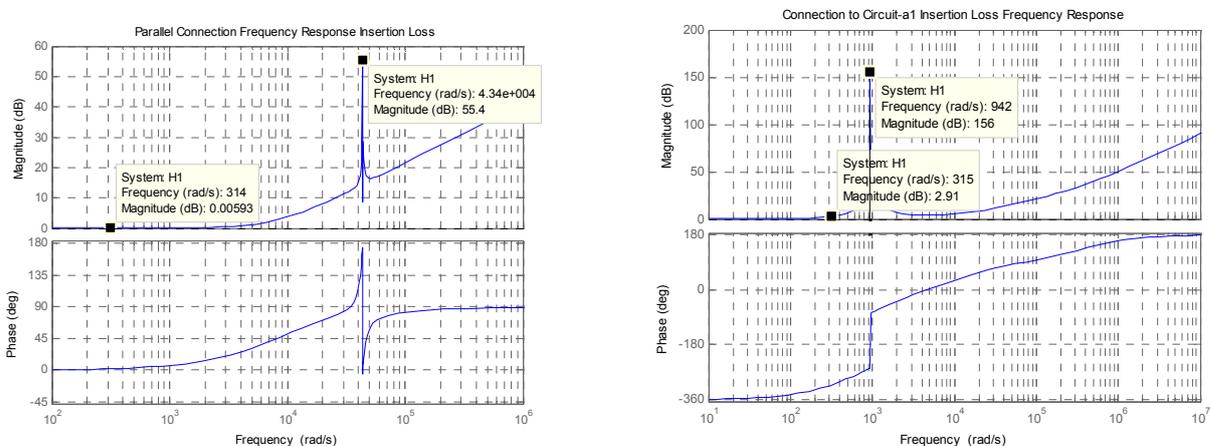
Dengan P_1 = Daya keluaran sebelum dipasang filter; V_1 = Tegangan keluaran sebelum dipasang filter; P_L = Daya keluaran setelah dipasang filter; V_L = Daya keluaran setelah dipasang filter. I_1 = Arus keluaran sebelum I_L = Arus keluaran setelah dipasang filter Ada beberapa cara untuk menentukan nilai *IL*, melalui persamaan maupun dari pengukuran. Nilai *IL* dapat ditulis dengan Persamaan 3. dengan Z_g , dan Z_L sebagai impedansi sumber dan beban. Rangkaian pengujian filter dengan parameter transmisi rangkaian kutub empat (A, B,C,D) dapat dilihat pada Gambar 5.

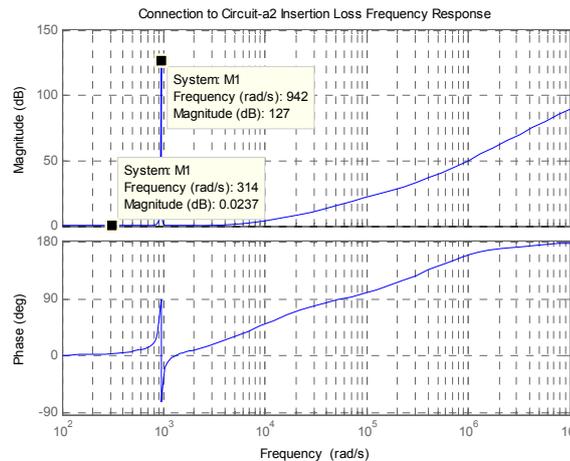
$$IL = 20 \log \left| \frac{A.Z_L + B + C.Z_g.Z_L + D.Z_g}{Z_g + Z_L} \right| \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 5. Rangkaian pengujian filter sebagai kutub empat dengan parameter Transmisi (ABCD)

Grafik *IL* untuk topologi yang dipilih dapat lihat pada Gambar 6 berikut ini.





Gambar 6. Grafik IL untuk topologi 3p1,5k1 dan 6k2 berurutan searah jarum jam

Tabel 5. Harga IL (dB) pada frekuensi-frekuensi penting

No	Topologi	Frekuensi	Hasil Pengujian	
			Keadaan 1	Keadaan 2
1	3p1	50Hz(\approx 313-315 rad/s)	0,00589	0,00594
		150 Hz(\approx 941 rad/s)	0,0529	0,0515
		6.37kHz(\approx 40,6krad/s)	56,4	13,8
2	5k1	50Hz(\approx 314-315rad/s)	2,91	0,00602
		150 Hz(\approx 942 rad/s)	156	58,2
		6.37kHz(\approx 40,2krad/s)	13,7	13,6
3	6k2	50Hz(\approx 312-314 rad/s)	0,0237	67,9
		150 Hz(\approx 942 rad/s)	125	224
		6.37kHz(\approx 40,0krad/s)	13,7	25,5

Ketr. Keadaan 1; $C_a=4\mu\text{F}$; $L_a=0,282\text{H}$; keadaan 2; $C=0,282\text{F}$; $L=4\mu\text{H}$

KESIMPULAN

Dalam makalah ini, kami telah berusaha untuk mengusulkan topologi baru untuk filter yang terintegrasi. Berdasarkan analisis IL dengan sumber dan impedansi beban standar, koneksi kaskade a2 memberikan hasil yang baik dalam kondisi normal, walaupun tanpa instalasi ferit, semua gangguan saat Termasuk ESD dan frekuensi EFT akan disalurkan ke tanah. Koneksi paralel dengan a1 memiliki nilai IL yang paling kecil daripada koneksi lain, sehingga akan menjadi kinerja yang terbaik, tetapi masih perlu menambahkan dengan filter cincin ferit terutama untuk meredam pada frekuensi tinggi dalam rentang MHz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih Dr Rina, Dr Erna dan Dr Basuki Rahmat, dari

Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom. yang telah mendukung hingga tuntasnya makalah ini, terima kasih yang khusus disampaikan juga kepada keluarga yang dengan sabar menemani penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Charles K. Alexander, Mathre N.O.Sadiku, 2003. Fundamental of Electric Circuits third edition, McGraw-Hill. Douglas,E., Powell , Hesterman, 2007. Introduction to Voltage Surge Immunity Testing, IEEE Report.
- Drinovskiy,J., Kejik, Z., Ruzek, V., Zachar, J. 2001. Insertion loss Estimation of EMI filter in Unmached Input/ Output Impedance System, RADIOENGINEERING vol 20,NO.1, 295-298.
- D. Xi, Y. Z. Yin, L. H. Wen, Y. N. Mo, And Y. Wang, 2010. A Compact Low-Pass Filter With Sharp Cut- Off And Low Insertion Loss Characteristic Using Novel Defected Ground Structure,Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 17, 133-143.
- Foissac, M., Schanen, J.L., Vollaie, 2009 Compact EMC model of power electronics converter for conducted EMC studies in embedded networks, Automotive Power Electronics 2009, Paris, France.
- Fu-Yuan Shih et.al ,1996. A procedure for Designing EMI Filters for AC Line Applications ,IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 11, No. 1.
- G. Asmanis, O. Krievs, A. Asmanis, 2012, Active Power Filter LCL Filter Insertion Loss Calculation Analysis, Elektronika Ir Elektrotechnika, ISSN 1392-1215, VOL. 18, NO. 9.
- Jean Picard, 2006. SLVA233A Application Report on Systems Power, Electrical Transient Immunity for Power-Over-Ethernet Texas Instruments.
- Jia-Sheng Hong, M.,Lancaster, 2001.Microstrip Filters for RF/Microwave Applications. Hand Book, John Wiley & Sons.
- Kodali., Prasad, 1996. Engineering Electromagnetic Compatibility, IEEE, New York.
- Kostov, 2009. Design and Characterization of Single-Phase Power Filters, PhD- dissertation,Helsinki University of Technology, Department of Electrical Engineering.49-48.
- Konstantin S. Kostov and Jorma J. Kyrrä, 2008. Insertion Loss and Network Parameters in the Analysis of Power Filters , Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics (NORPIE 2008). Espoo, Finland.
- Kurniawan,E.,Hamdani,D.,Novario,S.,DarwantoD.,Sinisuka,N, 2013. Mitigating Spikes for EMC in Vibration Monitoring Systems of Generating Plant, Procedia Technology 8C, Sciencedirect, 1080 – 1087.
- Power-One,2000. Directives & Standards Technical Information EMC.
- Sabri,Y., Kurniawan,E,2012. Perancangan Filter Pasif Untuk Mengatasi Harmonisa Pada Gardu Penyearahan Pusat Listrik Aliran Atas PT KAI Commuter Jabodetabek Indonesia, Prosiding Konferensi Nasional ICT-M Politeknik Telkom (KNIP).
- Seema P. Diwan, Dr. H. P. Inamdar, and Dr. A. P. Vaidya, 2011. Simulation Studies of Shunt Passive Harmonic Filters: Six Pulse Rectifier Load – Power Factor Improvement and Harmonic Control ACEEE Int. J. on Electrical and Power Engineering, Vol. 02, No. 01.
- Steve J. Briggs,Michael S. Kim ,Franklin H. Holcomb, 1993. Effects of Harmonics on EMI/RFI Filters Operating Under Nonlinear Loading Conditions, US Army Corps of Engineers,USACERL Technical Report.
- Szabo, Z., Sedla, J., HadineM. C, 2008.Optimization Method of EMI Power Filters and Its Measurement,Z. Progress In Electromagnetics Research Symposium, Hangzhou, China.

HIGH-SPEED ANALOG TO DIGITAL CONVERTER: Studi dan Pengukuran

Arief Suryadi Satyawan¹ dan Dayat Kurniawan²

^{1,2}) Peneliti Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi – LIPI
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135, Indonesia
E-mail: ariesurie73@gmail.com, dayat@lipi.go.id

ABSTRACT

This paper presents an overview of high-speed analog to digital converter architectures that commonly have been produced in the recent years. Some different type of high-speed ADCs such as flash, pipeline, and successive approximation ADC will be describe briefly in the beginning of discussion. This study is very important to provide better knowledge of designing an acquisition system for a specific application. An experiment involving the ADS42LB69 ADCs also describe in the final section of the discussion including few technical results that have been obtained. This pipelined ADC will be promoted to be used for radar application in our main project. The overall result shows that the ADC module works well, although some other critical parameters are still investigated.

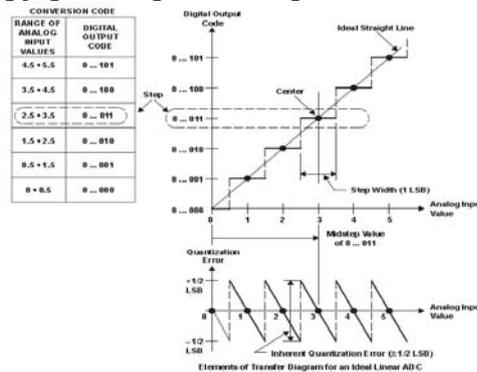
Keywords: flash, pipeline, successive approximation, sigma-delta ADC, ADS42LB69 ADCs

PENDAHULUAN

Dalam suatu sistem pengolahan sinyal modern, kehadiran peubah analog ke digital (analog to digital converter/ADC) telah menjadi komponen antarmuka yang sangat penting mengingat kemampuannya dapat menghubungkan lingkungan analog nyata dengan lingkungan digital. Dengan kata lain, dengan menggunakan ADC, parameter - parameter alami seperti temperatur suatu objek, kadar unsur kimiaw suatu zat, kuat cahaya, besar medan listrik, gerak benda dan masih banyak fenomena alam lainnya dapat diproses dengan bantuan piranti elektronika digital untuk keperluan penyajian lebih lanjut, atau untuk dikirimkan melalui media transmisi tertentu seperti *wireless link*, *high-speed line* antar sejumlah *chip* digital atau *backplane*. Semenjak kemunculannya, berbagai produk seperti termometer, audio digital dan sistem akuisisi data lainnya telah banyak bermunculan ditengah masyarakat dengan berbagai fungsi dan manfaat yang diberikannya. Bahkan saat ini ADC telah berhasil menghadirkan berbagai instrument medis, produk – produk video digital, sistem radar dan pendeteksian, dan sejumlah perangkat telekomunikasi terkini lainnya. Penelitian ini pada dasarnya merupakan bagian dari kegiatan utama dalam mengembangkan perangkat data akuisisi yang nantinya akan diaplikasikan untuk sistem radar, meski demikian pembahasan terkait aplikasi radar tidak akan dibahas dalam tulisan ini.

METODA PENELITIAN

Pada tulisan ilmiah ini akan coba dipaparkan mengenai tinjauan pustaka dari beberapa arsitektur ADC yang berkembang, terutama yang mendukung pada teknologi ADC dengan tingkat kecepatan konversi yang tinggi (high-speed ADC). Selain itu percobaan pengukuran terhadap salah satu jenis *high-speed* ADC yang juga sedang dikembangkan akan dibahas pada bagian berikutnya.



Gambar 1. Fungsi transfer ADC Secara Ideal

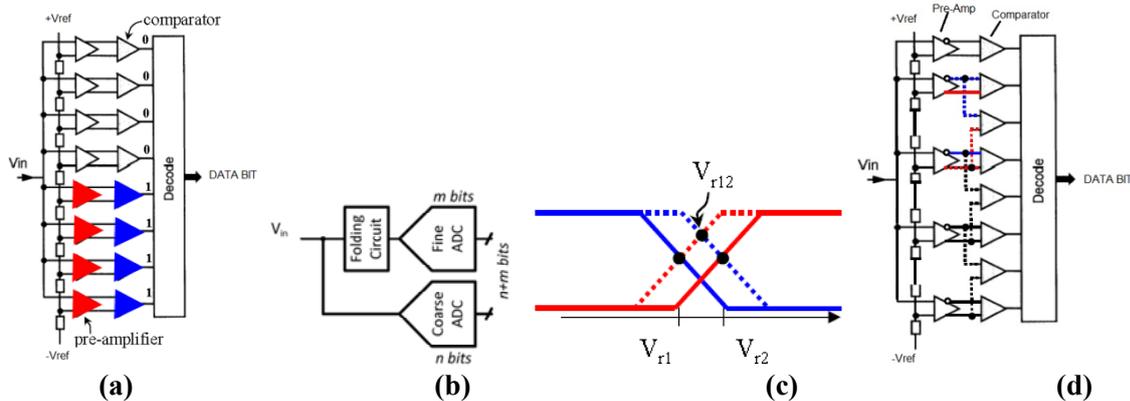
PEMBAHASAN

ADC ideal merepresentasikan semua masukan analog dalam *range* tertentu dengan jumlah kode keluaran digital terbatas. Karena skala analog adalah kontinyu, sedangkan kode digital adalah diskrit, maka terdapat proses kuantisasi yang memperkenalkan *error*. Sebagai peningkatan jumlah kode digital, lebar *step* yang berhubungan menjadi lebih kecil dan fungsi transfer mendekati garis lurus ideal seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1. Gambar ini menunjukkan bahwa setiap kode digital mewakili sebagian kecil dari total *range* masukan analog. *Step* didesain untuk mempunyai transisi seperti titik tengah dari setiap *step* yang berhubungan ke titik pada garis ideal (garis lurus). Lebar 1 *step* didefinisikan sebagai 1 LSB (*Least Significant Bit*). LSB sering digunakan sebagai unit referensi untuk kuantitas lainnya dalam spesifikasi dan mengukur resolusi dari konverter sejak dijelaskan dengan bilangan pembagi atau unit dari *full analog range*. 1/2 LSB merepresentasikan kuantitas analog sesuai untuk *one-half* dari resolusi analog. Resolusi ADC dinyatakan dengan bilangan bit dalam kode keluaran digital.

ARSITEKTUR HIGH-SPEED ADC

Flash ADC

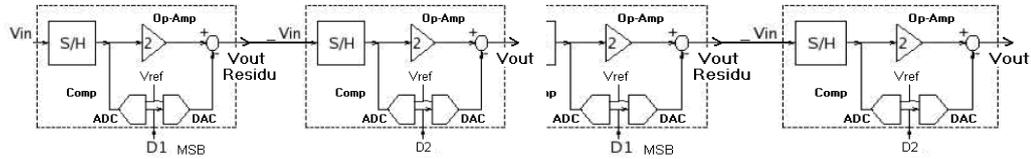
Flash ADC atau biasa disebut sebagai *parallel ADC*, merupakan jenis arsitektur ADC yang dibangun oleh susunan paralel dari sejumlah komparator berkecepatan tinggi. Biasanya, untuk setiap N-bit flash ADC dibangun oleh 2^N resistor, 2^N pre-amp dan 2^N-1 komparator, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.a. Bentuk arsitektur seperti ini memungkinkan sejumlah pembagi tegangan berjenjang memberikan tegangan referensi bagi setiap komparator, sehingga setiap komparator akan menghasilkan luaran 1 LSB lebih tinggi dibandingkan luaran komparator berikutnya atau di bawahnya. Pada prakteknya, luaran komparator dikondisikan terlebih dahulu oleh sebuah encoder sebelum dirilis sebagai data luaran digital. ADC ini mengkonversi sample dalam satu siklus untuk setiap sinyal masukan yang diberikan dengan analogi mirip termometer, dimana setiap komparator yang mendapat masukan sinyal analog lebih besar dari tegangan referensinya akan menghasilkan luaran logika 1, sedangkan yang lainnya logika 0. Akibatnya delay yang dihasilkan berasal dari komparator bertingkat saja. Meskipun demikian, akan dibutuhkan jumlah komparator yang lebih banyak untuk resolusi ADC yang lebih tinggi, yang berakibat tingginya daya yang diperlukan serta meningkatnya delay konversi.



Gambar 2. (a) Struktur Flash ADC, (b) Folding ADC, (c) Penambahan Titik Referensi dengan Folding ADC, (d) Skema Folding ADC dengan Interpolasi

Untuk mengurangi disipasi daya pada flash ADC, maka konstruksi susunan komparator yang terpasang penuh secara paralel dapat dihindari dengan teknik folding. Folding adalah teknik dimana keputusan logika dilakukan dengan kombinasi kuantisasi kasar (n) dan halus (m), sehingga resolusi ADC menjadi $n + m$, seperti terlihat pada gambar 2.b. Untuk melakukan kuantisasi secara halus, maka pada bagian fine sub-ADC didahului rangkaian analog folding. Salah satu bentuk analog folding adalah menempatkan skema interpolasi yang memaksakan bentuknya referensi baru diantara dua buah level referensi. Sehingga jika sebelumnya dua buah referensi untuk dua komparator, yang diperlihatkan pada gambar 2.c., berada pada titik V_{r1} dan V_{r2} , maka dengan skema rangkaian interpolasi, seperti pada gambar 2.d., bertambah atau disisipkan diantara keduanya sebagai V_{r12} . Skema ini dapat

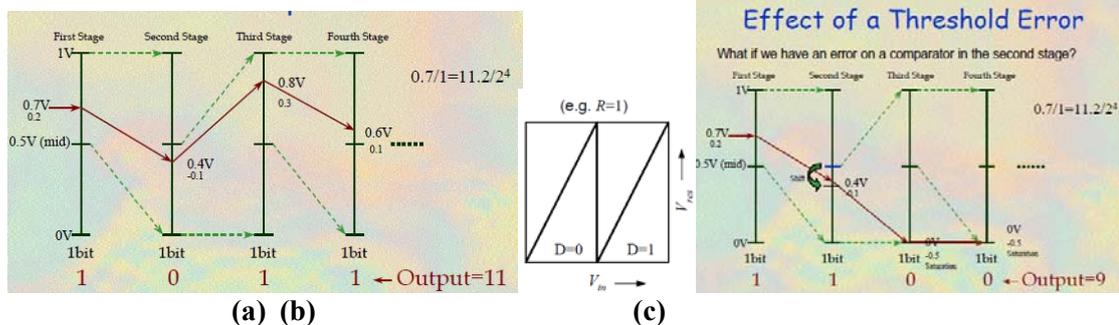
mengurangi jumlah pre-amp pada flash ADC sebanyak hampir dua kali lipat, namun tetap membatasi resolusi bit luarnya.



Gambar 3. Pipeline ADC dengan 4 Tahapan

Pipeline ADC

Untuk mengurangi jumlah komparator lebih signifikan dapat dilakukan dengan menggunakan arsitektur pipeline ADC. Ide dasarnya adalah dengan meneruskan proses penghalusan dari *sub-ranging* ADC yaitu dengan mengulang proses pada *sub-ranging* hingga beberapa tahapan. Satu tahapan *sub-ranging* ADC adalah satu proses yang terdiri dari ADC, DAC (digital to analog converter) dan komparasi terhadap tegangan asli. Pada gambar 3., diperlihatkan contoh konstruksi pipeline ADC dengan 4 tahapan *sub-ranging* ADC yang secara keseluruhan menghasilkan 4 bit data. Sedangkan langkah kerja pipeline ADC 1 bit/stage dengan 4 tahapan diperlihatkan seperti pada gambar 4.a.



Gambar 4. (a) Proses pipeline ADC 1 Bit/stage untuk 4 tahapan, (b) Fungsi transfer dari pipeline ADC 1 bit/stage, (c) error yang terjadi pada salah satu tahapan pipeline ADC 1 bit/stage

Tegangan yang masuk pada suatu tahapan akan menghasilkan luaran analog dan digital dengan nilai tegangan luaran analog dihasilkan seperti pada persamaan (1-1) dan (1-2) dibawah, perhatikan juga fungsi transfer yang menjelaskan luaran digital dan tegangan residu untuk proses selanjutnya dari pipeline ADC 1bit/stage ditunjukkan oleh gambar 4.b.

$$V_{out} = 2V_{in} - V_{ref}, V_{in} > V_{ref} \quad (1-1)$$

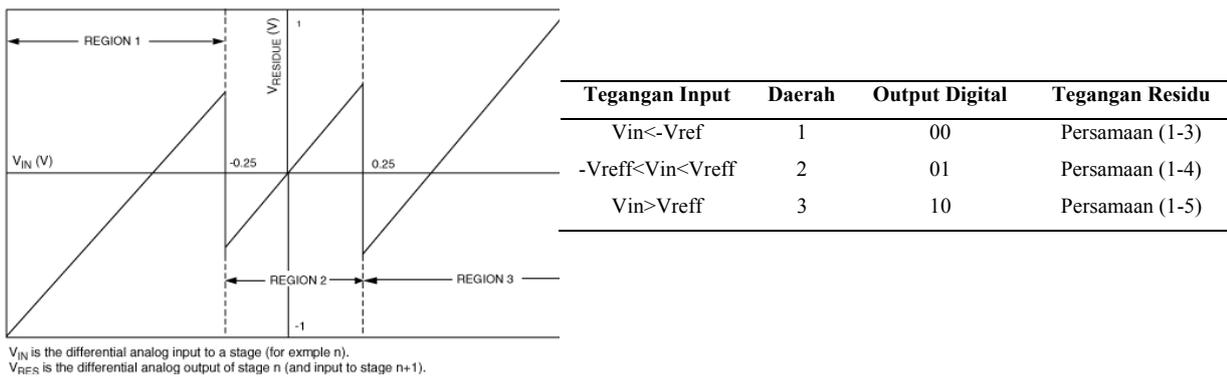
$$V_{out} = 2V_{in} + V_{ref}, V_{in} < V_{ref} \quad (1-2)$$

Untuk luaran digital dihasilkan dengan melihat tegangan masuk, apabila tegangan masuk lebih besar dari tegangan komparator maka dihasilkan bit luaran 1 sebaliknya 0 apabila tegangan masuk lebih kecil dari tegangan komparator. Tegangan selisih (V_{residu} atau V_{out}) didapat dengan mengurangi sinyal input analog dan sinyal yang telah terkuantisasi melalui DAC. Kemudian tegangan selisih tersebut diperkuat dan dirambatkan ke tahapan berikutnya. Pada setiap clock, setiap tahapan yang terlewati mengubah input yang tersampel dengan akurasi yang lebih baik.

Pertama-tama tegangan masukan yang tersampling adalah 0.7 V. Karena nilai tegangan masuk lebih besar dari tegangan referensi komparator maka digunakan persamaan 1-1, sehingga dihasilkan tegangan luaran 0.4 V dan pada sisi output digital dihasilkan bit luaran 1. Kemudian pada tahap kedua tegangan masuk adalah 0.4, dan karena nilai tegangan masuk tersebut lebih kecil dari tegangan referensi komparator maka digunakan persamaan 1-2, sehingga dihasilkan tegangan luaran 0.8 V. Karena batas atas adalah +1V, dengan demikian nilai yg diperhitungkan adalah tegangan offset dari 0.4 V terhadap tegangan referensi komparator, yaitu -0.1V. Oleh sebab itu digunakanlah persamaan 1-2, sehingga dihasilkan tegangan luaran 0.8V dan bit luaran 0. Selanjutnya nilai yang masuk pada tahap ketiga menjadi 0.8 V. Seperti proses sebelumnya, karena nilai tegangan masuk lebih besar dari tegangan referensi komparator maka digunakan persamaan 1-1, sehingga dihasilkan nilai tegangan luaran 0.6 dan bit luaran 1. Dengan demikian apabila diurutkan bit luaran dari tahap pertama hingga terakhir dihasilkan bit 1011_2 yang merupakan nilai hampiran dari nilai tegangan 0.7V. Apabila 1011_2 diubah

menjadi nilai desimal didapatkan 11 yang apabila dinormalisasi nilainya $11/2^4 = 0.6875V$. Untuk mendapatkan hampiran yang semakin baik maka diperlukan tahapan yang semakin banyak.

Untuk menghasilkan resolusi ADC sebesar 4 bit hanya diperlukan 4 komparator. Tetapi perlu diperhatikan walaupun dapat mengurangi jumlah komparator secara signifikan, akan tetapi masih terdapat kekurangan dari skema pipeline 1bit/stage ini, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.c. Dalam beberapa literatur skema 1 bit/stage disebut juga arsitektur ripple ADC atau serial ADC. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tahapan kedua memiliki nilai tegangan komparator yang bergeser akibat sifat tidak linier dari rangkaian elektronika. Kesalahan ini dapat mengakibatkan perambatan keasalahan pada tahapan selanjutnya. Untuk itu pada arsitektur ini perlu menggunakan suatu metode koreksi error. Metode yang digunakan yaitu skema 1.5bit/stage. Adapun cara kerjanya mengikuti fungsi transfer seperti pada pada gambar 5.



Gambar 5. Fungsi Transfer dari Pipeline ADC 1.5bit/stage

Tegangan yang masuk dikodekan sesuai dengan daerah yang telah terbagi, kemudian tegangan tersebut dikodekan menjadi 00, 01 atau 10 dan dikeluarkan melalui sisi digital output. Sementara itu pada sisi analog tegangan residu diteruskan ke tahapan selanjutnya dengan nilai yang bersesuaian dengan daerahnya, dan mengikutisalah satu dari tiga persamaan berikut:

$$V_{out} = 2(V_{in} + V_{reff+}), V_{in} < V_{reff-} \quad (1-3)$$

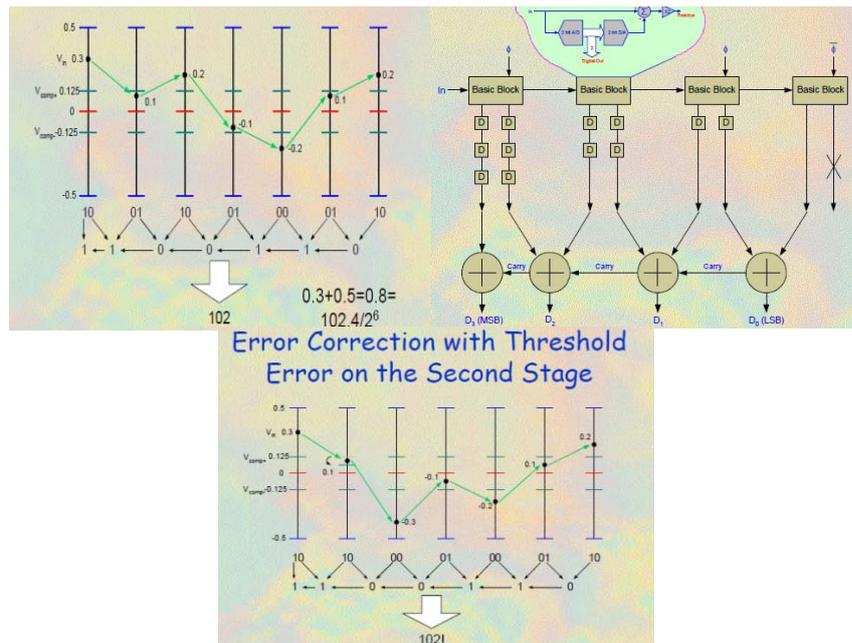
$$V_{out} = 2(V_{in}), V_{reff-} < V_{in} < V_{reff+} \quad (1-4)$$

$$V_{out} = 2(V_{in} + V_{reff-}), V_{in} > V_{reff+} \quad (1-5)$$

Untuk menghindari overrange pada tegangan output, tegangan input dihitung secara offset, yaitu dengan cara mengurangi tegangan input dengan tegangan komparator atas.

Perhatikan gambar 5. Seperti pada skema 1 bit/stage, misalkan tegangan masuk pada tahap pertama bernilai 0.8 V, karena tegangan masuk lebih besar dibandingkan range tahapan maka terlebih dahulu disesuaikan dengan memotong (*truncate*) sebesar range maksimal 0.5V sehingga tegangan masuk pada tahapan pertama adalah 0.3V. Pada tahapan pertama ini juga tegangan masuk lebih besar dibandingkan tegangan referensi komparator atas, maka nilai bit luaran yang dihasilkan adalah 10 dan tegangan residu yang dihasilkan adalah 0.1V, yang diperoleh dari persamaan (1-5) dengan sebelumnya menghitung tegangan offsetnya terhadap referensi komparator 0.125V untuk menghindari tegangan output menjadi overrange. Kemudian dengan proses yang sama pada tahapan kedua nilai tegangan masuk adalah 0.1V. Karena nilai tegangan masuk diantara dua tegangan komparator maka dihasilkan bit luaran 01 dan dihasilkan tegangan residu $2(0.1) = 0.2V$ sesuai persamaan (1-4). Seperti pada proses sebelumnya tegangan masuk 0.2 V dengan menggunakan persamaan (1-4) menghasilkan 0.1V sebagai tegangan luaran dan bit 01 sebagai bit luaran. Proses seperti ini selanjutnya dapat dilihat seperti pada gambar 6.a, hingga tahapan ke-6.

Kemudian pada sisi output digital, bit yang dihasilkan masuk ke buffer. Semakin mendekati akhir proses (tahapan terakhir) maka buffer semakin pendek, sebaliknya semakin mendekati awal proses (tahapan awal) maka semakin panjang buffer. Fungsi dari buffer ini adalah sebagai penyalaras rangkaian adder/shift register sehingga bit yang dihasilkan pada akhir proses dapat keluar secara serentak.

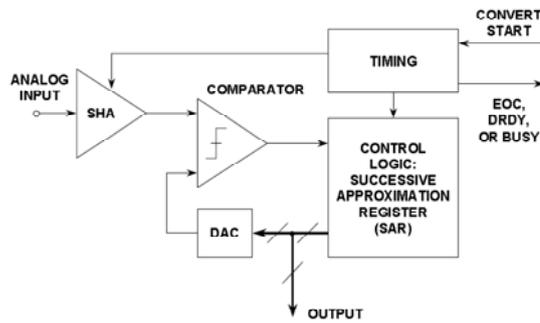


Gambar 6.(a) Proses pada Pipeline ADC 1.5bit/stage, (b) Rangkaian Koreksi error pada Pipeline 1.5bit/stage (c) Koreksi error pada Pipeline ADC 1.5 bit/stage

Setelah melalui buffer yang bersesuaian kemudian bit-bit tersebut memasuki rangkaian adder dan shift register yang bertujuan menyambungkan bit-bit tersebut, seperti yang diperlihatkan pada gambar 6.b. Nilai bit yang dihasilkan setiap tahap dijumlahkan menggunakan rangkaian adder dan shift register dengan cara menjumlah dan geserkan bit-bit hasil luaran setiap tahapan, atau secara sederhananya menjumlahkan bit kiri (LSB) pada suatu tahapan dengan bit kanan (MSB) tahapan sebelumnya kemudian menggunakan tahapan setelahnya sebagai carry. Proses ini dimaksudkan sebagai blok koreksi error. Pada akhirnya nilai bit yang telah melalui blok koreksi error adalah nilai hampiran yang diperlihatkan pada gambar 6.c. Nilai yang dihasilkan pada ADC adalah 1100110_2 yang dalam desimal adalah 54, dan kemudian dinormalisasi dengan $2^{\text{komparator}}$ sehingga menjadi $102/2 = 0.796875$, atau yang merupakan hampiran dari 0.8. Pada gambar 6.c juga terlihat, kesalahan yang terjadi pada tahapan kedua dengan nilai tegangan komparator atas menjadi turun dan menyebabkan nilai bit luaran pada tahapan kedua salah. Namun demikian meskipun terdapat kesalahan pada salah satu tahap, tetap saja nilai akhir luaran setelah melalui blok koreksi menjadi benar.

Successive Approximation ADC

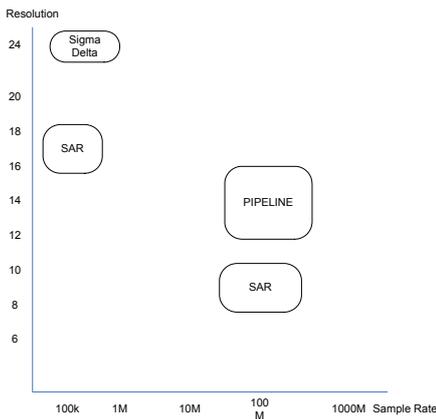
Successive approximation ADC, adalah jenis arsitektur ADC yang lebih sedikit memanfaatkan komparator, dengan arsitektur tipikal dapat dilihat seperti pada gambar 7. Proses kerja sederhana SAR ADC berlangsung setelah diberikan sinyal start, dimana konversi dimulai dengan memberikan kombinasi 1000 0000 pada successive approximation register. Jika ternyata kombinasi ini menghasilkan tegangan 5 Volt pada luaran DAC, sedangkan tegangan masukan analog lebih besar, yaitu misalnya adalah 6,75 Volt, maka MSB berikutnya berubah menjadi logika 1, dan kombinasi sekarang menjadi 1100 0000. Jika dengan kombinasi tersebut dihasilkan tegangan luaran DAC 7 Volt, yang berarti lebih besar dari tegangan analog masukan 6,75 V, maka kombinasi berubah menjadi 1010 0000. Selanjutnya jika dengan kombinasi ini tegangan luaran DAC menjadi 6,25 Volt, maka kombinasi menjadi 1011 0000, demikian seterusnya hingga ditemukan kombinasi yang mengakibatkan luaran DAC mencapai tegangan 6,75 Volt.



Gambar 7. Arsitektur Successive approximation ADC

4. Perbandingan Arsitektur ADC

Berdasarkan tinjauan arsitektur ADC yang berkembang selama ini, dapat kita lihat bahwa *sigma-delta* dan SAR merupakan komponen ADC yang beresolusi tinggi dengan *sampling-rate* yang rendah, sebaliknya untuk resolusi yang lebih rendah namun memiliki *sampling-rate* yang tinggi ada pada jenis *pipeline* dan *flash* ADC, hal ini dapat kita lihat seperti pada ilustrasi gambar 8. Gambaran ini juga terlihat sejalan dengan hasil dari pengamatan sejumlah komponen ADC yang beredar di pasaran saat ini, terutama yang diproduksi oleh beberapa produsen besar di bidang komponen elektronika, seperti yang diperlihatkan pada tabel 1.



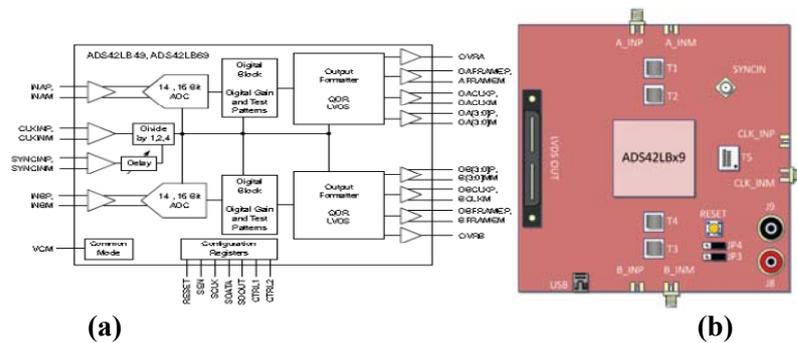
Tabel 1. Komponen ADC yang Beredar di Pasaran

Texas Instrument			
Component	Resolution	Sample Rate	Architecture
ADS1256	24	30 KSPS	Sigma Delta
ADS8881	18	1 MSPS	SAR
ADS42LB69	16	250 MSPS	Pipeline
TLC5540	8	40 MSPS	Flash
Analog Device			
Component	Resolution	Sample Rate	Architecture
AD9642	14	210 MSPS	Pipeline
AD7989	18	100 KSPS	SAR
AD9060	10	75 MSPS	Flash
AD7764	24	312 KSPS	Sigma Delta
Maxim			
Component	Resolution	Sample Rate	Architecture
MAX1437B	12	50 MSPS	Sigma Delta
MAX106	8	600 MSPS	SAR
MAX11168	16	500 KSPS	Pipeline
MAX11040K	24	3.072 KSPS	Flash

Gambar 8. Resolusi vs Sample Rate untuk Setiap Arsitektur ADC

PEMBAHASAN

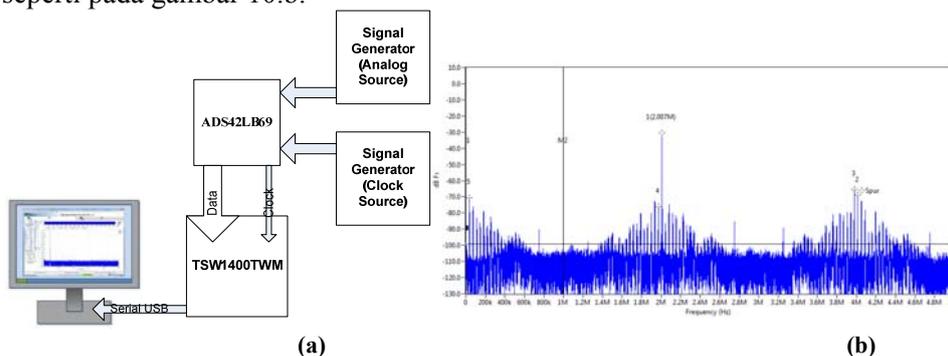
ADS42LB49/69 merupakan *pipeline* ADC dua kanal berkecepatan tinggi yaitu 250 MSPS (Mega Sample Per Second) yang memiliki resolusi 14-16 bit, serta mendukung luaran antar muka berupa DDR ataupun LVDS, dan bekerja dengan catu daya maksimum 3,3 V. Diagram blok dari fungsi-fungsi yang membangun komponen ini dapat dilihat seperti pada gambar 9.a. Sedangkan modul lengkap pada papan PCB dari ADC ini dirilis oleh Texas Instrument seperti pada gambar 9.b.



Gambar 9. (a) Diagram blok fungsi ADS42LB49/69, (b) Modul ADS4269 pada Papan PCB

Untuk dapat mengoperasikan ADC ini, maka diperlukan pengaturan pada bagian *configuration register*. Pengaturan dapat dilakukan melalui antar muka serial dengan melakukan pemrograman berbantuan microcontroller yang sesuai. ADC ini memiliki set register internal yang dapat diakses oleh antar muka serial yang dibentuk oleh SEN (Serial Interface Enable), SCLK (Serial Interface Clock), SDATA (Serial Interface Data) dan SDOOUT (Serial Interface Data output) pin. Pergeseran Serial bit ke dalam perangkat diaktifkan ketika SEN rendah. Serial Data SDATA yang terkunci di setiap SCLK sisi kenaikan saat SEN aktif (rendah). Data serial dimuat ke register pada setiap 16 SCLK sisi kenaikan, pada saat SEN rendah. Data dapat dimuat dalam kelipatan 16-bit, yaitu dalam pulsa SEN tunggal aktif. Antarmuka dapat bekerja dengan frekuensi SCLK dari 20MHz ke kecepatan yang sangat rendah (dari beberapa hertz), dan juga untuk SCLK non-50% dari siklus. Selain itu, perangkat ini memiliki dua buah *bidirectional pin parallel* (CTRL1 dan CTRL2). Secara default, pin ini bertindak sebagai pin untuk mengontrol mode *power-down*.

Pada penelitian ini, modul ADC pada papan PCB dibuat berdasarkan referensi skema rangkaian dari pabrikan, dan untuk dapat mengetahui unjuk kerja dari modul tersebut maka diperlukan modul tambahan yang diproduksi oleh Texas Instrument, yaitu TSW1400EVM. TSW1400EVM dalam hal ini bertindak untuk mengambil data sample luaran ADC agar bisa ditampilkan pada personal computer melalui koneksi serial USB. Adapun konfigurasi pengukurannya dapat dilihat seperti pada gambar 10.a. Selanjutnya dengan berbantuan perangkat lunak HSDC Pro juga dari Texas Instrument visualisasi sinyal tersampel dalam domain frekuensi dapat ditampilkan, seperti pada gambar 10.b.



Gambar 10. (a) Diagram Blok Pengukuran Modul ADS42LB69, (b) Tampilan Sinyal Tersampel dalam Domain Frekuensi

Percobaan ini menggunakan sinyal 2 MHz berlevel 1 Vpp yang berasal sinyal generator (analog source), yang disampel oleh sinyal 10 MHz berlevel -10 dBm. Hasilnya diperlihatkan terlihat spectrum utama pada 2 Mhz berlevel -30 dBFs yang diikuti kelipatan 2, yaitu pada 4 MHz, dengan perbedaan 40 dB lebih kecil.

KESIMPULAN

Untuk keperluan aplikasi yang menuntut resolusi data yang tinggi namun dengan sample rate yang rendah maka dapat digunakan *sigma-delta* dan SAR ADC, sedangkan untuk mendukung aplikasi dengan laju data yang tinggi namun resolusinya rendah dapat digunakan jenis *pipeline* dan *flash* ADC.

Pada penelitian ini juga telah dilakukan pengujian kinerja pipeline ADC, yaitu jenis ADS42LB69 dari Texas Instrument. Kinerja ADC memang sudah berjalan dengan baik, akan tetapi perlu dilakukan pengukuran lebih lanjut, untuk mengetahui kinerja optimalnya. Beberapa literature mengisyaratkan penggunaan low pass filter pada masing-masing masukan sinyal (analog maupun clock source), ini untuk menjamin terhindarnya dari efek aliasing akibat komponen frekuensi diluar yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1999. Understanding Data Converters. Texas Instrument. <http://www.hit.bme.hu/~papay/edu/ Acrobat/DataConv.pdf>.
- B. Murmann. ADC Performance Survey 1997-2011, [Online]. Available: <http://www.stanford.edu/~murmann/adcsurvey.html>
- ADS42LB49/69 Dual-Channel, 14- and 16-Bit. 250-MSPS Analog-to-Digital Converters, 2013. Texas Instrument, SLAS904D.
- ADS42LBx9EVM User's Guide. 2013. Texas Instrument, SLAS904D. SLAU465.
- R.J. van de Plassche, 2003, CMOS Integrated Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Converters, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers,
- Walt Kester. Nov. 7, 1994. Drive Circuitry is Critical to High-Speed Sampling ADCs. Electronic Design Special Analog Issue.

DESAIN SEPEDA STATIS DENGAN GENERATOR MAGNET PERMANEN SEBAGAI PENGHASIL ENERGI LISTRIK YANG RAMAH LINGKUNGAN

Hasyim Asy'ari¹, Muhammad Alfatih Hendrawan², Muhammad Wasi Al Hakim³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

asy_98ari@yahoo.com; Hasyim.Asyari@ums.ac.id

ABSTRACT

Depletion of lead fuels fossil effect to price of oil in the world increase, that is followed by the increase in price of electric basic, the increase in price of electric start at 1 May 2014. In 2014 the total increase in price of electricity by 13%. The demand of electric is increase every year, it must be followed by power generation provided by PLN, in order to it can serve, so PLN must add power generation. Both of conventional power generation and renewable energi. Photovoltaic, wind energi, geothermal are kind of renewable energi. The objective of research is design an exercise bike with a permanent magnet generator to produce electrical energi and determine the capacity of the electrical energi that can produce. Design static bike producing electrical energi by connecting the rear wheel static bike with a permanent magnet generator, the ratio between static bike rear wheel with rotor generator pulley was 10: 1. the rotor of permanent magnet generator using 8 units that is a size of 2 cm x 7 cm x 1 cm. Stator using the email wire measuring 0.8 mm. that is the number of windings 180 It also uses wending holder by 2 pieces with a size of 2 cm x 3 cm x 1 cm. This static bike has been integrated with a permanent magnet generator. The workings of the electric energi generating of static bike is the bike rear wheel of push the static bike will spin, the wheels of the rotor generator spinning effect. It has been associated with the use of the belt. Rotor rotational speed is determined by the speed of pedaling a bicycle. The results showed the minimum speed is 1500 RPM and a maximum speed of 3800 RPM. Load of the system in the form of shiyoku light is 3 Watt DC and DC Fan, at the time rotation of the rotor is 1500 generator produces a voltage 16.4 volts and the current is 12:33 A or 5.4 watts at that rate of speed equivalent static bike 18 Km / h, and for the maximum speed the 3800 round of the generator can generate a voltage of 21.4 volts while the current is 0:47 A 10.2 watt, static bicycles rate indicates the speed 47 Km / h

Keywords: Sepeda Statis, Generator Magnet Permanen, Energi Alternatif

PENDAHULUAN

Secara umum kegiatan olahraga yang dilakukan oleh masyarakat untuk membakar lemak pada tubuh yang bisa menimbulkan banyak penyakit. Kegiatan olahraga yang dilakukan oleh masyarakat antara lain jogging, sepak bola, dan penggunaan sepeda statis dan lain-lain, tujuan berolahraga adalah sebagai media pembakar lemak dengan tujuan badan terjaga pada kondisi fit dan sehat. Sekarang ini pemanfaatan sepeda statis baru sebatas membakar lemak pada tubuh, jika dilihat lebih detail pada saat proses penggunaan sepeda statis ada potensi lain yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik, yaitu dengan penggantian roda sepeda statis dengan generator. Penambahan atau penggantian roda sepeda statis akan memberi multi fungsi yaitu selain digunakan untuk membakar lemak (*original function*) juga dapat digunakan penghasil energi listrik. Pemanfaatan sepeda statis dengan dynamo ampere dengan rpm 1500 rpm mampu menghasilkan energi listrik 68,75 – 112,66 watt, selama satu minggu energi listrik yang dihasilkan 15,2375 kWh, (1) (Kurniawan, 2008).

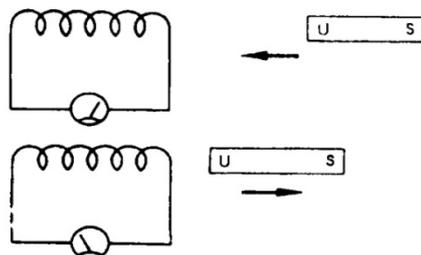
Pemanfaatan dynamo ampere memiliki kekurangan yaitu dibutuhkan external power untuk dynamo ampere sebagai penghasil medan magnet agar saat rotor diputar mampu menghasilkan energy listrik, untuk itu perlu dikaji pemanfaatan generator magnet permanen pada sepeda statis agar energy yang dihasilkan lebih optimal, karena generator magnet permanen tidak membutuhkan external power, hal ini mengandung makna bahwa semua energy listrik yang dihasilkan dapat disimpan ke storage atau tempat penyimpanan yaitu batere atau accumulator, (2) (Asy'ari, 2012)

Rancang bangun *uninterruptible power supply* (UPS) dengan energi *hybrid*. Penelitian ini memanfaatkan sepeda statis dan matahari sebagai sumber energi listrik untuk UPS dengan daya 250 watt yang digunakan sebagai energi listrik cadangan untuk computer standar yang digunakan untuk server pada warnet dan kasir pada supermarket. Pada penelitian ini sepeda statis digunakan untuk

menggerakkan generator untuk mengisi accu secara bersama-sama dengan sel surya (Akhmad, 2011).

Rancang bangun sepeda statis penghasil energi listrik yang ergonomis. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Phal dan Beitz*, konsep yang digunakan pada sepeda statis penghasil energi listrik yang ergonomis adalah panjang dimensi 1632.6 mm, lebar 569,5 mm dan tinggi 1315 mm, serta hasil dari perhitungan dan analisis rancangan dapat menghasilkan energi listrik yang dapat disimpan ke dalam sebuah aki kering dengan kapasitas 120 Ah (Febrian, 2010).

Prinsip kerja generator menggunakan prinsip percobaannya Faraday yaitu memutar magnet dalam kumparan atau sebaliknya, ketika magnet digerakkan dalam kumparan maka terjadi perubahan fluks gaya magnet (perubahan arah penyebaran medan magnet) di dalam kumparan dan menembus tegak lurus terhadap kumparan sehingga menyebabkan beda potensial antara ujung-ujung kumparan (yang menimbulkan listrik). Syarat utama untuk menimbulkan beda potensial adalah harus ada perubahan fluks magnetik, jika tidak maka tidak akan timbul listrik. Cara mengubah fluks magnetik adalah menggerakkan magnet dalam kumparan atau sebaliknya dengan energi dari sumber lain, seperti angin dan air yang memutar baling-baling turbin untuk menggerakkan magnet tersebut



Gambar.1. Prinsip Pembangkitan Arus

Seperti terlihat pada gambar 1, pada saat magnet digerakkan dekat kumparan akan timbul gaya elektromagnet pada kumparan. Arah tegangan yang dibangkitkan pada saat magnet bergerak mendekat atau menjauhi kumparan juga berlawanan. Besarnya tegangan yang akan dibangkitkan akan meningkat sesuai dengan meningkatnya gaya magnet dan kecepatan gerak magnet. Selain itu, tegangan yang dibangkitkan juga bertambah besar bila jumlah kumparannya ditambah.

Prinsip kerja generator DC sama dengan generator AC. Namun, pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa cincin belah (komutator). Komutator menyebabkan terjadinya komutasi, peristiwa komutasi merubah arus yang dihasilkan generator menjadi searah. Berdasarkan sumber arus kemagnetan bagi kutub magnet buatan tersebut generator arus searah dapat dibedakan menjadi:

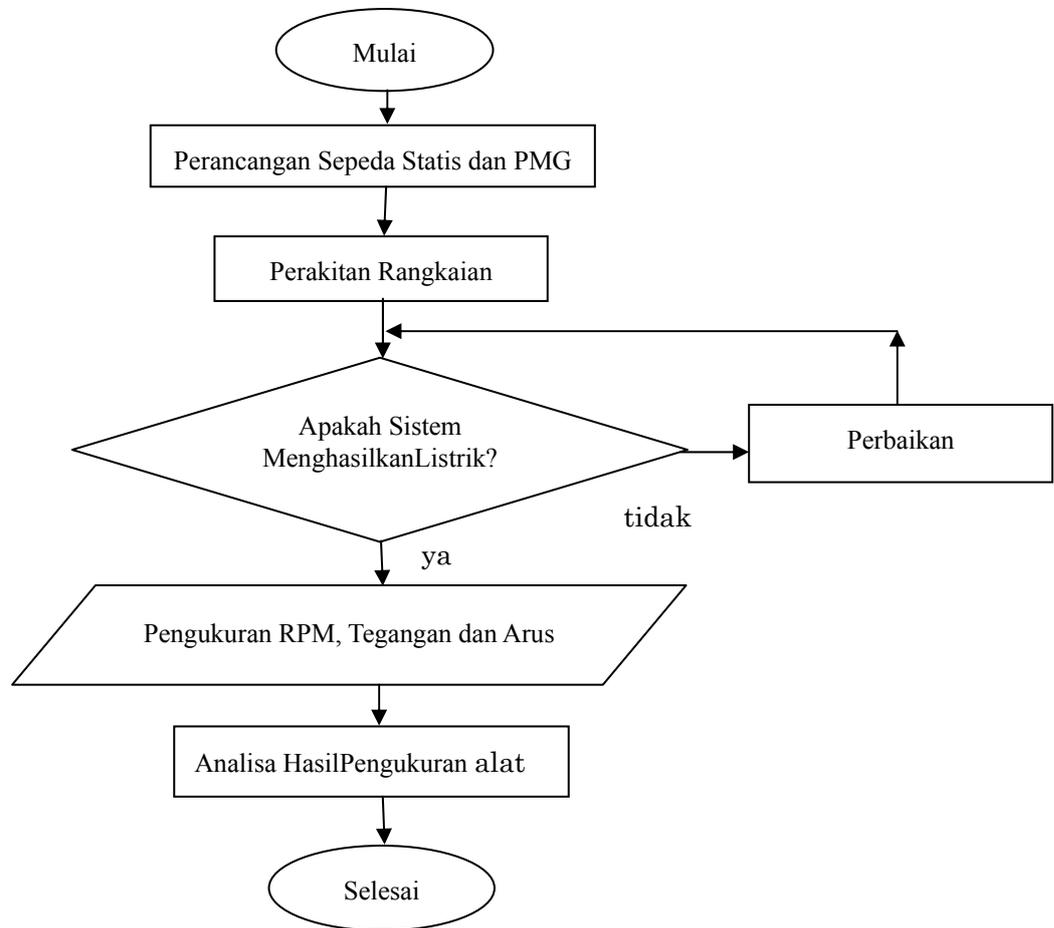
1. Generator dengan penguat terpisah, bila arus kemagnetan diperoleh dari sumber tenaga listrik arus searah di luar generator.
2. Generator dengan penguat sendiri, bila arus kemagnetan bagi kutub-kutub magnet berasal dari generator itu sendiri

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan Penelitian
 - a. Magnet permanen sebanyak 8 buah dengan spesifikasi 2 cm x 7 cm x 1 cm
 - b. Laker dan As berukuran 20 mm
 - c. Baut baja sebanyak 12 buah
 - d. Kawat email 0.8 mm 180 belitan
 - e. 2 buah dudukan Spul 2 cm x 3 cm x 1 cm
 - f. 2 buah papan PCB dengan ukuran 25 cm x 27 cm x 1 cm
 - g. 2 buah piringan besi untuk dudukan magnet berdiameter 17 cm
 - h. Baut, Poli, Kaki besi siku (4x4) 25 cm 2 buah
 - i. Sepeda dengan variable speed, Rangka besi.
2. Peralatan Utama
 - a) Multimeter digital untuk mengukur tegangan.
 - b) Tachometer untuk mengukur kecepatan putaran motor.

- c) Generator magnet permanen termodifikasi sebagai pembangkit listrik saat mengisi ke akumulator.
 - d) Rectifier / diode bridge, Switch / saklar, Akumulator 12 volt 5 Ah.
 - e) Peralatan kunci, Lampu DC merk Shinyoku dengan kapasitas 3 Watt, Fan DC
3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

PEMBAHASAN

Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 1, 2, 3 dan 4.

Tabel 1. Pengujian Sepeda Statis dan Generator Magnet Permanentampa beban.

No	Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan (Km/jam)	Tegangan VDC (Volt)
1	1500	18	11
2	1700	21	12
3	2000	25	15
4	3800	47	20

Tabel 2 Pengujian Sepeda Statis dengan Inverter

No	Kecepatan (RPM)	Kecepatan (Km/jam)	Tegangan Setelah Inverter (Volt)	Indikator Lampu
1	1500	18	175	Redup
2	1700	21	190	Nyala redup
3	2000	25	200	Nyala terang
4	3800	47	225	Nyala terang

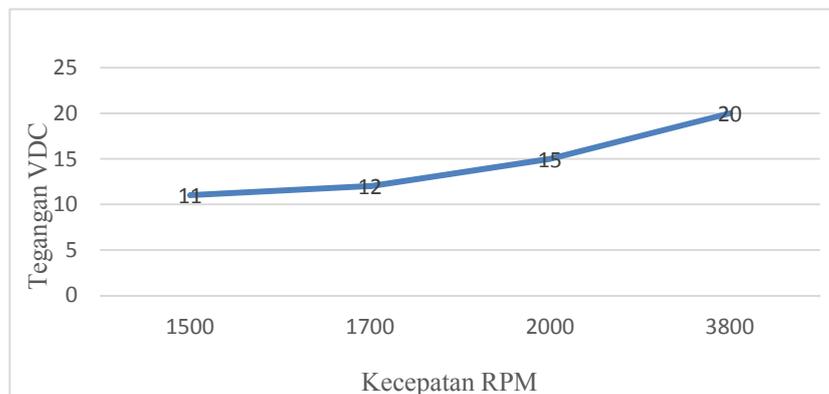
Tabel 3 Pengujian Sepeda Statis dengan Beban Kipas DC 12 V

No	Kecepatan (RPM)	Kecepatan (Km/jam)	Tegangan (VDC)	Arus (A)	Daya (Watt)	Indikator Kipas DC 12 V
1	1500	18	7.2	0.21	1.6	Berputar pelan
2	1700	21	8.2	0.23	1.8	Berputar pelan
3	2000	25	8.3	0.25	2	Berputar sedang
4	3800	47	10.9	0.30	3.2	Berputar kencang

Tabel 4 Pengujian Sepeda Statis dengan Beban Lampu 15 Volt

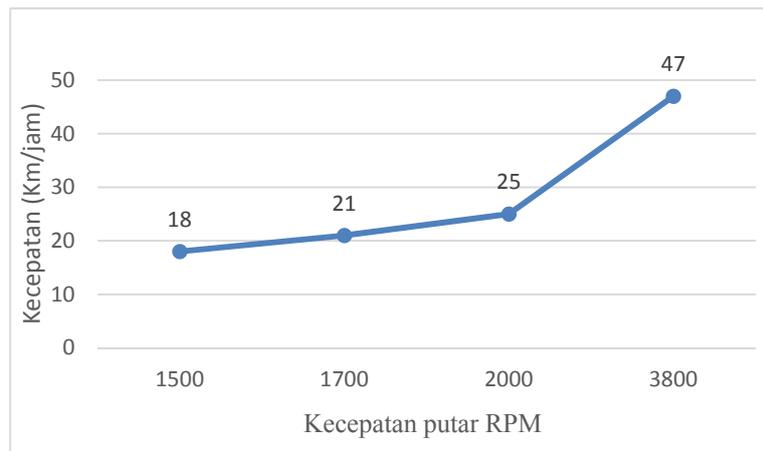
No	Kecepatan (RPM)	Kecepatan (Km/jam)	Tegangan (VDC)	Arus (A)	Daya (Watt)	Indicator lampu 15 Volt DC
1	1500	18	9.2	0.12	1.1	Redup
2	1700	21	10.2	0.15	1.5	Terang
3	2000	25	10.5	0.17	1.7	Terang

Hasil penelitian yang ditunjukkan pada tabel 1 dan gambar 3 dan 4 terlihat tegangan keluaran DC dan kecepatan sepeda Km/jam sebelum diberi beban, ketika kecepatan putar 1500 rpm tegangan yang dihasilkan adalah 11 volt, ketika kecepatan putar 1700 rpm tegangan yang dihasilkan 12 volt, pada kecepatan 2000 rpm tegangan yang dihasilkan adalah 15 volt, kemudian ketika di putaran 3800 RPM menghasilkan tegangan sebesar 20 volt. Ketika kecepatan putar pada 1500 rpm membutuhkan kecepatan kayuhan sepeda 18 Km/jam. Begitu pula dengan 1700 RPM harus mengayuh sepeda dengan kecepatan 21 Km/jam, dan ketika di kecepatan putar 2000 RPM maka kecepatan kayuhan adalah 25 Km/jam. Begitu pula pada kecepatan 3800 RPM membutuhkan kecepatan kayuhan sepeda dengan kecepatan 47 Km/jam. Semakin cepat kayuhan atau semakin cepat putaran RPM maka baik tegangan maupun kecepatannya akan terus bertambah atau terus semakin besar.



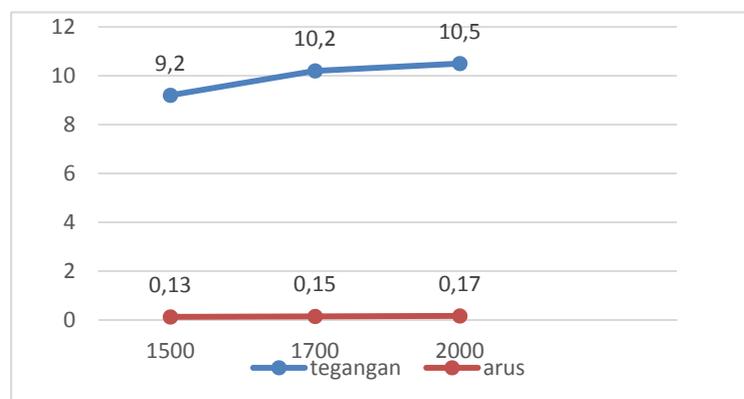
Gambar 3. Hubungan Kecepatan Putar dengan Tegangan Keluaran

Hasil percobaan yang ditunjukkan pada tabel 2 menunjukkan tegangan keluaran dengan kecepatan putar yang langsung dihubungkan ke inverter, saat *output* generator yang disambungkan langsung ke beban pada kecepatan putar 1500 rpm maka tegangan yang keluar dari beban sebesar 157 volt, ketika berada di putaran 1700 rpm maka tegangan yang keluar sebesar 190 volt, saat pada kecepatan putar 2000 rpm tegangan yang dihasilkan 200 volt, dan ketika pada kecepatan putar penuh 3800 rpm tegangan yang keluar dari inverter sebesar 225 volt. Ketika tersambung langsung ke inverter maka hasilnya berbeda apabila diberi beban sebuah akumulator. Pada saat sepeda statik dibebani akumulator maka tegangan yang keluar dari inverter lebih stabil, sedangkan jika disambungkan secara langsung ke inverter maka hasilnya *outputnya* kurang stabil.



Gambar 4. Hubungan Kecepatan Putar dengan Kecepatan Sepeda Statis

Hasil pengujian ketiga yang ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 5, sepeda statis dibebani kipas 12 volt DC. Kecepatan putaran 1500 rpm dengan beban kipas menunjukkan tegangan keluaran adalah 7.2 volt, dan pada saat kecepatan putar berada pada 1700 rpm maka tegangan yang di keluarkan sebesar 8.2 volt, begitu pula ketika kecepatan putar berada di 2000 rpm tegangan yang dikeluarkan adalah 8.3 volt, pada saat berada di putaran maksimal 3800 rpm tegangan yang dikeluarkan adalah 10.9 volt. Arus yang mengalir pada saat dibebani masih kecil, ini dikarenakan penggunaan beban yang juga kecil. Pada saat kipas 12 volt terhubung, sepeda statis dengan kecepatan putar 1500 rpm maka arus yang dihasilkan hanya 0.21 Ampere, sedangkan pada kecepatan putar 1700 rpm hanya menghasilkan arus sebesar 0.23 Ampere, untuk kecepatan putar 2000 rpm arus yang mengalir adalah sebesar 0.25 ampere, dan pada saat kecepatan putar maksimal yaitu 3800 rpm arus yang dialirkan hanya 0.30 ampere.



Gambar 5. Pengaruh Kecepatan Putar terhadap Tegangan Keluaran dan Arus

Pada hasil percobaan keempat yang ditunjukkan pada tabel 4 dan gambar 5, sepeda statis dibebani dengan menggunakan beban lampu DC 15 Volt. Pada kecepatan putar di 1500 rpm maka tegangan yang dikeluarkan adalah 9.2 volt dan arus adalah 0.13 A, ketika pada kecepatan putar 1700 rpm tegangan yang dihasilkan adalah 10.2 volt dan arusnya 0.15 A, dan pada kecepatan putar 2000 rpm tegangan yang dihasilkan adalah 10.5 volt dan arusnya 0.17 A. Semakin tinggi kecepatan putar maka hasil dari tegangan dan arus juga semakin naik, sebaliknya jika kecepatan putar rendah maka tegangan dan arus juga akan rendah atau menurun.

KESIMPULAN

Daya listrik yang dapat dihasilkan minimal adalah 5.4 watt dan maksimalnya adalah 10.2 watt, tegangan minimal yang dihasilkan adalah 16.4 volt dan tegangan maksimalnya adalah 21.4 volt. Ketika generator diberi beban kayuhan akan terasa lebih berat dibandingkan tanpa beban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah membiayai melalui skema Hibah Bersaing sehingga kegiatan penelitian ini bisa terlaksana. Terima kasih juga lembaga penelitian dan pengabdian masyarakat Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membantu demi lancarnya proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Dhanar Yuwono. 2013. *Desain Generator Axial Kecepatan Rendah Dengan Menggunakan Magnet Permanen*. Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Akhmad Z.F, 2011. *Rancang Bangun Uninterruptible Power Suplay dengan Energy Hybrid*. Surabaya
- Anugrah D.Z. dkk. *Pembuatan Sepeda Listrik Bertenaga Surya Sebagai Alat Transportasi Alternatif Masyarakat melalui "Program Kreatifitas Mahasiswa (PKMT)"*. Universitas Gajah Mada, Elektronika, Ensiklopedia. Medan magnet permanen. ilmuku.com
- Febrian, D.K, dkk, 2010. *Rancang Bangun Sepeda Statis Penghasil Energi Listrik yang Ergonomis*. Yogyakarta.
- Hakim, Arief Rahman. 2012. *Desain Generator Magnet Permanen untuk Sepeda Listrik*. Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Irasari, Pudji. *Metode Perancangan Generator Magnet Permanen Berbasis Pada Dimensi Stator Yang Sudah Ada*. Pusat Penelitian Tenaga Listrik Dan Mekatronik, LIPI.
- Ridwan, Abrar. *Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Indonesia.

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS MATAHARI DENGAN PENJEJAK PANAS BERBASIS MESIN STIRLING

Syafriyudin¹, A.A. Putu.Susatriawan²

¹Jurusan Teknik Elektro, ²Jurusan Teknik Mesin IST AKPRIND Yogyakarta,
dien@akprind.ac.id a_agungs@yahoo.com

abstrac

Solar energy is very abundant in the earth, such as in Indonesia as a tropical country. Where sunshine radiating all time, and it can be a source of potential energy to be developed, one example of the utilization of solar energy to generate electricity use a Stirling engine. Heat radiation can be utilized on a Stirling engine, the use of solar thermal in focus using parabolic reflector coated with aluminium foil to reflect the heat to heatdriver, reflectors are used to collect the sun's heat at the focus point on Stirling engine, the heat generated is then used to drive the piston. Stirling engine is already in the coupling with the generator shaft, and when the piston drive the engine shaft generator will also be driven so that it will generate electricity. The result of research is showed that the Stirling engine can drive at temperature 137,4°C, with rotation 200 rpm, for 20 second, and can drive generator and producing a dc voltage 15 volt.

Key words : solar heat, Stirling engine, temperature, dc voltage.

Pendahuluan

Krisis energi global yang diprediksi akan berdampak pada penyediaan energi listrik sebab banyak pembangkit listrik di dunia ini menggunakan bahan bakar fosil. Ada banyak solusi yang ditawarkan khususnya untuk pembangkit energi listrik seperti penggunaan energi nuklir, biomassa, hidrogen, *solar energy*, dan sebagainya. Perkembangan selanjutnya beralih ke sumber-sumber energi yang ramah lingkungan, *renewable*, murah serta mudah didapatkan yaitu *solar energy* atau energi matahari.

Radiasi sinar matahari dapat juga dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik pada mesin Stirling. Caranya adalah dengan memanfaatkan cahaya matahari yang difokuskan menggunakan pemfokus cahaya matahari yang berbentuk seperti parabola yang diberi pemantul (aluminium foil). Cermin tersebut dimanfaatkan untuk mengumpulkan cahaya matahari pada suatu titik fokus pada mesin Stirling. Cahaya matahari yang dikumpulkan akan menghasilkan panas, panas tersebut yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan piston pada mesin Stirling. Mesin Stirling tersebut sebelumnya telah dikopel dengan poros generator. Dengan begitu ketika piston mesin bergerak maka poros generator juga akan bergerak sehingga menghasilkan listrik.

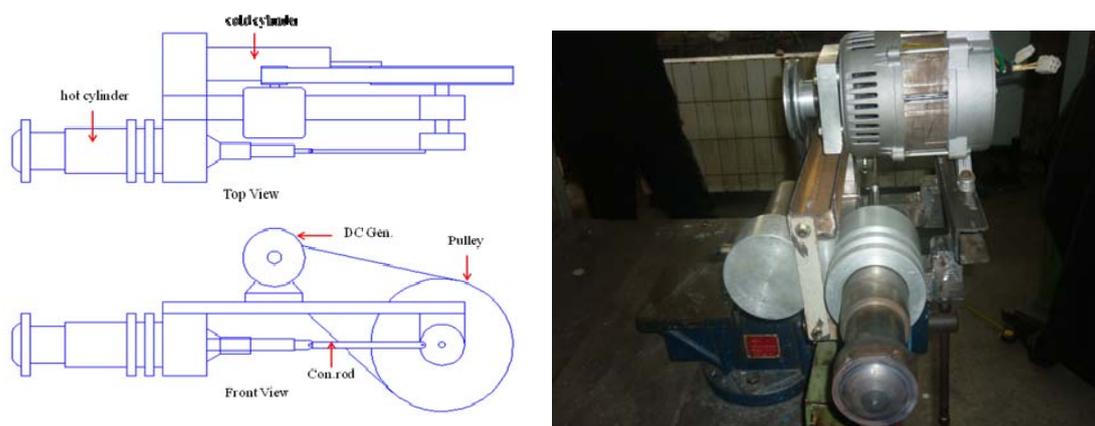
Mesin ini diuji dengan udara dan helium sebagai fluida kerja pada kisaran temperature 700-1000°C dan tekanan 1- 4.5 bar. Output daya dan torsi maksimum yang dihasilkan dari mesin tersebut adalah masing-masing 128.3 W dan 2 Nm, dengan fluida kerja helium pada temperature 1000°C dan tekanan 4 bar. Sementara itu, Kang *et al* membuat dan menguji mesin Stirling dengan silinder daya tunggal maupun gandapan udara pada tekanan atmosfer dengan menggunakan pemanas listrik sebagai sumber panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa torsi maksimum, daya poros, efisiensi termal rem diproduksi pada input pemanas 223.2 W. (Kang S.W., Kuo M.Y., Chen J.Y., Lu W.A., 2010). Kinerja berbagai konfigurasi piston mesin Stirling tipe gamma pada perbedaan suhu rendah dengan tekanan atmosfer udara dipanaskan oleh kompor gas diselidiki. Prototipe mesin memiliki diameter *displacer* 218.5 mm, stroke 80 mm serta diameter piston dan stroke masing-masing 98.5 mm dan 110 mm. Daya maksimum yang dapat dihasilkan adalah 5.05 W pada putaran 69 rpm dan torsi maksimum adalah 0.978 Nm pada putaran 45 rpm (Kwankaomeng S. and Burapatthananon K, 2010). Wasana Saputra, 2008, "Rancangan Bangunan *Solar Tracking System* Untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari Pada *Solar Cell*". Dalam rancangan bangunan sistem pelacak surya ini menggunakan *Op-amp* dan komparator tegangan (*Voltage Comparator*). Yang pertama *Op-Amp* yang dipakai dalam operasi matematik seperti Pejumlah (*Adder*), Pengurang (*Subtractor*), *Integrator*, dan *Differensiator* yang merupakan rangkaian terintegrasi linier yang memakai tegangan catu yang relatif rendah. dan

komparator tegangan (*Voltage Comparator*) yang digunakan sebagai perbandingan tegangan pada salah satu masukan dengan tegangan pada masukan yang lainnya tanpa menggunakan umpan balik negatif. Untuk itu saat ini dalam pemanfaatan energi cahaya matahari pada piranti mesin *stirling* masih bersifat konvensional. Guna memaksimalkan penangkapan energi matahari, mesin *stirling* perlu dikombinasikan dengan teknologi penjejak matahari yang telah dirancang pada penelitian sebelumnya.

Uji unjuk kerja mesin *stirling* tanpa beban diperoleh pada suhu 90°C mesin *start running* dengan kecepatan 180 rpm sedangkan pada uji unjuk kerja mesin *stirling* berbeban pada suhu 98°C mesin *start running* dengan kecepatan 180 rpm. Pada pengambilan data tahap awal didapatkan suhu *heat driver* mesin *stirling* mencapai 128°C sehingga memungkinkan mesin berputar dengan kecepatan diatas 200 rpm. Kecepatan putaran mesin maksimal dicapai pada suhu $86,9^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan putar mencapai 482 rpm untuk kondisi uji unjuk kerja mesin *stirling* tanpa beban sedangkan untuk kondisi uji unjuk kerja mesin *stirling* berbeban kecepatan putar mesin *stirling* dicapai pada suhu 162°C dengan kecepatan putar 238 rpm (Syafriyudin, 2013). Penjejak matahari dapat mendeteksi arah datangnya cahaya matahari yang kemudian dapat memerintahkan mesin *stirling* untuk bergerak mengarah perubahan arah cahaya datang matahari sehingga mesin *stirling* dapat menangkap cahaya matahari lebih maksimal

Pelacak matahari (*Tracking Solar*) adalah perangkat yang mengikuti arah pergerakan matahari yang berputar dari sudut timur ke barat disetiap hari. Fungsi utama dari semua sistem pelacak adalah untuk menyediakan satu atau dua derajat dalam posisi bebasnya dalam suatu gerakan. Pelacak yang digunakan untuk menjaga kolektor *Solar* panel berorientasi langsung menuju pada titik matahari ketika bergerak melalui langit setiap harinya maka dengan menggunakan pelacak matahari meningkatkan jumlah energi matahari yang diterima oleh kolektor energi matahari dan meningkatkan *output* energi dari panas atau listrik yang dihasilkan. Pelacak matahari juga dapat meningkatkan *output* dari sel matahari (*solar cell*) sebesar 20-30% yang akan meningkatkan nilai ekonomi pada proyek *Solar* ini. (Swetansh Mani Shrivastava, 2013).

Dari beberapa *literature*, mesin *stirling* tipe gamma banyak diterapkan untuk aplikasi dengan sumber panas matahari. Prototipe yang akan dibuat mengadopsi dari rancangan mesin *stirling* tipe gamma dengan *twin power piston* (oleh Kang *et al*, 2010). Model ini memiliki daya output yang lebih besar dibanding model *single power piston* untuk kapasitas volume yang sama.



Gambar 1. Model mesin *stirling* gamma

Silinder *displacer* maupun silinder pistonnya dibuat dari pipa *stainless steel* yang ada dipasaran sedangkan *displacer* dan silindernya dibuat dari aluminium untuk meminimalkan beban serta *connecting rodnya* dari *stainless steel*. Mesin *stirling* ini digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik yang berasal dari panas matahari yang dikumpulkan oleh konsentrator parabola yang didesain dengan lapisan aluminium foil untuk mendapatkan panas yang maksimal.

METODE PENELITIAN

Rancangan Reflektor

Tipe kolektor surya yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *concentrating collectors* dengan jenis *point focus*. Tipe ini menggunakan kolektor surya berbentuk parabola dengan reflektor menggunakan stainless steel. Perancangan ini meliputi perancangan fungsional dan perancangan struktural. Perancangan fungsional untuk menentukan fungsi komponen dari reflektor sedangkan perancangan struktural untuk menentukan cara *setting disc* parabola serta bentuk dan tata letak desain stainless steel pada reflektor parabola.

Dalam perancangan ini menggunakan satu set parabola yang berdiameter 3 m, yang terdiri dari 18 bagian yang masih belum di *set* menjadi satu. Masing-masing lembaran tersebut berukuran $\pm 150,12$ cm. Pada dasarnya bagian reflektor terdiri dari dua jenis yang memiliki fungsi berbeda yaitu parabola sebagai reflektor atau sebagai tempat refleksi radiasi cahaya matahari dan aluminium foil sebagai alat refleksi radiasi cahaya matahari.

Seperti terlihat pada gambar 2 kedudukan mesin stirling tepat berada di tengah titik fokus pada parabola. Sehingga titik panas tertinggi yang di dapat oleh heat driver dapat maksimal.



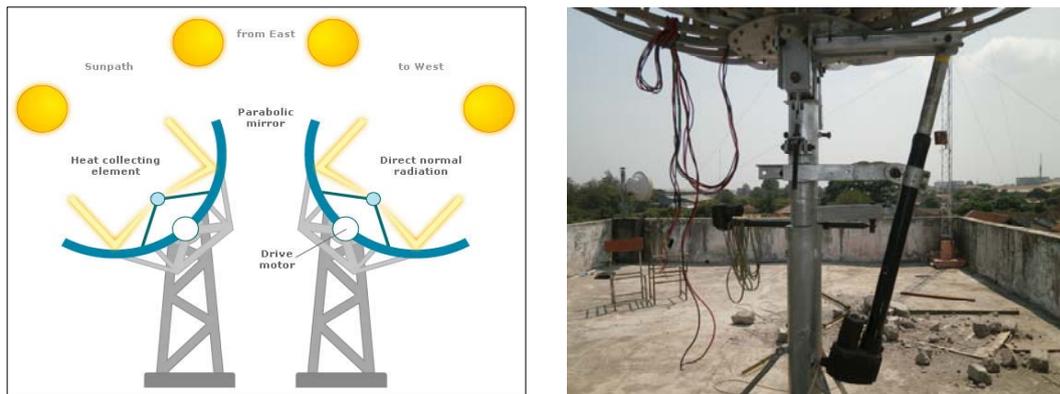
Gambar 2 Desain konsentrator parabola dan mesin stirling

Tracking solar.

Passive tracking (pelacak pasif) didasarkan pada ekspansi termal. Biasanya pelacak ini terdiri dari beberapa *actuator* yang bekerja melawan satu sama lainnya dengan pencahayaan yang sama dan seimbang. Dengan pencahayaan differensial *actuator*, memberikan *unbalanced force* yang digunakan untuk orientasi aparatur dalam arah seperti terdapatnya pencahayaan pada *actuator* dan keseimbangan pulihnya *force*. *Passive* penjejak matahari, dibandingkan dengan *active tracking*, yang kurang kompleks, namun bekerja dalam efisiensi yang rendah dan pada saat titik suhu rendah akan berhenti bekerja. Pada pengujian yang telah ditunjukkan bahwa *passive tracking* merupakan sistem berbasis elektrik dalam kemampuan kerjanya.

Pada desain *passive tracking* yang digunakan adalah menggabungkan dua *actuator horizontal* dan *actuator vertikal* yang diposisikan pada bidang vertikal dari bingkai parabola pada kedua sisi sumbu *horizontal* pusat. posisi panas tertinggi yang yang di tangkap oleh heat driver pada mesin stirling akan memberikan sinyal pada motor *actuator* untuk bergerak pada posisi gerak vertikal dan horizontal, dengan memberikan titik strip jauh dari matahari yang menyerap radiasi matahari dengan strip teduh lainnya dengan cara yang mirip diperlihatkan pada ilustrasi Gambar 3 untuk mencegah osilasi atau terlalu lamban merespon, yang memiliki sistem redaman terkait dengan pelacak matahari.

Pada ilustrasi gambar diatas dari defleksi *strip bimetal* akibat efek radiasi termal (dalam mm) dan waktu yang dibutuhkan untuk pelacak matahari mengorientasikan pergerakan dari arah *west-east*. Dengan adanya rancangan pelacak matahari yang dapat memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi sel matahari atau *solar cell* hingga 23%.



Gambar 3. *Passive tracking*

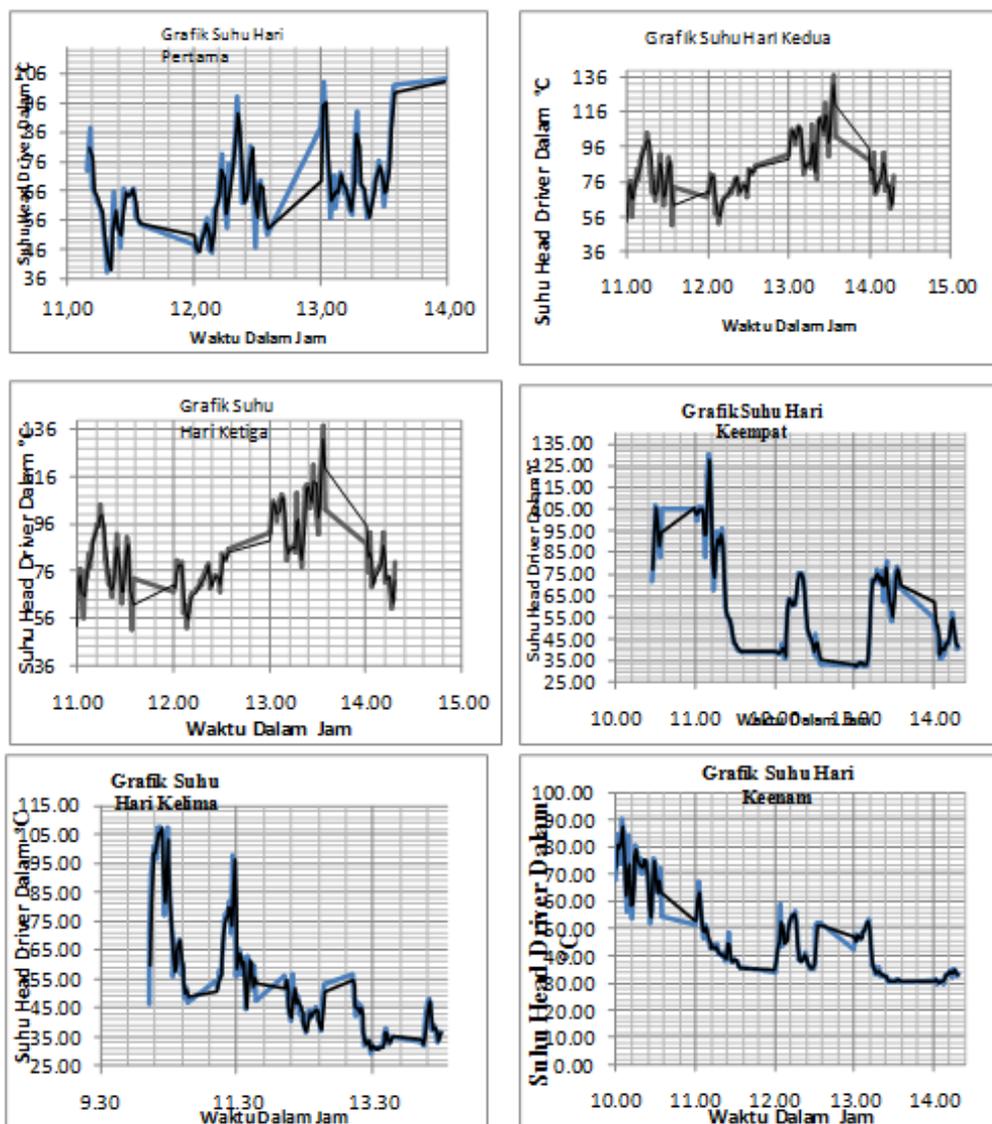
PEMBAHASAN

Dalam pengamatan panas matahari pada parabola dengan penjejak panas matahari dapat dilihat bahwa arah pergerakan parabola selalu mendekati ke titik panas yang berada pada heat driver pada mesin stirling sehingga kalor panas yang di dapatkan bisa optimum, gangguan cuaca seperti mendung dan angin yang kencang dengan kecepatan 2 – 6 m/det dapat mengganggu kalor panas yang di tangkap oleh heat driver , seperti pada saat pengambilan data pada hari kedua kondisi cuaca kurang mendukung karena banyaknya awan yang dapat menutupi sinar matahari langsung ke parabola sehingga pada jam –jam tertentu panas tidak dapat maksimal, panas terendah di dapat pada temperatur 84°C, sedangkan panas tertinggi didapat pada temperatur 137,4° c pada kecepatan angin 2,46 m/dt.

Tabel 1. Data pengambilan panas pada hari 2, Kamis, 4 September 2014

Waktu Pengukuran (time)	Suhu Heat Driver (T_s)	Kecepatan Angin (M/s)	Suhu Lingkungan ($^{\circ}C$)
11,22	95,3	2,6	30,8
11,24	103,9	1,14	30,8
11,26	97,1	1,3	30,2
11,28	94,8	0	31,7
12,52	82,5	0,9	31,5
12,54	80,6	1,08	32
12,58	85,4	2,65	30,2
13,00	92,1	0,31	31
13,02	104	1,47	30
13,04	105,6	0,92	31,5
13,06	103,6	0,92	31,4
13,08	97,3	0,33	31,8
13,10	106,3	0,92	31
13,12	108,2	2,26	29,7
13,14	106	1,47	30,3
13,16	93,6	3,76	29,3
13,26	84,1	0,32	30,2
13,28	108,7	1,01	31,1

13,30	87,4	0	32,5
13,36	111,1	0	33,1
13,38	112,3	0	30,6
13,40	112,5	2,46	29,7
13,46	121	3,02	31,5
13,48	105,8	0,93	33,4
13,50	91,3	1,48	38,1
13,52	115	0	37,9
13,54	127,2	0	36,5
13,56	137,4	0,93	33,2
13,58	102,4	0	35,5
14,00	87,7	1,47	33,5
14,02	75,8	1,26	33,5



Gambar 4. Grafik hasil pengujian panas pada heat driver mesin stirling

Tabel 2. Data kecepatan mesin stirling pada saat berputar

Suhu	Kecepatan Generator	Lama Mesin Bekerja	Waktu Saat Mesin Kerja	Hari ke
137,4	200 rpm	20 detik	13.56	2

Dari hasil pengujian di dapatkan data bahwa suhu tertinggi berada pada 137,4 °C, dan suhu rata-rata adalah 86,6 °C, kecepatan angin dapat mempengaruhi kalor panas yang di tangkap oleh reflektor sehingga pada saat angin berhembus kencang maka panas yang didapat oleh heat driver akan turun, panas tertinggi yang didapat pada heat driver adalah 137,4 °C, mampu menggerakkan mesin stirling dalam waktu 20 detik, dan mampu memutar generator DC dengan kecepatan 200 rpm dan menghasilkan tegangan 15 volt dc .

KESIMPULAN.

1. Penjejak panas matahari dapat membantu mengoptimalkan panas yang di tangkap oleh reflektor
2. Kecepatan angin sangat mempengaruhi kalor panas yang di tangkap oleh reflektor sehingga panas yang di terima oleh heat driver menjadi turun
3. Panas tertinggi pada suhu 137,4 °C, dapat menggerakkan mesin stirling dengan kecepatan 200 rpm selama 20 detik.
4. Generator yang dikopel langsung dengan mesin stirling dapat berputar pada saat mesin stirling berputar pada kecepatan 200 rpm dan menghasilkan tegangan dc sebesar 15 volt tanpa beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnaghi S., Ladjevardi S.M., Izadkhast P.S., Kashani A.H., 2012 *Thermodynamics Performance Analysis of Solar Stirling Engine*, ISRN Renewable Energy, icle ID 321923 .
- Cronenberg G, 2005, "The Stirling Engine" Uppsala Univeristy, Swedia.
- Craig. 2010. "Renewable Energy Facts and Fantasies". Clean Energy Press ISBN 0615388353, United States of America.
- Cinar C and Karabulut H, 2005 *Manufacturing and Testing of Gamma Type Stirling Engine*, Renewable Energy, 30, 57-66
- Chen C.L., Ho C.E., Yau H.T., 2012., *Performance Analysis and Optimization of a Solar Power Stirling Engine With Heat Transfer Considerations*, Energies 5, 3573-3585
- Incropera F.P., DeWitt D, 1996, "Fundamental of Heat and Mass Transfers, 4th Ed., John Wiley & Sons, USA
- Kang S.W., Kuo M.Y., Chen J.Y., Lu W.A., 2010., *Fabrication and Test of Gamma Type Stirling Engine*, International Conference on Energy and Sustainable Development, June 2-4, Thailand.
- Kongtragool B, Wongwiset S, 2007., *Performance of Low Temperature Differential Stirling Engine*, Renewable Energy 32, 547-566
- Kwankaomeng S. and Burapatthananon K., 2010 *Development of Gamma Type Stirling Engine with Double Power Piston*, The International Conference of the Thai Society of Agricultural Engineering, April 4-5, Chiangmai, Thailand.
- Kang S.W., Kuo M.Y., Chen J.Y., Lu W.A., 2010, "Fabrication and Test of Gamma-Type Stirling Engine, Internationa Conferences on Energy and Sustainable Development, 2010, Thailand
- Syafriyudin, dkk, 2013, "Pembangkit listrik tenaga panas matahari berbasis mesin stirling untuk skala rumah tangga, Jurnal Teknologi volume 6 no.2 Desember 2013, IST AKPRIND Yogyakarta.

RESPON POSE ROBOT BERBASIS EMOSI WAJAH 2D MENGUNAKAN METODE NAIVE BAYES

Fajar Hermawanto¹, Surya Sumpeno², Mauridhi Hery Purnomo³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS SURABAYA
e-mail : ¹fajar@poligon.ac.id, ²surya.its@gmail.com, ³hery@ee.its.ac.id

ABSTRACT

Technology field of robotics is still an interesting topic to be studied. One of the interesting things that the interaction between robots with human are the limitations of the robot is notable to recognize human emotion and express emotion in the form of the pose. The introduction of one human emotions by recognizing facial emotions. In this study, will present on the robot pose response to facial emotion user. In recognizing facial emotion users use the webcam, then the face is recognized using the Viola and Jones. 2D facial features have been obtained subsequent feature extraction one. Feature extraction method used is Hu Moments which will generate 7 (direction) value for each extraction are used as attributes in classification of 2D facial emotions. Classification for facial emotion recognition using Naïve Bayes method. In this study the use of Naïve Bayes method gives an accuracy of up to 90%.

Keywords: robot, emotion, face, webcam, 2dimensional, Viola and Jones, Hu Moments, Naïve Bayes.

PENDAHULUAN

Penelitian dalam bidang robotika masih dianggap menarik sampai saat ini, terbukti berbagai metode telah berkembang baik dalam bidang algoritma maupun sistem mekaniknya. Dalam perkembangan bidang algoritma biasanya diterapkan untuk mendapatkan suatu kestabilan perilaku agar pergerakan robot lebih terkontrol. Berbagai macam sensor digunakan untuk dapat merespon segala sesuatu yang mungkin bisa memberikan suatu input terhadap robot untuk mendapatkan informasi tentang keadaan lingkungan disekitar robot.

Robot telah banyak mengambil peranan penting dalam rutinitas sehari-hari, di tempat-tempat umum seperti rumah, supermarket, rumah sakit, kantor dan sebagainya. Robot harus mampu berinteraksi dengan warga umum dan untuk menggunakannya. Hal ini menimbulkan pertanyaan penting tentang bagaimana suatu robot mampu dapat berinteraksi dengan cara alami, intuitif dan menyenangkan. Untuk menjawab pertanyaan ini, robot harus mampu mengenali emosi manusia sehingga dapat memberikan lingkungan yang ramah. Tanpa mengenali emosi, maka akan sangat sulit bagi robot untuk berinteraksi dengan manusia secara alami (Zhang S., Zhao X, 2012).

Manusia berbagi emosi dengan orang lain menggunakan ekspresi wajah. Telah terbukti bahwa emosi marah, sedih, kebahagiaan, jijik, penghinaan dan kejutan memiliki ekspresi wajah yang khas (M. Minsky, 2006). Munculnya kemampuan manusia untuk mengenali ekspresi wajah adalah sejak awal yaitu sejak lahir (P. Ekman, 2004). Menyalahkan, mencela serta pujian dapat dipahami dari ekspresi wajah orang dalam bentuk tersenyum dan mengerutkan kening wajah. Artinya, bahwa umpan balik manusia dapat diakui secara efektif dari ekspresi wajah.

Tidak seperti biometrik lainnya, pengenalan wajah adalah non-invasif, dan tidak membutuhkan kontak fisik antara individu dengan sistem, menjadikan hal tersebut sebagai biometrik. Sistem dasar pengenalan wajah dapat dibagi menjadi empat langkah: deteksi wajah, gambar pra-pengolahan, ekstraksi ciri dan pengecekan (J. Fagertun, 2005). Tidak mudah untuk dapat mendeteksi wajah, wajah membantu kelas yang sama di setiap objek dan fiturunya, seperti mata, mulut, hidung dan dagu, memiliki, secara umum memiliki konfigurasi geometris yang sama. Gambar wajah ditangkap kamera akan di pra processing untuk mengatasi variasi iluminasi (Y. Gang, L. Jiawei, L. Jiayu, M. Qingli and Y. Ming, 2009). Ekstraksi fitur adalah proses di mana suatu model geometris atau vektorial diperoleh dengan mengumpulkan karakteristik yang penting pada wajah (R. Padilla, C. F. F. Costa Filho and M. G. F. Costa, 2012).

Metode yang paling banyak digunakan dalam mendeteksi wajah yaitu dengan menggunakan metode *Cascade* yang ditemukan oleh Viola dan Jones (Viola, P. and Jones, M, 2001). *Cascade* adalah metode yang menggunakan pendekatan seperti pada pohon bercabang dimana setiap simpul merupakan kelas yang dirancang untuk memfilter antara gambar wajah dan bukan wajah.

Penelitian dalam menentukan klasifikasi emosi wajah telah banyak dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya dengan menggunakan metode naïve bayes. Jaringan Bayes adalah cara intuitif dan efisien untuk model distribusi bersama yang cocok untuk klasifikasi. Bahkan, metode naïve bayes sebenarnya metode yang singkat dimana semua node hanya terhubung ke node kelas yaitu tidak ada hubungan antar ciri dengan model (A. Aitor, Hageloh, F. Sande, Koen, Valenti, R, 2005).

Pada penelitian kali ini diteliti tentang respon pose robot terhadap ekspresi dari wajah manusia. Berdasarkan sifat ilmiah dasar pada manusia bahwa setiap manusia akan memahami ekspresi wajah dari orang lain. Ekspresi wajah yang beremosi tersebut secara otomatis akan dimengerti oleh robot melalui webcam yang selanjutnya akan dikenali dengan menerapkan salah satu cabang ilmu yaitu *computer vision* proses klasifikasi emosi menggunakan metode naïve bayes. Respon pose robot adalah pose emosi yang mempresentasikan emosi dari wajah pengguna.

METODE PENELITIAN

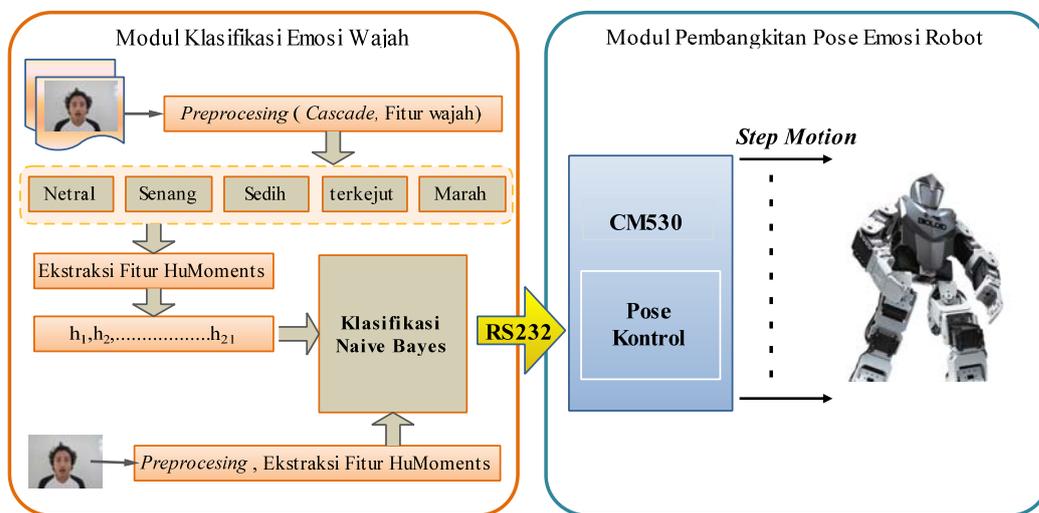
Ekspresi wajah memberikan petunjuk penting tentang emosi. Beberapa cara telah dikemukakan untuk mengelompokkan keadaan emosi manusia. Ciri yang digunakan biasanya berdasarkan posisi spasial lokal atau perpindahan titik tertentu dan wilayah pada wajah. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menangkap ekspresi wajah adalah dengan mengamati pergerakan otot-otot utama wajah.

Secara garis besar, aplikasi pengenalan emosi ini terdiri dari dua bagian, yaitu bagian pengenalan emosi dan sintesa pose ekspresi pada robot. Sistem ini diwujudkan ke dalam suatu perangkat lunak (program) menggunakan bahasa pemrograman. Secara umum pembuatan program ini mengikuti alur sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hardware yang terdiri dari : 1) Robot Bioloid Premium Kit Tipe A ; 2) Kamera Webcam Logitech C170; 3) Laptop Core i3; 4) Kabel USB to Serial .
2. Software yang terdiri dari : 1) Microsoft Visual C++ 2008 Express; 2) Library OpenCV 2.4.5; 3) Robo Plus; 4) ZIGBEE_SDK_Win32_v1_02.

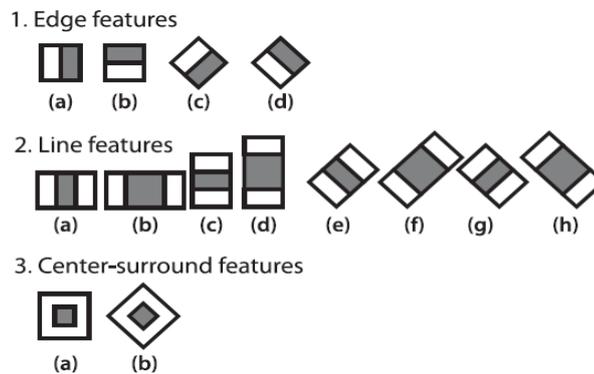
Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Pengambilan Data, pengenalan wajah merupakan langkah pertama dalam pembangunan sistem pengenalan emosi wajah. Informasi yang diterima untuk mengenali wajah sangat rentan oleh derau, kecerahan lingkungan/iluminasi, cacat kamera (Turk M., A.P Pentland, 2001., Yang M, 2002). Detektor wajah menggunakan metode Paul Viola dan Michael Jones .

Penggolong Riam Haar, prinsip kerja dari penggolong riam haar jika ada sebuah citra detektor menguji tiap lokasi citra dan mengklasifikasikannya sebagai wajah atau bukan wajah. Klasifikasi dimisalkan sebuah skala tetap untuk wajah, yaitu 50 x 50 piksel. Jika wajah pada citra lebih besar atau lebih kecil dari piksel tersebut, penggolong berjalan beberapa kali untuk mencari wajah pada gambar tersebut.



Gambar 2. Fitur haar Viola dan Jones

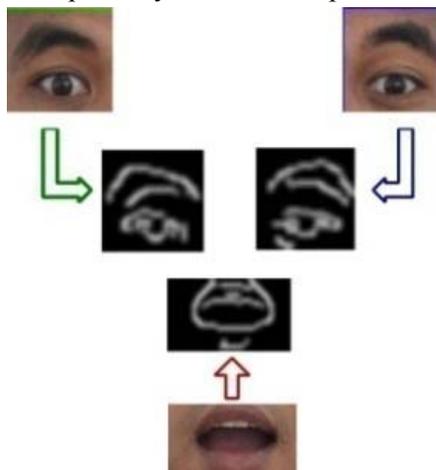
Penggolong menggunakan data yang tersimpan pada file XML, untuk memutuskan mengklasifikasikan tiap lokasi citra. Fitur yang dipakai Viola dan Jones menggunakan bentuk gelombang Haar. Bentuk gelombang Haar adalah sebuah gelombang kotak, pada 2 dimensi gelombang kotak adalah pasangan persegi bersebelahan, 1 terang dan 1 gelap. Haar ditentukan oleh pengurangan piksel rata-rata daerah gelap dari piksel rata-rata daerah terang. Jika perbedaan diatas ambang fitur tersebut dikatakan ada. Kata *riam* pada penggolong berarti penggolong total terdiri atas penggolong yang lebih sederhana yang diaplikasikan secara subsekuen ke ROI (Budiarto W., Purwanto D2012).

Proses pengenalan fitur emosi wajah difokuskan pada area mulut, mata kanan dan alis kanan, mata kiri dan alis kiri. Tahap pertama dengan mengenali area wajah selanjutnya memisahkan area mulut, mata kanan dan alis kanan, mata kiri dan alis kiri.



Gambar 3. Deteksi wajah dan *SetROI*

Fitur wajah yang terdiri mulut, mata kanan / alis kanan, mata kiri / alis kiri dipisahkan secara terpisah. Setiap citra akan memberikan nilai yang dapat dijadikan atribut pada tahap klasifikasi emosi wajah. Deteksi tepi dilakukan untuk mendapatkan kontur pada masing fitur wajah. Pada gambar 4 fitur wajah diberikan operasi deteksi tepi canny untuk mendapatkan fitur citra wajah.



Gambar 4. Deteksi Tepi (Canny)

Ekstraksi Ciri dengan HuMoments, salah satu carapaling sederhana untukmembandingkan duakonturadalahdengan menghitungmomenkontur. Iniadalah saat yang tepat untuk penyimpangan singkat ketepat apasaatini. Loosely mengatakan, momentmerupakan karakteristikkotordari

penghitungan kontur dengan mengintegrasikan atau menjumlahkan semua piksel dari kontur. Secara umum, kita kita definisikan (p, q) sebagai kontur

$$m_{p,q} = \sum_{i=1}^n I(x, y) x^p y^q \dots \dots \dots (1)$$

Berikut adalah x -order dan y -order, dimana order berarti daya komponen yang sesuai diambil dan ditampilkan hanya dalam jumlah. Penjumlahan semua piksel lebih dari batas kontur dilambangkan dengan n dalam persamaan 1. Kemudian berikut segera bahwa jika dan kedua nyasama dengan nol, maka momen m_{00} sebenarnya hanya panjang piksel dari kontur.

Saat perhitungan momen dijelaskan beberapa karakteristik dasar dari kontur yang dapat digunakan untuk membandingkan dua kontur. Namun, momen yang dihasilkan dari perhitungan tidak memberikan perbandingan yang terbaik dalam kasus-kasus yang praktis. Secara khusus, orang akan sering ingin menggunakan momen normal sehingga benda-benda dari bentuk yang sama tetapi ukuran yang berbeda memberikan nilai yang sama. Demikian pula, saat-saat sederhana dari bagian sebelumnya tergantung pada sistem koordinat yang dipilih, yang berarti bahwa objek tidak cocok dengan benar jika mereka diputar.

Sebuah *central moment* pada dasarnya adalah sama dengan momen kecuali bahwa nilai-nilai x dan y yang digunakan dalam formula tergeser oleh nilai rata-rata:

$$\mu_{p,q} = \sum I(x, y) (x - x_{avg})^p (y - y_{avg})^q$$

normalized moments adalah sama dengan *central moment* kecuali bahwa mereka semua dibagi dengan $m_{00}^{(p+q)/2+1}$ dari m_{00} .

$$\eta_{p,q} = \frac{\mu_{p,q}}{m_{00}^{(p+q)/2+1}}$$

Akhirnya, *Hu invariant moments* adalah kombinasi linear dari momen pusat. Caranya adalah dengan menggabungkan momen pusat normalisasi yang berbeda, sehingga memungkinkan untuk membuat fungsi invarian mewakili aspek yang berbeda dari citra dalam cara yang invarian, skala, rotasi, dan refleksi (Bradski G, Kaehler A, 2008). Menghitung momen Hu dari momen pusat ditunjukkan pada persamaan 4.

$$\begin{aligned} h_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ h_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ h_3 &= (\eta_{30} - \eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ h_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ h_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2) \\ &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \\ h_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ h_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \\ &\quad + (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \end{aligned} \dots \dots \dots (4)$$

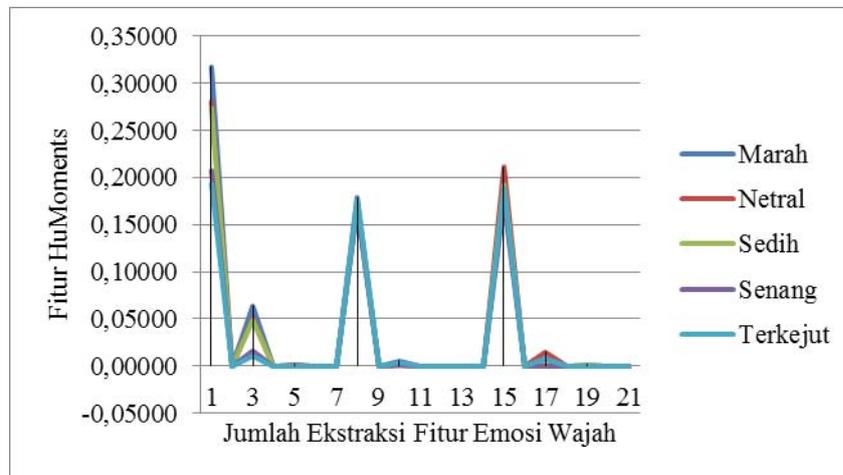
Robot Bioloid Premium Tipe A, robot Bioloid merupakan robot jenis humanoid dengan penggerak 18 motor servo. Robot ini mampu mewakili ekspresi dalam bentuk pose dengan terbatas pada ekspresi wajah, karena tidak ada manipulator yang berfungsi sebagai salah satu organ seperti halnya pada wajah manusia. CM-530 sebagai pusat kontrol robot, pada modul ini juga terdapat pin komunikasi serial Transmitter / TX dan Receiver/RX.

Emosi robot pada penelitian ini hanya berbentuk dari pose badan robot berdasarkan pada pose emosi manusia. Masalah yang dihadapi pada pembentukan pose emosi robot ini adalah keleluasaan gerak dari setiap motor penggerak pada robot. Robot bioloid tersusun dari 18-DOF atau tersusun dari 18 derajat kebebasan sebagai penyusun gerak kaki, badan, tangan.

Tahap Pelatihan, nilai - nilai hasil dari ekstraksi ciri fitur wajah beremosi selanjutnya disimpan dalam bentuk *.csv. File *.csv ini merupakan data matrik yang akan digunakan pada proses pengenalan emosi. Sebelum proses pengenalan perlu dilakukan proses pelatihan, yang bertujuan untuk mendapatkan perbedaan kelas pada setiap emosi wajah yang ingin dikenali. Pada setiap kelas emosi digunakan 30 citra wajah beremosi, sehingga total data yang digunakan pada proses pelatihan adalah 150 data. Metode klasifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Naïve Bayes.

PEMBAHASAN

Pada proses ekstraksi ciri setelah didapatkan deteksi tepi selanjutnya adalah ekstraksi fitur dari ketiga citra yaitu mulut, mata kanan/alis kanan, mata kiri/alis kiri. Metode ekstraksi fitur menggunakan Moment Hu, setiap citra akan didapatkan tujuh nilai. Total nilai dari ketiga citra sebanyak dua puluh satu nilai digunakan sebagai atribut dalam klasifikasi.



Gambar 5 Grafik perbandingan hasil ekstraksi ciri lima emosi dasar

Grafik hasil ekstraksi fitur wajah beremosi pada Gambar 5 dengan lima emosi dasar menunjukkan nilai yang berbeda. Jarak perbedaan nilai fitur pada setiap emosi memiliki karakteristik dimana emosi marah memiliki jarak yang paling jauh dengan emosi senang. Urutan nilai hasil ekstraksi ciri dari yang terkecil adalah terkejut, senang, sedih, netral, marah. Pengujian pengenalan emosi wajah menggunakan data pelatihan sebanyak 250 data, setiap kelas emosi terdiri dari 50 data dan setiap kelas diambil dari 5 orang citra wajah yang berbeda. Data pengujian sebanyak 50 data, setiap kelas emosi terdiri dari 10 data dan setiap kelas diambil dari 5 orang citra wajah yang berbeda.

Setelah emosi wajah dikenali proses selanjutnya adalah mengirimkan data perintah secara serial (RS232) ke sistem kontrol robot. Pada sistem kontrol robot terdapat dua bagian program yang pertama program untuk membuat serangkaian gerak dalam beberapa step. Setiap pose emosi dibuat dalam beberapa step tersendiri dan tidak berhubungan dengan proses perubahan pose dengan pose emosi yang lainnya. Program yang kedua berfungsi untuk membaca sistem komunikasi serial dengan laptop, data setiap emosi akan difungsikan sebagai kondisi dalam program ini akan menentukan pernyataan atau pose emosi pada *step motion* pada bagian program yang pertama.

KESIMPULAN

Dari proses perancangan, implementasi dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode Viola dan Jones merupakan metode sangat baik yang berfungsi untuk mencari posisi wajah pada citra untuk menentukan fitur wajah.
2. Metode HuMoments merupakan metode ekstraksi ciri yang baik untuk membedakan kontur fitur wajah beremosi.
3. Metode HuMoments menghasilkan 7 (tujuh) nilai pada setiap fitur dan sangat baik digunakan sebagai atribut pada klasifikasi Naïve Bayes untuk pengenalan emosi wajah.
4. Pembentukan pose emosi pada robot tidak sepenuhnya bisa mengekspresikan seperti pada emosi manusia karena terbatas oleh jumlah derajat kebebasan pada tubuh robot.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pembimbing Prof. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng., Ph.D dan Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc. Teman – teman Dosen Program Studi Teknik Informatika Politeknik Gorontalo, Mahasiswa Program Studi Teknik Informatika Politeknik Gorontalo.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Aitor, Hageloh. F, Sande. Koen, Valenti. R, “Automatic facial emotion recognition”, Universiteit van Amsterdam, 2005.
- Bradski G, Kaehler A. “ Learning OpenCV”. Published by O’Reilly Media, Inc , 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, 2008.
- Budiarto W., Purwanto D. “ Robot Vision – Teknik Membangun Robot Masa Depan”. 2012 .
- J. Fagertun, 2005. Face Recognition. Master Thesis, Technical University of Denmark (DTU).
- M. Minsky, The Emotion Machine. NY, USA: Simon&Schuster, 2006.
- P. Ekman, Emotions Revealed: Recognizing Faces and Feelings to Improve Communication and Emotional Life. Holt Paperbacks, 2004.
- R. Padilla, C. F. F. Costa Filho and M. G. F. Costa, “Evaluation of Haar Cascade Classifiers Designed for Face Detection”, World Academy of Science, Engineering and Technology 64, 2012.
- Turk M., A.P Pentland. “ Face Recognition using eigensfaces”. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1991.
- Viola, P. and Jones, M. Rapid object detection using boosted cascade of simple features. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001.
- Y. Gang, L. Jiawei, L. Jiayu, M. Qingli and Y. Ming, “Illumination Variation in Face Recognition: A Review”, *IEEE Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS2009)*, pp. 309-311.
- Zhang S., Zhao X, (2012), “Speech Emotion Recognition Using an Enhanced Kernel Isomap for Human-Robot Interaction”, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 10.

SISTIM PENANGKAL PETIR PADA INSTALASI VITAL ATAU GEDUNG BERTINGKAT DI PT. TELKOM TEGAL

G.Suprijono¹, M.Tohari²

^{1,2} Program Study Teknik Elektro Politeknik Harapan Bersama Tegal
Email:¹ arjunatehnik@yahoo.com^a buanaasejahtera.tegal@gmail.com

ABSTRACT

Lightning is a natural phenomenon that always releases an electrical charge to earth which is uncontrolled and causes property and humans losses. In the era of economic competition and globalization there is almost no limit, followed by the development of computer systems and electronics. Current uses of electronic devices and low voltage appliances has increased the statistical amount of electrical damage caused by effect of lightning either directly or indirectly. Indonesia has a high thunder days with a number of lightning strikes, so that the damage and loss was increase. Efforts to protect humans and equipment have been carried out, but the increasing sophistication of electrical and electronic equipment impact to the complexity of protection system. Franklin anti- lightning system capable of carrying lightning flow to earth without causing any danger to protected building. This system deployed in buildings that have a gabled roof, generation and distribution of electricity, airports and seaports , telecommunication systems, data processing centers and distribution networks, military defense systems, and other installations that use electronic components and microprocessors. Franklin Anti lightning system is suitable to reduce the incidence of lightning disturbances or even to achieve zero accident.

Keywords : lightning, damage, safety, antidote system

PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada khatulistiwa yang mempunyai hari guruh sangat tinggi dengan aktifitas 100 sampai 200 hari – guruh per tahun. Industri di Indonesia menggunakan semakin banyak peralatan sistim yang canggih menggunakan komponen elektronik dan mikroprosesor dan sangat sensitif terhadap PEDP (Pulsa Elektromagnetik dari Petir) atau LEMP (Lightning Electromagnetic Pulse). Karakteristik petir di Indonesia yang berbeda dengan karakteristik petir diluar negeri yang dijadikan standar oleh Badan Standarisasi duina pada umumnya. Sangat sedikitnya informasi tentang Sistim Proteksi Petir dan Sistem Penentu lokasi dan Pelacak Petir khususnya di negara tropis seperti di Indonesia disamping sangat kurangnya “ Awareness “ atau kesiagaan terhadap kemungkinan bahaya petir. Banyaknya instalasi-instalasi penting dan berbahaya yang menjadi target mudah (easy target) bagi sambaran petir karena strukturnya yang tinggi dan pada lokasi yang terbuka.

Petir merupakan kejadian alam yang selalu melepaskan muatan listriknya ke bumi tanpa dapat dikendalikan dan menyebabkan kerugian harta benda dan manusia. Tak ada yang dapat mengubah situasi ini. Petir terjadi karena adanya benturan antara awan yang bermuatan listrik positif di udara. Kilatan cahaya petir yang mengandung arus listrik sangat kuat tersebut dapat merusak bangunan ataupun peralatan elektronik.

Meskipun kilatan petir jatuh di daerah yang agak jauh misalnya 1 km dari kantor anda, arus listrik imbasannya tetap mengalir pada berbagai kabel tembaga seperti kawat penghantar listrik PT. PLN dan kabel telepon PT. Telkom. Arus imbas ini meskipun lebih kecil akan tetapi tetap memiliki kemampuan merusak peralatan elektronik anda seperti telepon faximile ataupun komputer dan peralatan jaringan komputer.

Petir adalah salah satu fenomena alam yang paling kuat dan menghancurkan. kekuatan petir yang pernah tercatat adalah mulai dari ribuan amper sampai 200.000 amper atau sama dengan kekuatan yang dibutuhkan untuk menyalakan 500 ribu lampu bohlam 100 watt. Meskipun arus petir hanya sesaat kira-kira selama 200 micro-detik tapi hasil kerusakan yang ditimbulkan sangat luarbiasa. Efek dari serangan langsung sangat jelas terlihat, mulai dari kerusakan bangunan, kebakaran sampai bahaya kematian bagi manusia. Selain itu pada saat petir menyambar akan ada loncatan muatan listrik ke benda yang bersifat konduktor disekitar pusat hantaman. loncatan ini bahkan bisa mengalir kemana- mana hingga puluhan kilometer. Untuk hal tersebut diatas diperlukan

penangkal petir yang sangat baik terutama untuk gedung, fasilitas umum dan pusat bisnis yang menghandalkan komputer atau peralatan elektronik untuk seluruh kegiatan bisnis-nya

Petir telah banyak membuat kerugian pada manusia dan kerusakan pada peralatan sejak dulu. Semakin banyaknya pemakaian alat elektronik dan peralatan tegangan rendah saat ini telah meningkatkan jumlah statistik kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh sambaran petir baik langsung maupun tidak langsung. Indonesia memiliki hari guruh yang tinggi dengan jumlah sambaran petirnya yang banyak, sehingga kerusakan dan kerugian yang ditimbulkannya pun lebih besar.

Upaya proteksi manusia dan peralatan telah dilakukan, namun dengan semakin luas, semakin banyak dan semakin canggihnya peralatan listrik dan elektronik yang digunakan menyebabkan semakin rumitnya sistem yang diperlukan. Keadaan alam iklim tropis Indonesia pada umumnya termasuk daerah dengan hari petir yang tinggi setiap tahun. Karena keterbatasan data besarnya hari petir untuk setiap lokasi di Indonesia.

Pada saat ini diasumsikan bahwa di lokasi yang tinggi di atas gunung atau menara dan gedung yang menjulang tinggi ditengah-tengah area yang bebas atau dilahan terbuka seperti sawah, ladang, mempunyai kemungkinan sambaran lebih tinggi. Tempat-tempat dengan tingkat sambaran tinggi frekwensi maupun intensitasnya mendapat prioritas pertama untuk penanggulangannya, sedangkan tempat-tempat yang relatif kurang bahaya petirnya mendapat prioritas ke dua dengan pemasangan protektor yang lebih sederhana.

Lokasi yang mempunyai nilai bisnis tinggi industri kimia, pemancar TV, Telekomunikasi, gedung perkantoran dengan sistem perkantoran dan industri strategis seperti hankam, bandara udara memerlukan proteksi yang dilakukan seoptimal mungkin, sedangkan lokasi dengan nilai bisnis rendah mungkin makin sederhana sistem protektor yang akan dipasang.



Gambar 1. Sambaran Petir

Dengan berkembangnya teknologi yang sangat pesat hingga kini, maka pelepasan muatan petir dapat merusak jaringan listrik dan peralatan elektronik yang lebih sensitif.

Sambaran petir pada tempat yang jauh sudah mampu merusak sistem elektronika dan peralatannya, seperti instalasi komputer, perangkat telekomunikasi, sistem kontrol, alat-alat pemancar dan instrument serta peralatan elektronik sensitif lainnya. Untuk mengatasi masalah ini maka perlindungan yang sesuai harus diberikan dan dipasang pada peralatan atau instalasi terhadap bahaya sambaran petir langsung maupun induksinya. Salah satu penyebab semakin tingginya kerusakan peralatan elektronika karena induksi sambaran petir tersebut adalah karena sangat sedikitnya informasi mengenai petir dan masalah yang dapat ditimbulkannya.

Kerusakan Akibat Sambaran Petir, keadaan alam iklim tropis Indonesia pada umumnya termasuk daerah dengan hari petir yang tinggi setiap tahun. Karena keterbatasan data besarnya hari petir untuk setiap lokasi di Indonesia, pada saat ini diasumsikan bahwa lokasi- lokasi yang tinggi di atas gunung atau menara yang menonjol ditengah-tengah area yang bebas seperti sawah ladang

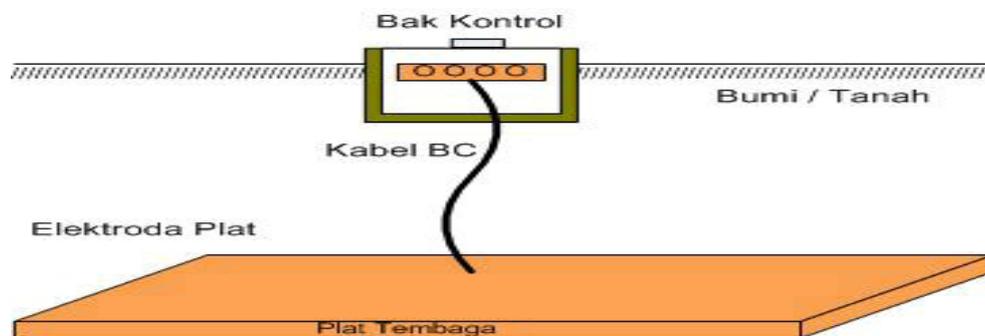
mempunyai kemungkinan sambaran lebih tinggi dari pada tempat-tempat di tengah-tengah kota yang dikelilingi bangunan- bangunan tinggi lainnya.

Tempat-tempat dengan tingkat sambaran tinggi frekwensi maupun intensitasnya mendapat prioritas pertama untuk penanggulangannya, sedangkan tempat-tempat yang relatif kurang bahaya petirnya mendapat prioritas ke dua dengan pemasangan protektor yang lebih sederhana. Lokasi yang mempunyai nilai bisnis tinggi industri kimia, pemancar TV, Telkom, gedung perkantoran dengan sistem perkantoran dan industri strategis seperti hankam, pelabuhan udara memerlukan proteksi yang dilakukan seoptimal mungkin, sedangkan lokasi dengan nilai bisnis rendah mungkin makin sederhana sistem protektor yang akan di pasang. Sambaran petir memiliki kemampuan merusak yang sangat hebat dan merugikan bagi obyek-obyek di bumi antara lain : Pertama, beban termal (terjadi panas pada bagian-bagian yang dialiri oleh arus petir). Kedua, beban mekanis karena timbulnya gaya elektodinamis sebagai akibat tingginya puncak arus. Ketiga, beban gerak mekanis karena guntur. Dan Keempat, beban tegangan lebih karena adanya induksi dan pergeseran-pergeseran potensial di dalam bangunan.

Kerusakan Akibat Sambaran Langsung, kerusakan ini biasanya langsung mudah diketahui sebabnya, karena jelas petir menyambar sebuah gedung dan sekaligus peralatan listrik atau elektronik yang ada di dalamnya ikut rusak kemungkinan mengakibatkan kebakaran gedung, dan kerusakan yang parah pada peralatan PABX, kontrol AC, komputer, alat pemancar yang akan hancur total.

Kerusakan Akibat Sambaran Tidak Langsung, kerusakan ini sulit diidentifikasi dengan jelas karena petir yang menyambar pada satu titik lokasi sehingga hantaran induksi melalui aliran listrik atau kabel PLN, telekomunikasi, pipa pam dan peralatan besi lainnya dapat mencapai 1 km dari tempat petir tadi terjadi. Sehingga tanpa disadari dengan tiba- tiba peralatan komputer, pemancar TV, radio, PABX terbakar dan rusak.

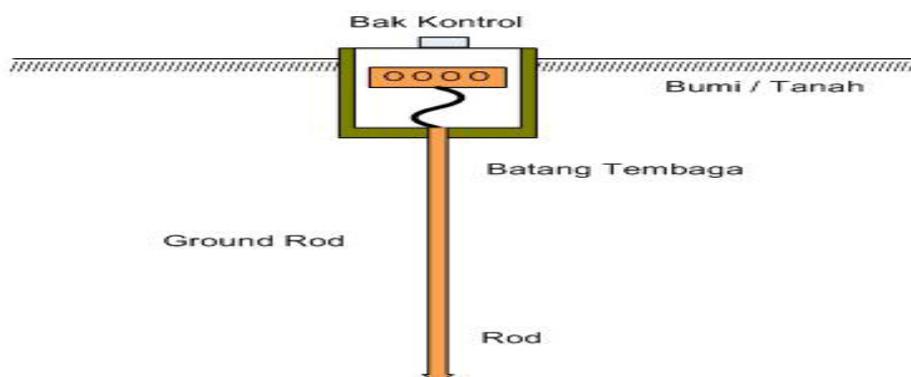
Misalkan Petir menyambar tiang PLN lokasi A sehingga tegangan atau arusnya mencapai dan merusak peralatan rumah sakit dan peralatan telekomunikasi di lokasi B karena jarak tiang PLN (A) ke rumah sakit dan peralatan telekomunikasi tersebut (B) adalah kurang atau sama dengan 1 km.



Gambar 2. Elektroda plat pentanahan

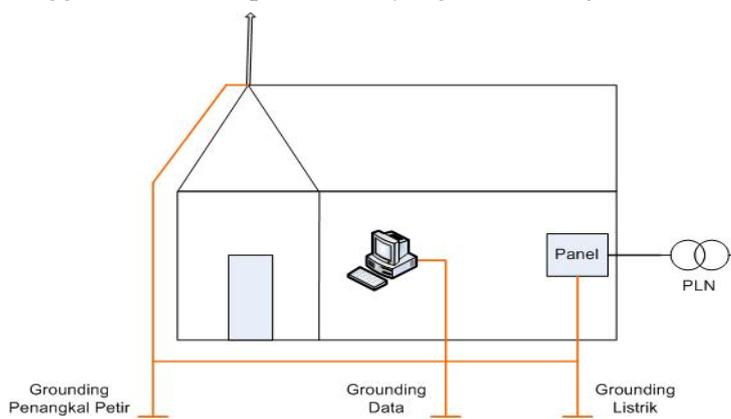
Dengan berkembangnya teknologi yang sangat pesat hingga kini, maka pelepasan muatan petir dapat merusak jaringan listrik dan peralatan elektronik yang lebih sensitif. Sambaran petir pada tempat yang jauh sudah mampu merusak sistem elektronika dan peralatannya, seperti instalasi komputer, perangkat telekomunikasi seperti PABX, sistem kontrol, alat-alat pemancar dan instrument serta peralatan elektronik sensitif lainnya. Untuk mengatasi masalah ini maka perlindungan yang sesuai harus diberikan dan dipasang pada peralatan atau instalasi terhadap bahaya sambaran petir langsung maupun induksinya. Salah satu penyebab semakin tingginya kerusakan peralatan elektronika karena induksi sambaran petir tersebut adalah karena sangat sedikitnya informasi mengenai petir dan masalah yang dapat ditimbulkannya.

Menanam elektroda pentanahan secara merata di sekeliling bangunan, sehingga tegangan tanah yang timbul di sekeliling bangunan dapat diperkecil. Memperdalam pentanahan elektroda pentanahan sehingga dari arus petir dapat menyebar di bagian permukaan sebelah dalam dari tanah relatif lebih banyak dibandingkan dengan muatan yang mengalir di permukaan tanah, sehingga tegangan tanah di permukaan dapat diperkecil.



Gambar 3 . Memperdalam elektroda pentanahan

Menghubungkan sistem perpipaan tersebut dengan elektroda pentanahan yang terdekat atau dengan menggunakan sistem pentanahan yang berbentuk grid.



Gambar 4 . Menghubungkan sistem perpipaan

Sistem Proteksi Petir, pengadaan instalasi proteksi sambaran petir meliputi penangkal petir eksternal dan penangkal petir internal. Hal-hal yang berkaitan dengan sistem proteksi, teknologi dan biaya investasi yang diperlukan ditentukan oleh tingkat perlindungan penangkal petir yang diinginkan. Sedang tingkat perlindungan yang diinginkan ditentukan oleh jenis, tipe dan fungsi bangunan dan peralatan yang akan dilindungi serta resiko yang timbul jika terjadi kegagalan perlindungannya.

Tingkat perlindungan suatu sistem proteksi sambaran petir dikelompokkan dalam tingkat perlindungan biasa atau normal, yaitu untuk bangunan-bangunan biasa yang bila terjadi kegagalan perlindungan tidak menyebabkan bahaya beruntun, seperti bangunan perumahan, gedung-gedung. tingkat perlindungan tinggi, yaitu untuk bangunan-bangunan atau instalasi yang lain jika terjadi kegagalan perlindungan dapat berbahaya bagi keselamatan jiwa, atau dapat menimbulkan bahaya ikutan yang lebih besar, seperti instalasi eksplosif mudah meledak, bangunan-bangunan dengan tingkat penggunaan tinggi dan banyak orang berada di dalamnya, instalasi komunikasi penting dan lain-lain.

Tingkat Perlindungan Sangat Tinggi, yaitu untuk bangunan atau instalasi yang jika terjadi kegagalan perlindungan dapat menyebabkan bahaya ikutan yang tidak terkendali seperti pusat instalasi nuklir. Biaya investasi yang diperlukan untuk ketiga tingkat perlindungan di atas pada dasarnya terbagi dalam biaya investasi Penangkal Petir Eksternal dan biaya investasi Penangkal Petir Internal dan minimalisasi biaya total dapat dilakukan dengan menerapkan konsepsi bahwa penangkal petir eksternal merupakan bagian tak terpisahkan dari penangkal petir internal. Ada tiga jenis prinsip penting yang dimiliki oleh penangkal petir modern yaitu : Satu, penyaluran arus petir

yang sangat kedap atau tertutup terhadap obyek sekitar dengan menggunakan terminal penerima dan kabel penghantar khusus yang memiliki sifat isolasi tegangan tinggi. Dua, menciptakan elektron bebas awal yang besar sebagai streamer emission pada bagian puncak dari sistem penangkal petir terminal dan juga bebas radioaktif. Ketiga, memberikan jaminan keamanan terhadap obyek yang dilindungi radius proteksi yang luas dari intensitas sambaran dari petir.

Pembuatan Sistem Pentanahan, sistem pentanahan berfungsi sebagai sarana mengalirkan arus petir yang menyebar ke segala arah ke dalam tanah. Hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pentanahan adalah tidak timbulnya bahaya tegangan langkah dan tegangan sentuh. Kriteria yang dituju dalam pembuatan sistem pentanahan adalah bukannya rendahnya harga tahanan tanah akan tetapi dapat dihindarinya bahaya seperti tersebut di depan.

Selain itu sistem pentanahan sangat menentukan rancangan sistem penangkal petir internal, semakin tinggi harga tahanan pentanahan akan semakin tinggi pula tegangan pada penyama potensial (potential equalizing bonding) sehingga upaya perlindungan internalnya akan lebih berat.

Pengadaan Sistem Penyaluran Arus Petir, arus sambaran petir yang mengenai finial harus secara cepat dialirkan ke tanah dengan pengadaan sistem penyaluran arus petir melalui jalan terpendek.

Dimensi atau luas penampang, jumlah dan rute penghantar ditentukan oleh kuadrat arus impuls sesuai dengan tingkat perlindungan yang ditentukan serta tingginya arus puncak petir. Resiko bahaya yang dapat ditimbulkan dari penyaluran arus petir ini terutama adalah adanya induksi elektromagnetik pada peralatan elektronik di dalam bangunan.

Proteksi Pembedaan, bagian terpenting dalam instalasi sistem penangkal petir adalah sistem pembedaannya. Kesulitan pada sistem pembedaan biasanya karena berbagai macam jenis tanah. Hal ini dapat diatasi dengan menghubungkan semua metal Equipotensialisasi dengan elektrode tunggal yang ke arah ditanam ke dalam bumi. Untuk dapat mengantisipasi perkembangan peralatan listrik dan elektronika, maka peralatan proteksi dalam Konsep Daerah Proteksi yang berorientasi pada Electromagnetic Compatibility-EMC juga mempunyai tugas yang disesuaikan dengan kebutuhan tersebut.

Perlindungan Untuk Bangunan, penyebab dari pada kerusakan yang diakibatkan oleh sambaran petir terutama adalah besarnya amplitudo arus petir dan kecuraman arus petir, dimana amplitudo arus petir berkisar antara 5000 Ampere sampai 200.000 Ampere. Kerusakan bangunan yang disambar dapat berupa kerusakan thermis, misalkan bagian yang tersambar terbakar dan dapat pula berupa kerusakan mekanis. Misalkan sambaran petir mengenai atap bangunan yang mengakibatkan bangunan atau tembok menjadi retak ataupun menjadi roboh.

Perlindungan pada bangunan terhadap sambaran petir sangat di anjurkan dimana akibat sambaran petir pada bangunan bukan hanya akan merusak bangunan itu sendiri, tapi juga pada manusia yang mendiami bangunan tersebut. Letak ukuran dan bentuk bangunan sangat mempengaruhi sukar atau mudahnya bangunan tersambar dan juga apakah sambaran akan menimbulkan kerusakan yang parah atau tidak.

PEMBAHASAN

Sistem Perlindungan Dengan Penangkal Petir, Sistem Penangkal Petir installasi penangkal petir adalah merupakan suatu sistem yang menggabungkan komponen-komponen dan peralatan-peralatan yang secara keseluruhan berfungsi sebagai penangkal petir yang menyalurkan sambaran petir ke tanah. Sistem tersebut dipasang sedemikian rupa sehingga semua bagian dari bangunan beserta isinya atau benda-benda di dalamnya terlindung dan terhindar dari bahaya sambaran langsung maupun tak langsung. Installasi ini di kelompokkan menjadi bagian penghantar diatas tanah dan penghantar didalam tanah.

Dengan pemasangan installasi penangkal petir tidak menambah atau mengurangi kemungkinan suatu bangunan atau peralatan terkena sambaran petir, akan tetapi bila terjadi sambaran petir arusnya akan disalurkan ke tanah lewat installasi penyaluran sehingga bangunan dan peralatan didalamnya terlindung. Ada beberapa cara yang bisa digunakan, antara lain : Penangkal petir sistim Franklin dan Faraday.

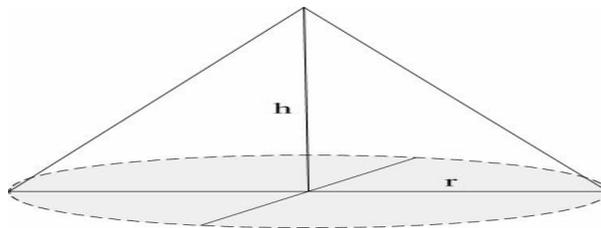
Fungsi Perlindungan dari Installasi Penangkal Petir. Untuk hal tersebut diatas diperlukan penangkal petir yang sangat handal terutama untuk gedung, fasilitas umum dan pusat bisnis yang

mengandalkan komputer atau peralatan elektronik untuk seluruh kegiatan bisnisnya. Ada 4 kriteria yang harus di perhatikan dalam sistem penangkal petir untuk dapat mengikuti standar dunia yang telah teruji antara lain :Jaringan Termination, penghantar atau down conductors, jaringan pembumian grounding dan bonding untuk menghindari side flashing.

Korosi adalah hal yang sering terjadi pada sistem penangkal petir. dengan mutu material yang rendah banyak di jumpai penangkal petir yang terpasang hanya baik untuk 3-12 bulan. Setelah korosi terjadi pada semua komponen, sistem penangkal petir tidak lagi menghantar dengan sempurna. Akibatnya jelas kerugian material sampai bahaya kematian bagi manusia pastikan semua sistem penangkal petir terbuat dari material tembaga murni, bukan campuran dan kualitas pabrik yang baik.

Penangkal Petir Sistem Franklin, penangkal petir sistem Franklin menggunakan ide melindungi kerucut, dimana jari-jari alasnya sama dengan tinggi kerucut. Tinggi penangkal petir dari permukaan tanah ke puncak penangkal petir di gedung.

Jenis penangkal petir dengan sistem Franklin ini banyak dipakai karena ekonomis. Metode ini menggunakan konduktor yang mampu melindungi wilayah dalam bentuk kerucut dengan ketinggian sebanding dengan radius bagian atasnya. Metode ini sesuai digunakan untuk bangunan menara masjid atau gereja, cerobong asap, menara tower, antena pemancar radio, gedung-gedung yang tinggi dimana area yang harus dilindungi berbentuk kerucut dan juga biaya instalasi tidak terlalu mahal.



Gambar 5. Radius Perlindungan Sistem Franklin

Sistem pembumian atau pentanahan yang efektif adalah permintaan dasar dari semua struktur bangunan modern selain itu juga diperlukan untuk sistem operasional dari segi keamanan terhadap kebocoran tegangan listrik. Pembumian umumnya merupakan keharusan untuk keperluan peralatan antar lain :

1. Pembangkit listrik serta sistem transmisi dan distribusinya.
2. Penangkal petir.
3. Pembuangan listrik statis.
4. Telekomunikasi.
5. Peralatan computer



Gambar 6 . Finial Penangkal Petir

Untuk konduktor di dalam tanah, sebaiknya di gunakan tembaga yang tahan terhadap korosi dan ekonomis plat tembaga atau cooper tape sangat cocok untuk sistem yang memerlukan kehandalan dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 7. Sudut Pembelokan Sambungan Konduktor

Earth rods dan Earth plates, untuk mencapai pembumian yang efektif diperlukan batangan tembaga Earth rods yang ditanam kedalam tanah dengan kedalaman tertentu. Namun bila kedalaman tanah terbatas misal, ditanam yang berbatu dapat juga menggunakan lembaran tembaga Earth plate. Lembaran tembaga juga digunakan sebagai proteksi terutama di gardu listrik tegangan extra tinggi.



Gambar 8a . Klem Kabel



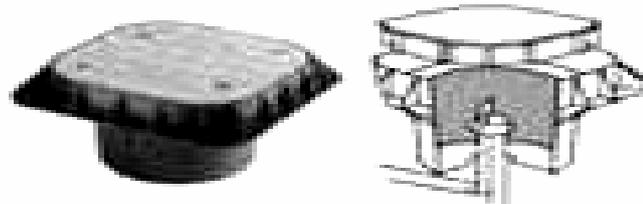
Gambar 8b . Klem Penjepit

Konektor dan Terminal, konduktor yang baik juga memerlukan konektor yang baik untuk penyambungan, selain itu terminal dengan kualitas tinggi tidak kalah pentingnya untuk membangun sistem yang handal dan tahan lama. 70% gangguan yang terjadi pada installasi pembumian terjadi karena sambungan yang tidak sempurna dan terminasi yang longgar. Ini semua diperburuk oleh korosi alamiah, namun bilamana kita menggunakan materil dengan mutu yang baik semua gangguan dapat di perkecil. Berikut ini beberapa contoh gambar konektor dan terminal :



Gambar 9. Bare Copper Tape

Earth Inspection Pits, batang tembaga yang ditanam di tanah harus mempunyai bak-kontrol yang memadai guna memudahkan pemeliharaan dan menjaga kualitas pembumian tetap prima. sistem bak kontrol PVC di desain sangat efficient dan dapat menahan berat sampai 5Ton, sehingga aman untuk di pasang di jalan yang dilalui kendaraan.



Gambar 10. Bak-kontrol Earth Inspection Pits

Sistem Perlindungan Electronic Transient Over Voltage, surge atau lonjakan tegangan tinggi meskipun terjadi sesaat bahkan tidak lebih dari 1/20 detik cukup dapat merusak peralatan elektronik yang sensitif. umumnya peralatan listrik (AC) dapat bekerja dengan baik dengan tegangan yang berkisar $\pm 10\%$ dan dapat bertahan pada tegangan 700V untuk durasi tidak lebih dari 200 micro detik.

Karena surge terjadi sangat cepat, sehingga kejadian tersebut tidak dapat di lihat mata kita, namun percayalah bahwa dalam 1 hari terjadi banyak transient atau overvoltage, surge dengan sekala bervariasi mulai dari beberapa volt saja sampai ribuan volt per kejadian. Fungsi perlindungan dari instalasi penangkal petir untuk proteksi peralatan seperti, Komputer, Data communication network, Building management, PABX, CCTV, Alarm, Telekomunikasi, PLC.

Earthing (Arde), batang elektroda pentanahan atau arde merupakan peralatan yang terbuat dari bahan tembaga yang bersifat konduktor atau penghantar yang baik, Batang elektroda pentanahan atau arde ini di tanam ke dalam tanah dan berfungsi sebagai penyalur atau meneruskan arus listrik dari konduktor arde ke dalam bumi, spesifikasi arde yang dibutuhkan antara lain :

1. Sangat di perlukan kondisi arde yang baik agar mampu menghilangkan arus petir dengan cara cepat dan aman ke dalam bumi.
2. Yang memiliki tahanan tanah < 5 ohm.

Tujuan utama dari berbagai sistem pentanahan tersebut adalah untuk mendapatkan tahanan kontak ke tanah yang cukup kecil. Untuk mengetahui sejauh mana tahanan kontak ke tanah dapat diperkecil.

Pengukuran Tahanan Jenis Tanah, faktor keseimbangan antara tahanan pengetanahan dan kapasitas di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa factor, antara lain : jenis tanah (tanah liat, pasir berbatu), lapisan tanah (tahanan jenis berlainan) , kelembaban tanah dan suhu /temperatur tanah.

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai dengan 500.000 Ohm per cm^3 . kadang-kadang harga ini dinyatakan dalam Ohm-cm. pernyataan ohm-cm merepresentasikan tahanan di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1 cm^3 . Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pengetanahan dapat di lakukan dengan menanamkan elektroda sampai mencapai kedalam di mana terdapat air tanah yang konstan. Pada sistim pengetanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, dimana variasi tahanan jenis tanah sangat besar. Karena kadang kala penanaman memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan paling buruk, yaitu tanah kering.

Untuk mengukur tahanan jenis tanah diperlukan setelah diperoleh harga tahanan jenis tanah, dan biasanya diambil harga yang tertinggi, maka berdasarkan harga tahanan jenis tanah tersebut dibuat perencanaan pengetanahan. Jadi pada suatu perencanaan pengetanahan, pengukuran tahanan jenis tanah pada tempat di mana di dirikan penangkal petir sebaiknya dilakukan terlebih dahulu.

Konfigurasi Penanaman Elektroda Tanah, elektroda yang banyak di gunakan adalah elektroda berbentuk batang dan elektroda strip. Dimana elektroda batang tersebut ditanam kedalam tanah dengan cara vertical dan elektroda strip ditanam kedalam tanah dengan cara horizontal. Elektroda batang banyak di gunakan karena mudah pemasangannya terutama dapat memenuhi syarat nilai tahanan yang dibutuhkan, dapat juga di lakukan pemasangan beberapa elektroda secara paralel dan mempunyai keuntungan antara lain ; misalkan elektroda berada pada dua lapisan tanah yang mempunyai tahanan jenis yang berlainan, maka seandainya lapisan tanah yang di atas mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi tetapi lapisan tanah dibawahnya mempunyai tahanan jenis tanah yang rendah, maka elektroda pentanahan tetap dapat mencapai nilai tahanan jenis tanah yang rendah. Elektroda strip digunakan bilamana lapisan tanah di bawah permukaan tanah yang dangkal mempunyai tahanan jenis tanah yang rendah, sedangkan lapisan dibawahnya terdiri dari jenis tanah yang keras yang memiliki tahanan jenis tanah yang tinggi. Sering juga dikombinasikan antara penanaman elektroda yang vertikal dengan yang horizontal untuk mencapai hasil yang lebih memuaskan.

PEMBAHASAN

Penangkal Petir Pada Gedung, sambaran petir terhadap bangunan dapat mengakibatkan kerusakan dan bahaya yang di akibatkannya, maka pada yang tinggi dibutuhkan suatu peralatan pelindung terhadap sambaran petir. Sehingga di butuhkan istallasi penangkal petir yang dapat berfungsi dengan baik guna mengamankan bangunan, peralatan di dalam bangunan dan orang-orang yang bekerja di dalam bangunan tersebut.

Berdasarkan hal tersebut dapat diperkirakan bahwa sistem penangkal petir yang baik untuk gedung tinggi dan runcing atau memiliki menara atau tower yang tinggi adalah sistem penangkal petir jenis Franklin. Dengan menggunakan model atau prinsip metode penggunaan praktis dihitung kemungkinan bangunan tinggi tersambar petir dan proteksi petir pada bangunan. Sebagai aplikasi metode, perhitungan dipakai untuk menghitung proteksi sambaran petir pada bangunan gedung PT Telkom Kota Tegal.

Data Bangunan Gedung PT Telkom Kota Tegal, dilihat dari bentuk dan peruntukan bangunan gedung PT Telkom Kota Tegal seperti pada Gambar 11, yang berlokasi di Jl. Gajah Mada Kota Tegal. Analisa data pada gedung PT Telkom Kota Tegal ini adalah sebagai berikut :

- Bangunan banyak orang bekerja di dalamnya.
- Konstruksi beton bertulang
- Bahan dinding samping terdiri dari tembok dan kaca.
- Memiliki menara pemancar radio link dengan ketinggian 40 meter.
- Ukuran dasar bangunan 25 x 35 meter



Gambar 11. Gedung PT Telkom Kota Tegal

Data Perlindungan Petir Tegal, jenis perlindungan petir yang digunakan adalah jenis Franklin, pelindung petir batang tegak terdiri dari kepala berujung runcing dan batang besi peninggi yang terpasang tegak. Pemasangan sebagai berikut : Pertama, dilakukan pemasangan Satu buah batang finial dan besi batang tegak setinggi 3 meter dan di pasang pada tower pada bagian atasnya setinggi 45 meter. Kedua, jarak pemasangan perlindungan petir tegak dengan sisi bangunan bagian tepi adalah kurang lebih 5 meter.

Sistem Grounding atau Sistem pengetanahan yang dipakai adalah dengan elektroda batang yang ditanam tegak lurus pada permukaan tanah sampai didapat tahanan pentanahan sebesar kurang dari 5 Ω . Dari hasil pengukuran dilapangan didapat untuk elektroda batang dari pipa besi dengan \varnothing 1" yang ujungnya dipasang runcingan tembaga dengan panjang 2 meter dengan tahanan 3 Ω . Perletakkannya dari tepi bangunan atau benda lain yang dikhawatirkan dapat rusak karena sambaran petir adalah 2 meter dengan perhitungan, untuk perhitungan jarak aman dapat

Risiko Kegagalan Proteksi, dikarenakan luas penampang penghantar tidak sesuai dengan data yang ada, Dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah diberikan sebelumnya, maka akan didata kegagalan proteksi berdasarkan data-data yang ada. Dengan memilih besaran arus minimum (dianjurkan 5 kA) dapat diketahui jarak sumber yang terjadi. Dari harga arus minimum ini dicari kemungkinan untuk mendapatkan serangan dengan besaran arus akan berkurang atau sama dengan sebuah penghasil kegagalan.

KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa dan mendapat beberapa hasil berdasarkan dari data-data yang ada, maka dapat di simpulkan :

1. Perletakannya dari tepi bangunan atau benda lain yang dikhawatirkan dapat rusak karena sambaran petir
2. Jarak sambaran petir besarnya arus petir dan dimensi dari bangunan menentukan luas daerah yang menarik sambaran petir.
3. Dari hasil data untuk kasus "Sistem Proteksi Penangkal Petir Di Gedung PT. Telkom Kota Tegal bahwa sambaran yang di harapkan dapat mengurangi resiko tersambarnya petir.

DAFTAR PUSTAKA

- F. Dawalibi, D. Mukhedar, Influence of Ground Roads on Grounding grids, IEEE Tran on PAS, Vol. Pas – 98, No. 6, Nov / Dec. 1979
- F. Dawalibi, D. Mukhedar, Parametric Analysis of Grounding Grids, IEEE Tran on PAS, Vol. PAS – 98, No. 5, Sept / Oct. 1979
- Hutauruk, TS, Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, Erlangga, Jakarta, 1987
- H. B. Dwight, Calculation of Resistance of Ground, Tran. Vol 5, Dec 1936
- IEEE, Guide for Safety in AC Substation Grounding, Std, 80 – 1986, March 21, 1985
- IEEE, Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground 92

PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK PADA SALURAN 20 KV DI PT. PLN (PERSERO) APJ YOGYAKARTA

Mujiman¹, Tukino²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

ABSTRACT

The development of electric power system is rapidly making equipment safety system is in need to factor the reliability and convenience of electric energy consumption continues. Transformer is a major component in a substation that should receive proper security. Determination of the optimal distance between arrester protection with distribution transformers 20 KV / 220 Volts must be carefully calculated so that in the event of interruption can be isolated due to lightning surge overvoltage surge if lightning comes a substation, the more voltage will damage isoalsi substation equipment, therefore made pelidung tool so that a voltage surge which arrived at the substation does not exceed the power substation equipment isoalsi. By the time normal network voltage arresters as isoalsi, but if there is a lightning surge protector arrived at the terminal then arresters changed as a conductor and the charge drain to ground lightning surge.

Keywords; Substation, Arrester, and Surja lightning.

PENDAHULUAN

Pada masa sekarang listrik sudah merupakan suatu yang sangat penting sekali dalam kehidupan sehari – hari, dengan adanya kemajuan teknologi, juga memungkinkan adanya kemajuan dibidang kelistrikan. hal ini maka dibutuhkan manajemen proteksi sistem tenaga listrik pada saluran 20 KV didalam suatu industri sebagai sarana untuk meminimalisir dan menstabilkan tegangan.

Penelitian ini untuk mencari solusi segala gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi maupun transmisi. Sistem manajemen ini meliputi : Penghematan energi, cara menanggulangi gangguan. Hal ini sangat memudahkan kita untuk menyelesaikan gangguan yang terjadi, sehingga perlu pengamanan atau tindakan yang meliputi antara lain jenis dan bahan isolasi maupun alat yang digunakan serta batas- batas tegangan aman yang diizinkan.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui penempatan alat proteksi apakah memenuhi standart yang di ijin dan untuk mengetahui nilai rating tegangan pada alat proteksi

METODE PENELITIAN

Untuk mendapatkan data yang akurat secara optimal maka akan dibuat analisisnya. Serta menggunakan berbagai pendekatan tetapi intinya mewujudkan suatu konsep panduan berbagai literatur sehingga menjadi hasil yang konkrit.

1. Penemuan masalah/ide.

Yaitu usaha untuk mendapatkan konsep pembuatan piranti/instrumen yang ditindak lanjuti dengan prototip.

2. Membuat perkiraan penyelesaian masalah.

Yaitu perkiraan tentang kemungkinan mewujudkan konsep yang didapat menjadi bentuk yang sesungguhnya. Pada langkah ini diperlukan prosentase yang akan diperoleh, hambatan-hambatan serta peluang untuk mengembangkannya.

3. Menguji hipotesa dengan eksperimen.

Yakni mewujudkan konsep penelitian yang ada menjadi analisa yang sesungguhnya. Hasil analisis kemudian diuji untuk diidentifikasi kenerjanya, efisiensi serta profil lainnya.

Landasan teori.

Fungsi arester dalam sistem distribusi adalah untuk mengamankan isolasi peralatan terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh surja petir. Arestes pada sistem distribusi dibagi menjadi tiga tipe, yaitu tipe stasion, tipe jaringan (*line*), tipe distribusi.

1. Tipe stasion digunakan untuk melindungi peralatan gardu induk dan trafo tenaga dengan tegangan pengenal 3 kV - 242 kV. Ia mempunyai bentuk yang besar dan karakteristik proteksinya sangat baik dengan kapasitas arus *discharge* yang tinggi.

2. Tipe jaringan (*line*) digunakan untuk melindungi trafo tenaga kecil, trafo distribusi, peralatan distribusi dan kadang-kadang untuk gardu induk kecil.
3. Tipe distribusi digunakan untuk melindungi peralatan distribusi pasangan tiang dengan tegangan pengenal sampai 15 kV.

Dilihat dari konstruksi dan cara kerjanya arester yang digunakan dalam sistem distribusi dibedakan atas dua macam, yaitu arester silikon karbid dan arester zinc oxide.

Arester Silikon Karbid

Arester silikon karbid terdiri atas sederetan celah udara yang terhubung seri dengan tahanan non linier. Celah udara dan silikon karbid ini terbungkus di dalam selubung porselin. Silikon karbid mempunyai karakteristik operasi .

Arester Zinc Oxide

Arester zinc oxide berbeda dengan tipe silikon karbid, karena arester ini tidak mempunyai celah udara yang berfungsi untuk memulai surja arus petir dan tenaga untuk memutus arus susulan. Arester zinc oxide hanya mempunyai tahanan linier yang ekstrim.

Trafo Distribusi

Trafo yang dipakai pada sistem distribusi, yaitu trafo tiga fasa dan trafo satu fasa. Trafo distribusi di PT. PLN (Persero) APJ Jogjakarta terdiri atas beberapa merk, antara lain Unindo, Bambang Jaya, Starlite, Morawa, Sintra, General Electric, Hico, Dozer, Trafindo, Asata Utama, dan lain-lain. Berdasarkan standar IEC 76-1 (1976) dan SPLN 8A (1978) nilai-nilai daya pengenal pada trafo distribusi adalah sebagai berikut:

Tabel .1. Nilai-Nilai Daya Pengenal Trafo Distribusi 1 Fasa dan 3 Fasa

<u>No</u>	<u>kVA</u>	<u>kVA</u>	<u>kVA</u>
1	5	40	315
2	6,3	50	400
3	8	63	500
4	10	80	630
5	12,5	100	800
6	16	125	1000
7	20	160	1250
8	25	200	1600
9	31,5	250	

Tegangan Primer trafo distribusi ditetapkan sesuai dengan tegangan nominal sistem pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang berlaku di lingkungan PLN, yaitu 6 kV dan 20 kV. Dengan demikian ada tiga macam trafo yang dibedakan oleh tegangan primernya, yaitu:

1. Trafo bertegangan primer 6 Kv.
2. Trafo bertegangan primer 20 kV.
3. Trafo bertegangan primer 6kV dan 20 kV. yang dapat dipindahkan dengan sebuah pemindahan tegangan (komutator). Trafo bertegangan ganda ini dibuat dengan kapasitas 100 kVA sampai 630 kVA.

Tegangan sekunder yang berlaku di lingkungan PLN adalah 220 V untuk sistem fasa tunggal dan 380 V untuk sistem fasa tiga.

Tingkat isolasi dasar (TID) bagi trafo distribusi telah ditetapkan dalam SPLN 7 (1978), yaitu 125 kV. Berikut ini adalah contoh pengenal trafo distribusi yang dipakai di PT. PLN (Persero) APJ Jogjakarta:

Transformator Pasangan Luar

Standar IEC 76 Jumlah Fasa lDaya 50 kVA

Frekuensi 50 Hz Tipe CSP Tegangan Pengenal

Primer	: 20000 Grdy/ 1 1547 V
Sekunder	: 462/ 231 V Arus Pengenal
Primer	: 4,33 A
Sekunder	: 108,2 A
Suhu Sekitar	: 40 °C
Kenaikan Suhu	: 60 °C

Impedansi : 75 °C ; 2,82 %
 Vector Group : Iio
 TID : 125 kV
 Berat Minyak : 60 kg
 Berat Total : 340 kg
 Tahun Pembuatan: 5.95
 No. Seri : 950 05 39
 Diproduksi Oleh : PT. Bambang Djaja

Lokasi Penempatan Arester

Arester ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi. Tetapi untuk memperoleh kawasan perlindungan yang lebih baik, maka ada kalanya arester ditempatkan dengan jarak tertentu dari peralatan yang dilindungi. Tempat-tempat dimana arester dipasang adalah:

1. Di depan peralatan yang dilindungi (pada trafo distribusi dipasang pada sisi TM, sedangkan untuk peralatan yang kedua sisinya terhubung pada jaringan TM, arester harus dipasang kedua sisinya seperti AVR, recloser. dan kapasitor).
2. Di ujung jaringan. Pada ujung jaringan atau tiang akhir gelombang surja petir yang sampai pada titik tersebut akan naik dua kali lipat karena terjadinya pembalikan polaritas.
3. Di titik peralihan SUTM dengan SKTM, yaitu di terminal kabel pasangan luar.
4. Di sepanjang SUTM pada setiap sekurang-kurangnya 1000 m dalam kawasan yang frekuensi petirnya banyak.

Jarak arester dengan peralatan yang dilindungi berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang tiba pada peralatan. Jika jarak arester terlalu jauh, maka tegangan yang tiba pada peralatan dapat melebihi tegangan yang dapat dipikulnya. Hal ini dapat dijelaskan dengan konsep gelombang berjalan Gelombang tegangan merambat pada suatu jaringan yang impedansi surjanya Z_1 , menuju suatu jaringan yang impedansi surjanya Z_2 . Titik T adalah titik persambungan kedua jaringan, dapat berupa titik sambung jaringan hantaran udara dengan kabel, atau titik sambung jaringan dengan trafo atau ujung dari suatu jaringan. Tegangan pada titik T dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$e_t = e \dots\dots\dots(1)$$

Karena arus yang dipantulkan berpolaritas negatif, maka arus pada titik T adalah sebagai berikut:

$$i_t = i_f - i_r \dots\dots\dots(2)$$

Menurut hukum Ohm:

$$i_f = \frac{e_f}{Z_1} ; i_t = \frac{e_t}{Z_2} ; i_r = \frac{e_r}{Z_1} \dots\dots\dots(3)$$

Substitusi persamaan (4-3) ke dalam (4-2), sehingga diperoleh:

$$\frac{e_t}{Z_2} = \frac{e_f}{Z_1} - \frac{e_r}{Z_1} \dots\dots\dots(4)$$

Dari persamaan (1) diperoleh tegangan e_r dan jika tegangan ini disubstitusikan ke dalam persamaan (4), maka diperoleh:

$$\frac{e_t}{Z_2} = \frac{e_f}{Z_1} - \frac{e_t - e_f}{Z_1}$$

$$\frac{e_r}{Z_2} + \frac{e_t}{Z_1} = \frac{2e_f}{Z_1}$$

atau

$$e_t \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_2} = \frac{2e_f}{Z_1}$$

atau

$$e_t = e_f \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(5)$$

dengan cara yang sama tegangan yang dipantulkan dapat diturunkan, diperoleh:

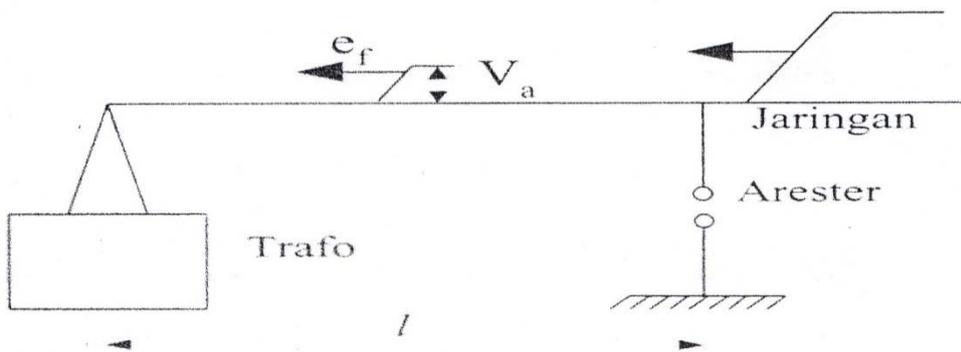
$$e_r = e_f \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(6)$$

maka Z_2 adalah trafo, maka $Z_2 = \infty$, maka tegangan yang diteruskan pada terminal trafo adalah:

$$e_t = 2e_f \dots\dots\dots(7)$$

artinya, tegangan pada terminal trafo dua kali tegangan yang datang menuju terminal trafo.

Sekarang dimisalkan ada suatu arester terpasang diantara jaringan dengan trafo seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 4 Trafo dan Arester Terpisah

Suatu gelombang tegangan merambat menuju terminal trafo dan ketika gelombang tiba di terminal arester, arester bekerja sehingga gelombang yang diteruskan ke trafo adalah seperti gelombang e_f , dimana kecuraman muka gelombang sama dengan gelombang semula dan puncaknya sama dengan tegangan percik sela arester (V_a). Menurut persamaan (10), tegangan pada terminal trafo adalah dua kali tegangan yang datang. Karena tegangan yang datang merupakan fungsi waktu, maka tegangan pada terminal trafo juga merupakan fungsi waktu. jika $t = 0$ dihitung saat gelombang tiba di terminal arester dan kecepatan merambat gelombang adalah v , maka waktu tempuh gelombang dari terminal arester ke terminal trafo adalah:

$$t = \frac{l}{v} \dots\dots\dots(-8)$$

Tegangan pada terminal trafo terbentuk dalam waktu tempuh $2t$ atau $2\frac{l}{v}$, yaitu waktu tempuh

tegangan pantulan menuju arester ditambah dengan waktu tempuh tegangan pantulan negatif dari arester kembali menuju terminal trafo. Tegangan maksimum terminal trafo pada pantulan pertama gelombang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V_t = V_a + 2t\lambda \dots\dots\dots(9)$$

atau

$$V_t = V_a + 2\frac{l}{v}\lambda \dots\dots\dots(10)$$

dimana:

- l = jarak maksimal arester dengan peralatan (m)
- V_t = tegangan pada terminal trafo (kV)
- V_a = tegangan percikan arester (kV)

- λ = kecuraman muka gelombang tegangan surja (kV/ ,cas)
 v = kecepatan merambat tegangan surja (m/ μ s)

PEMBAHASAN

Sebuah trafo distribusi 20 kV/ 220 V dengan tingkat isolasi dasar (TID) pada gelombang penuh 125 kV. Trafo itu dihubungkan langsung dengan saluran distribusi udara dan ditanahkan tidak efektif (netral ditanahkan dengan tahanan), dilindungi oleh arester silikon karbid 18 kV, 5 kA. Sebuah gelombang surja dengan kecuraman muka gelombang tegangan 300 kV merambat menuju arester - trafo. Jika impedansi terpa 400 Ohm.

Tentukan:

- Apakah penggunaan arester 18 kV, 5 kA memenuhi syarat untuk dapat melindungi trafo distribusi 20 kV/ 220 V
- Jarak maksimal antara arester dengan trafo sehingga trafo itu cukup terlindung.

Penyelesaian:

Diketahui:

Trafo Distribusi 20 kV / 220 V

$V_{nom} = 20$ kV

$V_t = TID = 125$ kV

Arester silikon karbid:

18kV, 5KA

Gelombang surja:

$\lambda = 300$ kV

$Z = 400$ Ohm

Ditanyakan:

- Apakah arester yang digunakan memenuhi syarat ?
- Jarak maksimal antara arester dengan trafo (l) ?

Jawab:

a. Tegangan tertinggi yang mungkin timbul pada kawat pada waktu gangguan kawat ke tanah biasanya diambil 110 % dari tegangan jala-jala. Jika dimisalkan $kg = 0,8$. Berdasarkan tegangan pengenalan arester:

$$V_{arester} = 1,1 \text{ Kg } V_{nom}$$

$$V_{arester} = 1,1 \times 0,8 \times 20 = 17,6 \text{ kV}$$

Jadi tegangan pengenalan arester yang dipilih adalah 18 kV.

Berdasarkan karakteristik proteksi arester silikon karbid, tegangan percikan (*Spark Over*) arester (V_a) adalah 39 kV. dan berdasarkan persamaan tingkat perlindungan arester (V_p).

$$V_p = V_a \times 1,1$$

$$= 39 \times 1,1$$

$$= 42,9 \text{ kV}$$

jadi tingkat perlindungan arester (V_p) atau tegangan tertinggi pada terminal arester saat mengalirkan arus surja adalah 42,9 kV.

Selisih BIL peralatan yang dilindungi dengan tingkat proteksi arester yang melindunginya disebut margin, maka:

$$\text{Margin} = TID_{peralatan} - V_p$$

$$= 125 - 42,9$$

$$= 82,1 \text{ kV}$$

Faktor perlindungan jika ditinjau dari $TID_{peralatan}$ yang dilindungi:

$$\text{Faktor perlindungan} = \frac{82,1}{125} \times 100 \%$$

$$= 65,68 \%$$

Faktor perlindungan jika ditinjau dari tingkat proteksi arester (V_p):

$$\begin{aligned}\text{Faktor perlindungan} &= \frac{82,1}{42,9} \times 100 \% \\ &= 191,3 \%\end{aligned}$$

Jadi karena faktor perlindungan jika ditinjau dari TID_{peralatan} adalah 65,68 % lebih rendah daripada dan faktor jika ditinjau dari tingkat proteksi arester adalah 191,3 %, sehingga arester memenuhi syarat untuk dapat memberikan perlindungan pada trafo distribusi 20 kV / 220 V. Maka berdasarkan arus pelepasan atau arus peluahan nominal arester (I_a) $I_a = \frac{2\lambda - V_a}{Z}$
 $= 1,4025 \text{ kA}$

Jadi arus pelepasan arester (I_a) adalah 1,4025 kA. Sehingga pemilihan batas arus penangkal petir 5 kA adalah tepat.

Berdasarkan persamaan (10), maka jarak maksimum antara arester dengan trafo adalah :

$$V_t = V_a + 2 - \lambda$$

berdasarkan standar IEC (International Electrotechnical Commission), keamanan muka gelombang tegangan surja (λ) = 300 kv/ μ s dan kecepatan merambat tegangan surja (v) = 300 m/ μ s

$$125 = 39 = 2 \frac{\lambda}{300}$$

$$125 - 39 = 2\lambda$$

$$86 = 2\lambda$$

$$\lambda = 43 \text{ meter}$$

Jadi jarak maksimal penangkapan petir diletakkan pada lokasi sejauh 43 meter dari trafo distribusi 20 kV / 220 V.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis jarak perlindungan optimal antara arester dengan trafo distribusi 20 kV/ 220 V dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebelum suatu arester dipasang untuk melindungi suatu peralatan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu mengenai pengenalan atau Rating arester.
2. Karena fungsi arester adalah mengamankan peralatan distribusi dalam hal ini adalah trafo distribusi 20 kV/ 220 V, maka arester sebaiknya ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi.
3. Dalam memilih arester harus memiliki kepastian bahwa arester tersebut akan dapat melindungi peralatan dalam hal ini adalah trafo distribusi 20 kV / 220 V. Berdasarkan hasil perhitungan, arester silikon karbid 18 kV, 5 kA yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) APJ Yogyakarta memenuhi syarat untuk melindungi trafo distribusi 20 kV / 220 V.
4. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh jarak maksimal pemasangan arester terhadap trafo distribusi 20 kV / 220 V yang ditanahkan tak efektif adalah sejauh 43 meter. Menurut SPLN (1978) jarak pemasangan arester terhadap trafo yang ditanahkan tidak efektif adalah 6 meter. Jadi jarak antara arester dengan trafo distribusi 20 kV / 220 V yang dipasang di lapangan oleh PT. PLN (Persero) APJ Yogyakarta masih berada dalam batas yang diijinkan

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar Artono Prof. Dr. Teknik Tegangan Tinggi. Jakarta: Pradya Paramita, 2001
- Hamzah Berahim. Perlengkapan Transmisi Tegangan Tinggi Arus Searah Dan Aspek – Aspek Teknis Ekonomis Serta Kemungkinan Penggunaannya di Indonesia. Yogyakarta: Fakultas Teknik UGM.
- Hutauruk. T.S. Gelombang Berjalan pada Sistem Transmisi dan Proteksi Peralatan Terhadap Surya. ITB Bandung. Hutauruk. T.S. Gelombang Berjalan dan Proteksi Surya. Erlangga, Jakarta, 1991.
- Pabla A.S. Sistem Distribusi Daya Listrik. Terjemahan Oleh Abdul Hadi. Jakarta: Erlangga, 1986
- Van Harten, P.E. Setiawan. Instalasi Listrik Arus Kuat Barkle. JE & Burn, Glass. WE. 1978. Protection Relaying For Power System, Khanna Publishers, New Delhi. Jilid I. Bandung: Bina Cipta, 1981.

ALAT KONTROL KESINAMBUNGAN DAYA OTOMATIS AKIBAT ADANYA BEBAN LEBIH

Wahyu K. Raharja¹, Any K. Yapie², Firdaus O. Utama³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
e-mail: ¹wahyukr@staff.gunadarma.ac.id, ²yapie@staff.gunadarma.ac.id,
³firdausoktautama@yahoo.com

ABSTRACT

Often occurs in power consumption that exceeds the installed power in the home, resulting in power loss suddenly. So that we need a tool to detect excessive electrical loads. This tool can be an alternative to maintaining the continuity of electricity supply, to avoid electrical overload. This tool was made using the Arduino Uno board as a controller and flow sensor as measuring the flow of electricity. This system can detect changes of electrical flow in the circuit of the electrical installation. The Automatic Continuity Control of Power tool was composed by blocks of input (sensors and keypads), block of process (Arduino Uno board), drivers block, and block of output (circuit simulation and LCD viewer). Based on the test results of load shedding, this tool can function properly to shutdown the electrical load which has a low priority.

Keywords - Automatic Power Continuity Control, Flow Sensors ACS758, Load Shedding

PENDAHULUAN

Listrik menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat modern. Listrik sangat luas pemanfaatannya dalam bidang industri, perkantoran hingga perumahan. Hampir semua peralatan rumah berbasis tenaga listrik, seperti pompa air, kulkas, lampu penerangan, pendingin ruangan, televisi dan peralatan elektronik lainnya.

Pasokan listrik yang diberikan oleh PLN untuk perumahan terbatas tergantung daya terpasang yang dimiliki oleh rumah tersebut. Tetapi seringkali kebutuhan listrik yang digunakan oleh pemilik rumah terlalu besar melebihi kapasitas daya terpasang, sehingga sering terjadi padamnya listrik secara mendadak. Agar listrik yang digunakan tidak padam saat digunakan akibat beban terlalu besar biasanya pemilik rumah menambahkan daya pada PLN, tetapi untuk menambah daya itu harus membayar dengan harga yang cukup mahal untuk pemasangan dan penambahan daya pada meteran, belum lagi membayar PPN yang lebih mahal sehingga tidak semua pemilik rumah dapat menambahkan listrik dengan mudah.

Beberapa peralatan listrik memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap kesinambungan tersedianya energi listrik, salah satunya adalah Komputer. Berbeda pada kebanyakan peralatan berbasis listrik lain, dalam mematikan komputer harus melalui prosedur yang telah tersedia dalam sistem operasi komputer itu sendiri yaitu prosedur *shut down*. Seandainya komputer mati secara tiba-tiba karena padamnya listrik, maka berpotensi menimbulkan kerugian diantaranya hilangnya data kerja karena belum disimpan secara sempurna, permasalahan pada salah satu perangkat lunak atau program yang sedang bekerja, atau masalah lain yang lebih serius.

Seringkali terjadi listrik dirumah padam secara tiba-tiba disebabkan oleh masuknya beban listrik yang mempunyai arus awal yang besar, misalnya menghidupkan pompa air, pendingin ruangan, pemanas listrik dan peralatan lainnya saat keadaan konsumsi listrik waktu itu hampir mendekati daya maksimum yang tersedia. Maka dalam beberapa keadaan pemilik rumah seringkali mematikan beban listrik yang lain sebelum menghidupkan beban listrik yang besar dengan tujuan agar tidak menyebabkan listrik padam.

Tindakan melepaskan beban lain dengan tujuan mengamankan kesinambungan tersedianya listrik dikenal sebagai *load shedding* [Karim K., 2008]. Dalam sistem pembangkitan listrik besar, load shedding merupakan suatu bentuk tindakan pelepasan beban yang terjadi secara otomatis ataupun manual untuk pengamanan operasi dari Unit-unit pembangkit dari kemungkinan terjadinya padam total (Black out). Pelepasan beban secara otomatis dilakukan dengan melihat kondisi sumber daya

pembangkit yang beroperasi tidak mencukupi kebutuhannya (kemampuan pembangkitan lebih kecil daripada kebutuhan beban listrik) [Sofwan A., 2009].

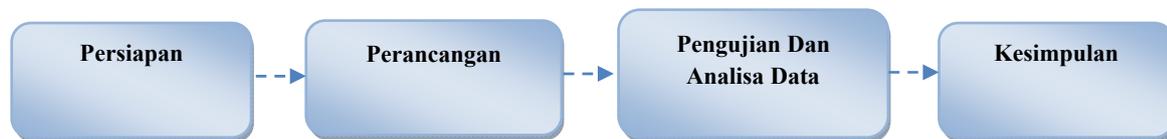
Agar semua kondisi yang tidak diinginkan tidak terjadi, seperti hilangnya dokumen kerja yang belum disimpan ketika menyalakan komputer, rusaknya komponen komputer yang digunakan dan yang lainnya, maka penelitian ini mencoba mengadaptasi metode yang diterapkan pada industri listrik ke sistem listrik perumahan dengan membuat penelitian yang berjudul Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis terhadap Beban Lebih Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno

METODE

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

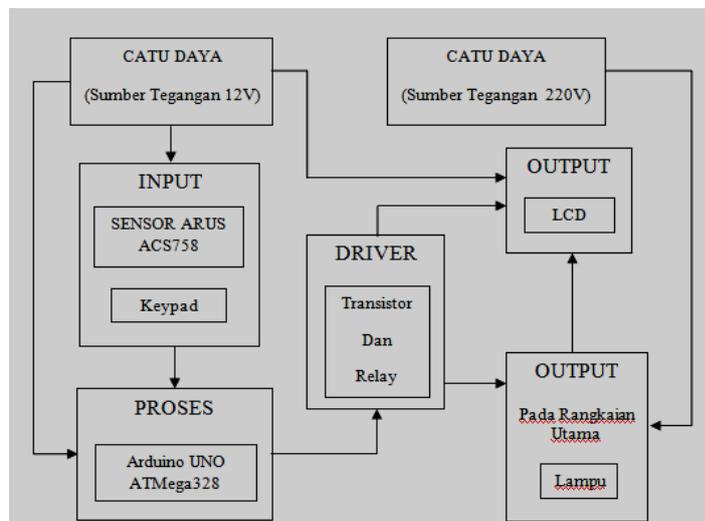
1. Hardware yang terdiri dari : 1) berupa *Current Sensor ACS758*; 2) keypad; 3) mikrokontroler Arduino UNO; 4) lampu pijar 60W; 5) Penampil LCD 2x16
2. Software : Code Vision AVR

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Alat ini dibagi menjadi dua rangkaian yaitu rangkaian pengendali dan rangkaian beban. Blok diagram rancangan peralatan ditunjukkan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis

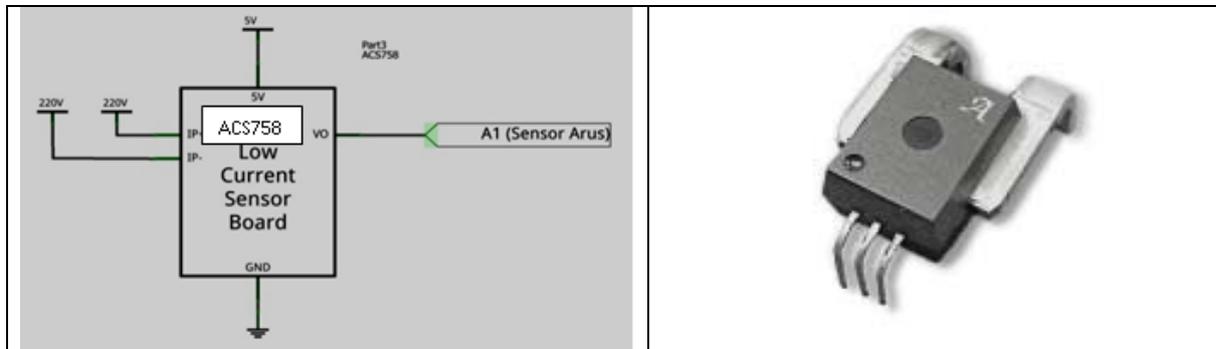
PERANCANGAN RANGKAIAN PENGENDALI

Blok Sumber Tegangan (Catu Daya), sumber tegangan yang biasa disebut catu daya berfungsi untuk mengaktifkan komponen rangkaian pengendali dan rangkaian utama. Pada komponen rangkaian pengendali ini diberi sumber tegangan sebesar 12 volt untuk mengaktifkan arduino dan coil relay. Sedangkan untuk mengaktifkan rangkaian utama diberi sumber tegangan sebesar 220V.

Blok input berfungsi sebagai pemberi masukan pada rangkaian Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis. Hasil dari data analog yang didapat oleh blok masukan selanjutnya akan diproses oleh Mikrokontroler. Blok input yang dibangun terdiri dari sensor dan keypad.

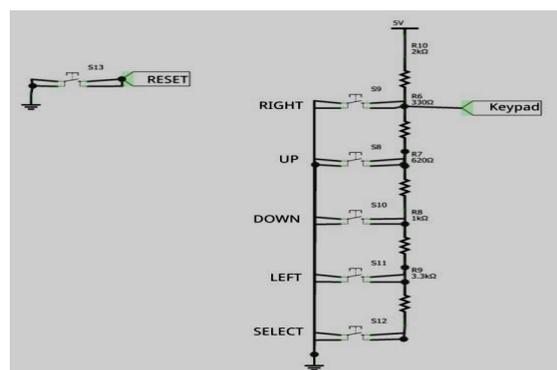
Sensor, input pada rangkaian Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis berupa sensor arus ACS75 [DF Robot, 2013], yang berfungsi untuk mengukur besar arus yang

dipakai pada suatu rangkaian listrik atau dalam simulasi ini adalah instalasi listrik di rumah. Penggunaannya menghubungkan sensor arus secara seri dengan kabel yang terhubung ke beban listrik.



Gambar 3. Skematik dan Tampilan Sensor ACS758 [DF Robot, 2013]

Keypad berfungsi untuk mengatur batasan nilai arus yang akan dilewati pada kabel tersebut untuk menentukan waktu proses terjadinya load shedding dan menentukan prioritas beban mana yang akan di lepas terlebih dahulu jika listrik yang digunakan melebihi kapasitas pemutus tenaga (circuit breaker). Keypad tersusun atas 6 buah tombol tekan yang dirangkai seperti gambar 4.



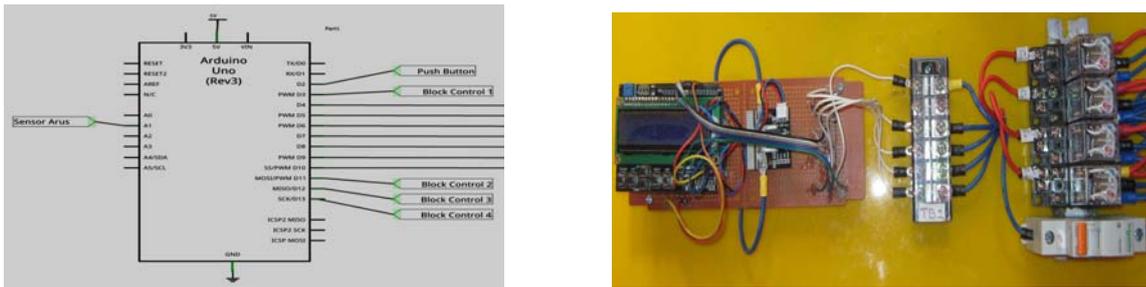
Gambar 4. Rangkaian Keypad

Blok proses, berfungsi untuk mengolah masukan yang diterima. Masukan data dari sensor arus akan diolah berdasarkan program yang telah ditanamkan dalam mikrokontroler Arduino UNO [Arduino, 2013]. Hasil olahan data tersebut akan dialihkan ke rangkaian selanjutnya sehingga dapat mengetahui keluarannya berupa data yang akan tampil pada LCD dan matinya beban pada rangkaian listrik utama tersebut.

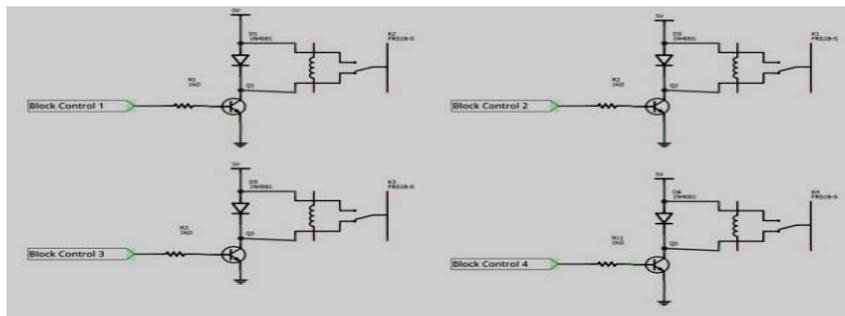
Blok driver ini adalah blok driver relay [Dien Elcom, 2013]. Relay berfungsi menerima perintah dari mikrokontroler untuk memberikan tegangan kepada koil, sehingga koil lepas dan beban pada rangkaian utama mati atau terputus jika arus yang ditentukan melebihi kapasitas yang telah di atur oleh mikrokontroler sehingga MCB tidak akan trip atau turun.

Pada blok output menggunakan penampil LCD 2x16 [DF Robot, 2013] yang berfungsi sebagai tampilan berupa nilai arus dan sinyal perintah untuk load shedding. Gambar 7 menunjukkan tampilan dari blok output.

Perancangan Rangkaian Beban, rangkaian beban yang merupakan kumpulan dari 14 buah lampu pijar 60W yang disusun secara paralel seperti gambar 8. Beban – beban listrik dikelompokkan berdasarkan urutan prioritas. Tiap – tiap rangkaian yang sudah dikelompokkan dihubungkan secara seri dengan kontak relay dengan spesifikasi 220V AC/ 5A. Susunan rangkaian beban didasarkan pada prioritas yang akan dipadamkan (shedding).



Gambar 5. Skematik dan Tampilan Peralatan Arduino Uno pada Blok Proses

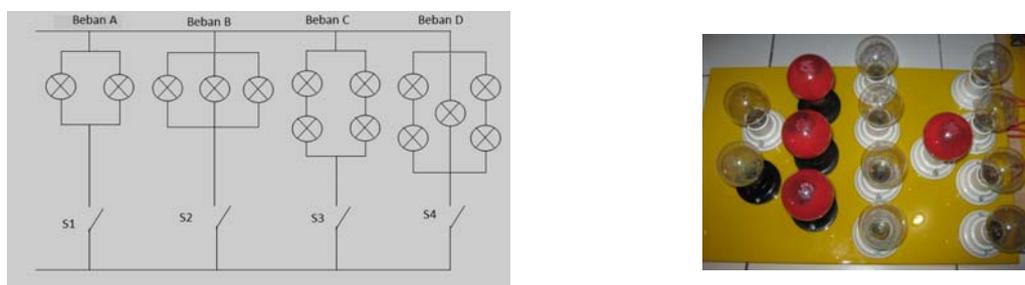


Gambar 6. Rangkaian driver



Gambar 7. Tampilan LCD 2x16 sebagai blok output

Prioritas pertama adalah 2 buah lampu pijar dipasang secara paralel, 3 buah lampu pijar dipasang paralel pada beban prioritas ke dua, 4 buah lampu pijar dipasang paralel pada beban prioritas ke tiga dan 5 buah lampu pijar dipasang paralel pada beban prioritas ke empat.



Gambar 8. Diagram skematik dan peralatan rangkaian beban pada blok output.

PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui proses kerja alat yang dirancang dengan langkah-langkah seperti berikut ini ::

1. Awal mula rangkaian beban diberi tegangan sebesar 220V. Aktifkan MCB pada posisi ON, kemudian tekan saklar untuk menghidupkan beban atau lampu pijar.

2. Rangkaian pengendali diberi tegangan 12V dari adaptor. LCD aktif dan tekan keypad untuk memilih batasan arus yang diinginkan agar terjadinya Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis
3. Pada layar LCD akan tampil kata “Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis ”, kemudian tampil kata “Set Batas Arus”, untuk menentukan besar arus yang akan menjadi nilai maksimum untuk Load Shedding bekerja, pada pengujian ini di set batas arus sebesar 2,5 Amper.
4. Sensor arus memberikan data digital berupa nilai besar Arus yang dilewati oleh kabel tersebut kepada mikrokontroler dan menampilkannya pada layar LCD.
5. Pada layar LCD akan tampil kata “Current 2.5 A” yang merepresentasikan Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis akan bekerja jika arus yang terdeteksi oleh sensor arus lebih dari 2,5 Amper.

Tabel 1. Hasil Pengujian Status Load Shedding (Beban yang diputus)

Pengujian	Kondisi Saklar ON	Nilai Arus (A) Pada LCD	Beban yang Diputus
1	S1, S2, S3, S4	6,25	A, B, C
2	S2, S3, S4	5,27	B, C
3	S1, S3, S4	4,87	A, C
4	S1, S2, S4	4,48	A, B
5	S1, S4	3,02	A
6	S3, S4	3,91	C
7	S2, S4	3,56	B
8	S4	2,15	-

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan hasil bahwa beban akas diputus jika nilai arus pada LCD melebihi batas seting arus yang telah diberikan yaitu 2,5 A. Kondisi yang terjadi pada variasi pengujian di tabel 2 dapat dijelaskan bahwa :

1. Jika beban yang digunakan lebih dari 2,5 Ampere maka beban yang ada pada prioritas 1 akan mati dalam keadaan saklar On.
2. Jika beban D dengan prioritas ke 4 masih membutuhkan beban yang banyak maka beban dengan prioritas ke2 akan di matikan, jika dengan matinya beban prioritas 1 dan ke 2 masih membutuhkan daya, maka beban ke 3 pun akan mati secara otomatis.
3. Jika nilai beban telah kembali normal, maka beban C, B, dan A yang awalnya mati akan hidup kembali secara otomatis sesuai prioritas penyalan.

Sebagai contoh pada pengujian 1, semua beban (S1, S2, S3 dan S4) dihidupkan maka pada layar LCD tampil nilai arus sebesar 6,25A, maka beban A, B, C yang dilepas (*shedding*).

Pengukuran Prosesntasi Error antara Nilai Arus pada LCD dengan Clamp Current (Tang Arus), pada bagian ini membahas tentang hasil pengamatan nilai arus yang error (kesalahan) pada layar LCD terhadap nilai arus yang tampil pada clamp current (tang arus) berdasarkan skenario pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengamatan nila Arus pada LCD dengan Tang Arus

Pengujian	Daya Terpasang (WATT)	Kuat Arus (A) Tampilan LCD	Kuat Arus (A) Tampilan Tang Arus	Error (%)
1	1400	6,25	5,90	5,93
2	1200	5,27	5,10	3,33
3	1000	4,48	4,20	6,67
4	800	3,56	3,40	4,71
5	600	2,53	2,30	5,65

Perhitungan prosentase error hasil pengukuran nilai arus pada LCD terhadap Tang Arus menggunakan persamaan berikut :

$$\%Error = \frac{I(\text{Clamp}) - I(\text{LCD})}{I(\text{Clamp})} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots$$

Ket

- 1) \bar{I} (LCD) : nilai arus yang tertera pada LCD
- 2) I (Clamp) : , nilai arus yang tertera pada tang arus
- 3) P (Daya) : beban yang terpakai pada simulasi berdasarkan skenario.

Perhitungan prosentase rata-rata error (%Rata – rata error) menggunakan persamaan berikut :

$$\%Rata - rata error = \frac{\sum error(\%)}{\sum skenario (uji)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- 1) $\sum error(\%)$, jumlah total nilai error.
- 2) $\sum skenario (uji)$, jumlah total banyaknya skenario.

Berdasarkan tabel 2 menunjukkan hasil pengamatan nilai arus pada LCD terhadap clamp current (tang arus) sehingga dapat diperoleh %Error dari perbedaan kedua hasil tersebut. Sebagai contoh percobaan 1, beban yang digunakan sebanyak 1400watt, pada layar LCD tampil nilai arus sebesar 6,25 A dan pada layar clamp current (tang arus) 5,90 A, jika dihitung dengan menggunakan pers (1) diperoleh %error sebesar 5,93%. Berdasarkan lima pengujian dengan variasi nilai daya terpasang diperoleh %rata-rata error sebesar 5,26% didasarkan pada persamaan (2).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan dan pengujian alat ini telah berhasil dengan baik. Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis tersusun atas blok input (sensor dan keypad), blok proses (papan Arduino Uno), blok driver, blok output (rangkaiian simulasi dan Penampil LCD). Berdasarkan hasil pengujian simulasi load shedding, alat ini telah dapat bekerja dengan mematikan beban yang mempunyai prioritas rendah. Sedangkan untuk Pengukuran Prosesntasi Error antara Nilai Arus pada LCD dengan Clamp Current (Tang Arus) mengasilkan Error rata-rata sebesar 5,26%.

DAFTAR PUSTAKA

Arduino, 2013 , Product Arduio Board Uno,. <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>>, diakses tanggal 7 November 2013.

DF Robot, 2013, 50A Current Sensor, <[http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/50A_Current_Sensor_\(SKU:SEN0098\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/50A_Current_Sensor_(SKU:SEN0098))>, diakses tanggal 2 November 2013

DF Robot, 2013, LCD Keypad Shield, , <[http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Arduino_LCD_KeyPad_Shield_\(SKU:_DFR0009\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Arduino_LCD_KeyPad_Shield_(SKU:_DFR0009))>, diakses tanggal 18 November 2013

Dien Elcom, 2013, Fungsi dan jenis – jenis relay, <<http://dien-elcom.blogspot.com/2012/08/fungsi-dan-jenis-jenis-relay.html>>, diakses tanggal 7 November 2013,

Karim K., 2008, Pelepasan Beban Otomatis menggunakan ANN_CLBP_FLC pada System Tenaga Listrik Industry Besar. Teknik Elektro ITS, Surabaya,

Miung, 2013 Pengertian dan fungsi MCB, <<http://www.miung.com/2013/05/pengertian-dan-fungsi-mcb-miniature.html>>, diakses tanggal 7 November 2013,

Ovianti K., 2012. Perancangan Prototipe Sistem Penerangan Otomatis Ruang Berjendela Berdasarkan Intensitas Cahaya. Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Tarumanegara, 2012.

Sofwan A., 2009, Sistem Proteksi Terhadap Kestabilan Frekuensi untuk Pelepasan Beban Berbasis Fuzzy Logic. Teknik Elektro PPS ISTN. Jakarta

ANALISIS PERBAIKAN TEGANGAN PADA SUBSISTEM DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR BANK DENGAN ETAP VERSI 7.0

Wiwik Handajadi¹

¹Electrical Engineering Dept. of Institute of Sains & Technology AKPRIND Yogyakarta
e-mail : wiwikhandajadi@gmail.com

ABSTRACT

The increasing of the business in the generally of inductive load industry, causing inductive reactive power demand increases. The increasing inductive reactive power in a system resulting in loss of voltage. One of the power loss that occurs due to decrease in the voltage on the transmission line, low power factor occurs causing the reliability of the system in delivering to consumers is reduced. Installation of capacitor banks carried on buses has decreased. This research was conducted at the Pusat Pengatur dan Distribusi (P3B) PT. PLN Central Java and D.I. Yogyakarta with simulation using ETAP program version 7.0. So that the power losses before the installation of bank capacitor at the Pedan subsystem shows losses of power of 16.34MW. Then, do the installation of bank capacitor at bus Palur, so power losses becomes 13.42MW, power losses on the bus Gondangrejo shows 13.37MW and power losses on the bus Wonogiri shows 13.17MW. From the calculation results, the bus Gondangrejo shows decreased voltage losses of 4.93% to 4.23% or an increase of voltage 142kV be 143.5kV. At the bus Palur shows decreased of the voltage losses from 3.51% to 3.04% or an increase of the voltage 144.9kV be 145.4kV. At bus Wonogiri shows decreased of the voltage losses from 14.2% to 12.2% or an increase of the voltage from 128.9kV be 131.1kV.

Keywords: Capacitor banks, subsystems, ETAP versi.7.0

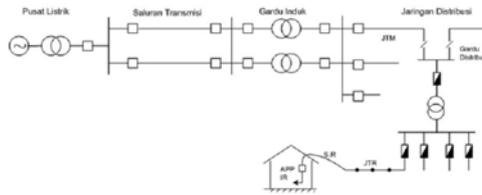
LATAR BELAKANG

Apabila terjadi gangguan pada sistem dan membuat sistem tidak berfungsi dengan baik atau terhenti total, maka akan dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu sistem tenaga listrik di seluruh wilayah operasi agar dapat mencegah hal-hal yang dapat merugikan sistem pembangkit listrik tersebut. Sistem penunjang keandalan penyediaan tenaga listrik harus tersedia mulai dari proses pembangkitan, transmisi hingga pendistribusian. Selain itu, dibutuhkan pula peralatan-peralatan sistem tenaga listrik yang dapat bekerja dengan sesuai dengan setting peralatan tersebut.

Meningkatnya usaha dibidang industri yang umumnya bersifat beban induktif, menyebabkan kebutuhan daya reaktif induktif meningkat. Meningkatnya daya reaktif induktif pada suatu sistem mengakibatkan terjadinya rugi tegangan. Terjadinya rugi tegangan pada penyaluran daya listrik akan berpengaruh terhadap besarnya susut energi (*losses*). Susut energi dalam sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari. Salah satu yang bisa dilakukan untuk mengurangi susut energi (*losses*) adalah melakukan perbaikan profil tegangan. Oleh karena itu tegangan pada sistem distribusi perlu dijaga sehingga tetap pada batas-batas yang diizinkan $\pm 5\%$ dari tegangan nominal system (PUIL, 2001).

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang terdiri dari pusat pembangkitan, saluran transmisi dan jaringan distribusi. Dimana secara keseluruhan berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke beban. Daya listrik yang dihasilkan pada pusat pembangkit ditransmisikan ke beban melalui saluran transmisi. Sebelum ditransmisikan ke jaringan distribusi, tegangan dinaikkan dengan menggunakan transformator *step-up* atau yang disebut trafo penaik tegangan pada pusat pembangkit. Gambar 1. menunjukkan proses pembangkitan hingga proses pendistribusian ke beban.

Perubahan tegangan dalam pengoperasian sistem tenaga listrik akan mengakibatkan bertambahnya rugi-rugi daya sehingga pada akhirnya akan mengakibatkan pemborosan pada pemakaian energi listrik. Pengoperasian sistem tenaga ada berbagai masalah pokok yang harus dihadapi yaitu: (Marsudi 1990). Pengaturan frekwensi, Tegangan dalam sistem, Pemilihan peralatan, Gangguan dalam sistem, Biaya operasi dan Perkembangan sistem



Gambar 1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Penurunan Tegangan

Pada umumnya beban yang terdapat pada sistem tenaga listrik bersifat resistif-induktif. Beban tersebut akan menyerap daya aktif dan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Penyerapan daya reaktif yang diakibatkan oleh beban induktif akan menyebabkan terjadinya jatuh tegangan pada tegangan yang disuplai generator. Akibatnya nilai tegangan di sisi penerima akan berbeda dengan nilai tegangan di sisi pengirim. Sehingga dapat ditulis dengan persamaan (1)

$$V_s^2 = (V_r + \Delta V_p)^2 + (\Delta V_q)^2 \dots \dots \dots (1)$$

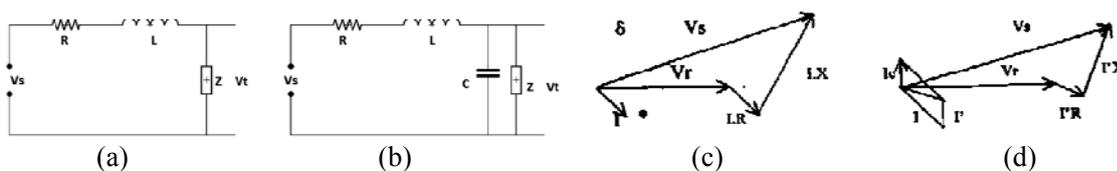
Dimana :

- V_s = tegangan di sisi pengirim
- V_r = tegangan di sisi penerima
- ΔV_p = jatuh tegangan
- $\Delta V_p = IR \cos\theta + IX \sin\theta$
- $\Delta V_q = IX \cos\theta - IR \sin\theta$

Kapasitor shunt

Kapasitor shunt merupakan kapasitor yang dihubungkan secara parallel dengan saluran yang dapat digunakan secara luas dalam sistem distribusi. Pemasangan kapasitor shunt sangat penting untuk penyedia daya reaktif dari sebuah sistem daya. Saluran transmisi akan paling ekonomis bila digunakan untuk mengirimkan daya aktif saja, yang kebutuhan daya reaktif bebannya didapat dalam sistem distribusi konsumen atau kebanyakan pada tingkat subtransmisi (Gardu Induk).

Kapasitor bank digunakan untuk mengurangi rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan sehingga dapat memperbaiki faktor daya secara keseluruhan. Terjadinya penurunan faktor daya disebabkan oleh beban di suatu tempat (area distribusi) yang pada prinsipnya bersifat kapasitif maupun induktif. Beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, yang kemudian akan dapat menimbulkan jatuh tegangan di sisi penerima. Oleh sebab itu pemasangan kapasitor bank dapat membantu beban untuk menyerap daya reaktif. Kompensasi yang dilakukan oleh kapasitor bank akan dapat mengurangi penyerapan daya reaktif sistem yang disebabkan oleh beban. Sehingga dengan demikian jatuh tegangan yang terjadi dapat dikurangi. Kompensator kapasitor yang terhubung parallel pada saluran akan mencatu daya reaktif, sehingga kapasitor bank dapat mengubah watak beban yang bersifat induktif. Gambar 2. merupakan gambaran dasar dari hubungan kapasitor yang terhubung secara parallel pada jaringan disertai vector diagramnya. Hal ini akan memperlihatkan bahwa ada perubahan pada vektor tegangan sebelum pemasangan kapasitor dan sesudah pemasangan kapasitor. (Gonen T : 1988). Pengaturan tegangan dengan menggunakan kapasitor bank selain dapat memperbaiki nilai tegangan juga dapat meningkatkan nilai faktor daya. Untuk stabilitas tegangan, kapasitor bank berguna untuk mendorong generator terdekat beroperasi dengan faktor daya mendekati satu.



Gambar 2. Rangkaian dan diagram vektornya, sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor secara paralel

Dengan adanya penambahan kapasitor C secara paralel terdapat arus I_c yang menyebabkan berubahnya beda sudut fasa yang diikuti dengan berkurangnya vector arus beban I dan penurunan tegangan menjadi lebih baik.

Sehingga dengan pemasangan kapasitor bank, nilai arus induktif yang mengalir ke beban akan berkurang. Hal ini dikarenakan beban mendapatkan suplai daya reaktif dari kapasitor bank. Gambar 2.4 besarnya penurunan tegangan pada saluran dapat dinyatakan pada persamaan (5)

$$V_D = I_R \cdot R + I_X \cdot X_L \text{ Volt} \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

- V_D : penurunan tegangan pada saluran
- R : tahanan total saluran
- X_L : reaktansi total saluran
- I_R : komponen arus nyata
- I_X : komponen arus reaktif pada X

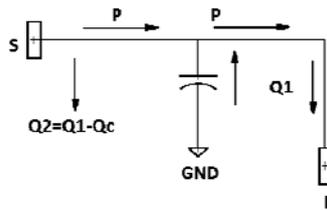
Apabila kapasitor dipasang setelah saluran atau pada beban maka dapat dinyatakan pada persamaan (6).

$$\begin{aligned} V_D &= I_R \cdot R + I_X \cdot X_L - I_C \cdot X_L \\ &= I_R \cdot R + X_L (I_x - I_C) \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

Dari persamaan (2) dan (3) dapat dilihat bahwa perbedaan penurunan tegangan akibat pemasangan kapasitor C sebesar $I_C X_L \text{ Volt}$ Sehingga dari pemikiran di atas dapat diartikan ternyata daya listrik yang dikonsumsi oleh beban terdiri dari daya nyata, daya semu dan daya reaktif. Sedangkan pusat-pusat pembangkit membangkitkan ketiga gaya tersebut, namun untuk mengimbangi besarnya beban yang bersifat reaktansi induktif tidak selamanya mampu dicatu oleh pembangkit.

Kerugian lain yang diakibatkan dari besarnya beban reaktansi induktif dengan faktor daya rendah adalah rugi-rugi tembaga meningkat, kemampuan sistem dalam mentransfer daya menurun dan mutu regulasi tegangan rendah. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan meminimalkan rugi-rugi hantaran dan memperbaiki faktor daya dengan memberikan kompensator kapasitif berupa kapasitor bank secara paralel.

Dengan menggunakan kapasitor yang terhubung secara paralel dapat berfungsi sebagai kompensator, sehingga beban yang bersifat induktif akan terkompensasi oleh kapasitor yang bersifat kapasitif.

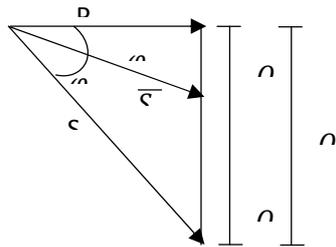


Gambar 3. Terjadinya pengurangan sifat induktif

Gambar 4. menunjukkan proses terjadinya pengurangan sifat induktif beban akibat adanya pemasangan kapasitor C pada sistem saluran. Besarnya faktor daya $\cos \phi$ sebelum kapasitor di pasang dapat dinyatakan pada persamaan (4)

$$\begin{aligned} \cos \phi_1 &= \frac{P}{S_1} \\ &= \frac{P}{\sqrt{(P_2^2 + Q_2^2)}} \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

Apabila setelah dipasang kompensator kapasitif secara paralel, maka terjadi perubahan yang dinyatakan pada persamaan (5).



Gambar 4. Vektor perbaikan faktor daya

$$\cos\phi_1 = \frac{P}{\sqrt{P_2 + (Q_1 - Q_2)^2}} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

Q: daya reaktif sebelum perbaikan faktor daya

Q₁: daya reaktif sesudah perbaikan faktor daya

Q₂: selisih daya reaktif sebelum dan sesudah diperbaiki faktor daya

φ : besar sudut sebelum diperbaiki faktor daya

φ₁: besar sudut sesudah diperbaiki faktor daya

P: daya nyata

Q: daya semu

METODA PENELITIAN

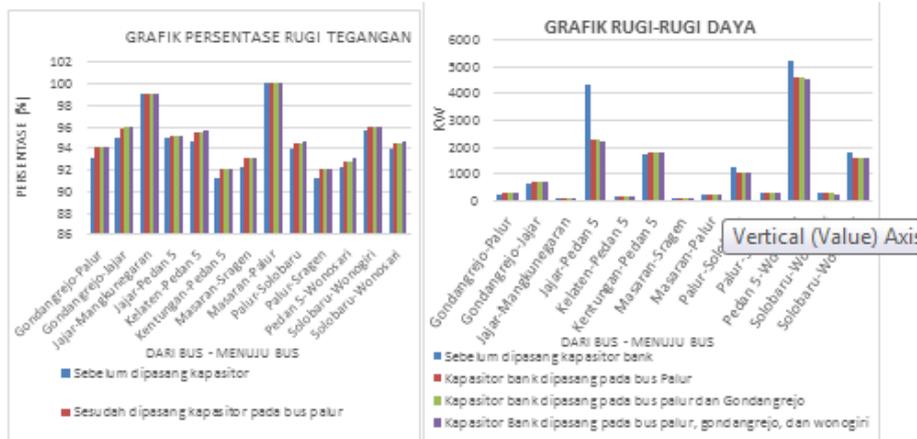
Penelitian tentang pengaruh pemasangan kapasitor bank terhadap perbaikan tegangan pada jaringan transmisi 150 kV di subsistem Pedan ini dilakukan dengan menggunakan program ETAP versi 7.0.

Tahapan-tahapan penelitian ini sebagai berikut:

1. Melakukan observasi langsung ke lapangan guna melihat kondisi sebenarnya serta mendapatkan data-data yang dibutuhkan. Observasi langsung dilakukan pada lokasi Pusat Pengaturan dan Penyaluran Beban (P3B) Jawa Tengah – D.I. Yogyakarta. Dari hasil observasi didapatkan data-data yang bersumber dari P3B.
2. Menggambar diagram satu garis transmisi jaringan 150 kV pada subsistem tertentu ke dalam program ETAP versi 7.0.
3. Melakukan analisis aliran daya tanpa memasukkan kapasitor bank sampai didapatkan aliran daya.
4. Melakukan pemeriksaan terhadap analisis aliran daya tanpa memasukkan kapasitor bank pada program ETAP versi 7.0.
5. Melakukan *running test* aliran daya pada program ETAP versi 7.0.
6. Melakukan analisis aliran daya dengan memasukkan kapasitor bank sampai didapatkan aliran daya.
7. Melakukan analisis pengaruh pemasangan kapasitor bank terhadap perbaikan tegangan pada jaringan 150kV di subsistem tertentu. .
8. Membuat kesimpulan dari hasil analisis program ETAP versi 7.0

Diagram Satu Garis Subsistem Pedan

Diagram satu garis yang digunakan pada penelitian ini yaitu subsistem Pedan. Subsistem Pedan terdiri dari daerah Kentungan, Klaten, Wonosari, Solobaru, Wonogiri, Palur, Masaran, Sragen, Gondang –rejo, Mangkunegaran dan Jajar. Diagram Satu Garis Subsistem Pedan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 9. Diagram perbandingan persentase rugi-rugi tegangan setelah pemasangan kapasitor bank pada bus Paluru, Gondangrejo dan Wonogiri.

Gambar 10. Diagram perbandingan persentase rugi-rugi daya setelah pemasangan kapasitor bank pada bus Paluru, Gondangrejo dan Wonogiri.

Maka dari uraian di atas diperoleh data sebagai berikut :

1. Arus beban pada bus Gondangrejo pada kondisi awal adalah $373 + j403$ atau $552.26 \angle 47^\circ$ dengan tegangan 142650 Volt atau 142.650 kV
2. Arus beban pada bus Gondangrejo jika diinginkan perbaikan $\cos\phi = 0.85$ adalah $466 + j 286$ atau $548.8 \angle 31.8^\circ$, dengan tegangan menjadi 143550 Volt atau 143.550kV.

Sehingga dari uraian di atas untuk memenuhi kondisi tersebut maka dapat dilakukan dengan mengubah KVAR yang besarnya sebagai berikut:

$$KVAR_{(koreksi)} = (KVA_{awal} \times \sin \phi_{awal} - KVA_{baru} \times \sin \phi_{baru})$$

$$\Rightarrow KVA_{awal} = 552.26 \times 142650 = 78779.9 \text{ KVA}$$

$$KVAR_{awal} = 78779.9 \times 0.73 = 57509.33 \text{ KVAR}$$

$$\Rightarrow KVA_{baru} = 548.8 \times 143550 = 78780 \text{ KVA}$$

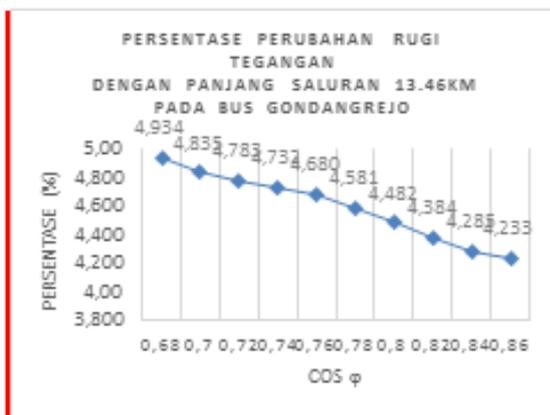
$$KVAR_{baru} = 78780 \times 0.53 = 41753.4 \text{ KVAR}$$

Jadi KVAR yang dibutuhkan adalah :

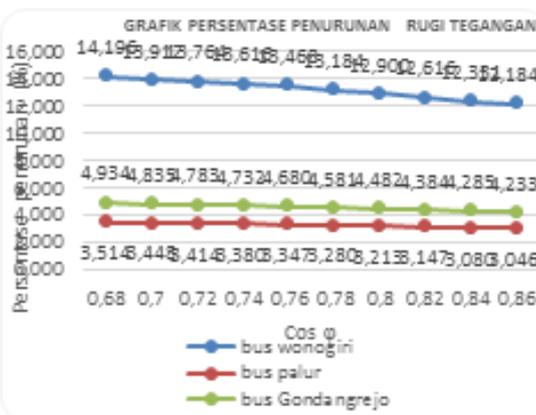
$$KVAR_{(koreksi)} = (KVA_{awal} \times \sin \phi_{awal} - KVA_{baru} \times \sin \phi_{baru})$$

$$KVAR_{(koreksi)} = 57509.33 - 41753.4 = 15755.9 \text{ KVAR}$$

$$= 15.8 \text{ MVAR}$$



Gambar 11. Grafik persentase penurunan rugi tegangan pada bus Gondangrejo



Gambar 12. Grafik Persentase perbandingan penurunan tegangan pada bus Paluru, bus Gondangrejo, dan bus Wonogiri

KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan pada jaringan transmisi 150 kV wilayah subsistem Pedan yang meliputi ; Kentungan, Klaten, Wonosari, Solobaru, Wonogiri, Palur, Masaran, Sragen, Gondangrejo, Mangkunegaran, dan Jajar.

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan kapasitor bank dengan menggunakan program ETAP versi 7.0 dan pembahasan yang telah dilakukan sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi menggunakan ETAP versi 7.0 rugi-rugi daya nyata sebelum pemasangan kapasitor bank pada transmisi 150 kV di wilayah subsistem Pedan menunjukkan nilai yang cukup tinggi yakni 16.34 MW seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4. Dengan pemasangan kapasitor bank pada bus Palur maka terjadi pengurangan rugi-rugi daya nyata menjadi 13.42 MW seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5.
2. Dengan pemasangan kapasitor bank pada bus Gondangrejo dan bus Palur maka terjadi pengurangan rugi-rugi daya nyata menjadi 13.37 MW seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.6.
3. Dengan pemasangan kapasitor bank pada bus Gondangrejo, bus Palur dan Wonogiri maka terjadi pengurangan rugi-rugi daya nyata menjadi 13.17 MW seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.7.
4. Pengurangan rugi-rugi daya dengan menggunakan kapasitor bank merupakan sebuah solusi alternatif untuk memperbaiki profil tegangan pada sub sistem Pedan yang telah dilakukan. Sehingga dengan demikian akan menekan rugi daya yang lebih besar karena berpengaruh terhadap rugi-rugi total pada sistem keseluruhan.
5. Dari hasil perhitungan terlihat pada bus Gondangrejo mengalami penurunan rugi-rugi tegangan dari 4.93% menjadi 4.23% atau mengalami peningkatan dari tegangan 142kV menjadi 143.5kV. Pada bus Palur mengalami penurunan rugi-rugi tegangan dari 3.51% menjadi 3.04% atau mengalami peningkatan dari tegangan 144.9kV menjadi 145.4kV. Pada bus Wonogiri mengalami penurunan rugi-rugi tegangan dari 14.2% menjadi 12.2% atau mengalami peningkatan dari tegangan 128.9kV menjadi 131.1kV.
6. Dari hasil perhitungan kebutuhan KVAR agar dapat mengkompensasi rugi-rugi daya dan perbaikan tegangan maka pada bus Gondangrejo diperlukan sebesar 15.8 MVAR, pada bus Palur diperlukan sebesar 25.3 MVAR, dan pada bus Wonogiri diperlukan sebesar 6 MVAR.

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya rugi-rugi daya dan tegangan pada jaringan transmisi 150kV di wilayah subsistem Pedan diantaranya bisa terjadi pada saluran tersebut, keandalan dari sistem tersebut, pemilihan jenis penghantar, faktor alam atau cuaca dan banyaknya pengguna di bidang industri menggunakan motor-motor sehingga beban bersifat induktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Cekdin, C. 2007, *Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaian Menggunakan MATLAB*, Penerbit ANDI OFFSET, Yogyakarta
- Granger, J.J., and Stevenson W.D., 1994, *Power System Analysis*, Mc Graw-Hill, Book Inc. New York
- Gonen, T. 1998, *Electrical Power Transmission System Engineering; analysis and Design*, John Wiley and Sons, New York.
- Anwar Musyadad, M., 20014, Pengaruh Pemasangan Kapasitor Bank Terhadap Perbaikan Tegangan pada Subsistem Pedan, Skripsi IST AKPRIND Yogyakarta.
- Hasbullah. 2005, *Pengurangan Rugi-rugi Daya Pada Saluran Transmisi 150 KV Di Wilayah D.I Yogyakarta Dengan Menggunakan Kapasitor Shunt*, Tesis S-2, UGM, Yogyakarta.
- Marsudi, D. 1990, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit dan Humas ISTN.
- Robandi, I. 2007, *Desain Sistem Tenaga Modern*, Penerbit ANDI OFFSET, Yogyakarta
-, 2001, Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL), LMK Jakarta.

KENDALI JARAK JAUH LEWAT TELEPON BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51

Irawadi Buyung¹, Made Dedyk Partana²

¹Dosen Universitas Respati Yogyakarta,

²Alumni Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

ABSTRACT

Equipments remote control paired parallell to channel phone house, so that this appliance can watch signals at the telephone channel. Moment there is call to parallel by means of attached telephone set, this appliance watch telephone tinkle, if chirr to 6 plane not yet been lifted, hence this appliance will lift its hilt of this appliance nya will watch sent by DTMF tone opponent telephone. Hereinafter govern this appliance to start or kill equipments of electrics which need to be controlled. This appliance woke up with AT89C51 mikrokontroler hence operation some loads can be action with one control so that efficiency can be reached, briefer network and earn controlling many loads.

*Equipments of that electrics number with number 1 until 8, knob * weared for the comand of to animate equipments of electrics, while knob # weared to kill equipments of electrics. Thereby knob combination 1* meaning comand to start number electrics appliance 1, knob combination 1# meaning comand to kill number electrics appliance 1. Tombol 4 weared to start all electrics appliance once gus, knob 5 weared to kill all electrics appliance once gus, and knob 0 to break telephone.*

Keywords: *Controller, Mikrokontroler AT89C51, DTMF and Equipments Electrics.*

PENDAHULUAN

Sejalan dengan pesatnya perkembangan teknologi saat ini, khususnya teknologi elektronika. Dengan dikembangkannya berbagai teknologi disegala aspek kehidupan, semua kebutuhan manusia dapat terpenuhi dengan mudah dan cepat. Manusia tidak bisa lepas dari kebutuhan akan adanya informasi baik itu berasal dari media cetak maupun media elektronik. Media elektronik berkembang pesat seiring dengan pergantian zaman yang menuntut manusia agar dapat saling berkomunikasi dengan cepat dan mudah tanpa harus mengenal jarak dan waktu, hingga dikembangkan suatu sistem yang dapat menampung pertukaran informasi.

Komunikasi merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia untuk dapat berinteraksi dengan yang lainnya. Penyampaian informasi dan komunikasi yang cepat dan akurat tanpa terjalangi masalah jarak dan waktu merupakan hal yang begitu vital. Sehingga sejalan ditemukannya teknologi komunikasi telepon, maka kendala diatas bukanlah suatu halangan lagi. Dimana untuk komunikasa jarak jauh akan tetap terwujud secara on-line, dengan hanya mengkoneksikan saluran telepon ke masing-masing pengguna. Karena itulah layanan telepon sekarang sudah bersifat umum.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, pesawat telepon yang ada sekarang tidaklah hanya berfungsi sebagai pengirim dan penerima panggilan, lebih dari itu pesawat telepon dapat diaplikasikan sebagai piranti pengendali dengan memanfaatkan sinyal-sinyal yang dihasilkannya, sebagai contoh diaplikasikan sebagai pengontrolan beban dengan nada dial yang dibangkitkan.

Pengendalian ini juga berbasis mikrokontroler agar nantinya dapat mengendalikan beberapa beban hanya dengan satu kontrol sehingga efisiensi dapat tercapai dan dapat mengendalikan beban lebih banyak karena masih banyak kaki mikrokontroler yang belum digunakan.

Sekarang pesawat telepon sudah beralih ke teknologi digital, cara meminta nomor sambungan telepon tidak lagi dengan memutar piringan angka, tapi dengan cara memencet tombol-tombol angka. Cara ini dikenal sebagai *touch tone dialing*, sering juga disebut sebagai DTMF (*Dual Tone Multiple Frequency*). Maka dengan pasilitas tersebut pesawat telepon tidak hanya dapat digunakan sebagai media komunikasi saja, bahkan sekarang pesawat telepon juga dapat diaplikasikan sebagai alat kendali jarak jauh untuk menghidup/ matikan suatu peralatan listrik.

Alat kendali jarak jauh dipasang secara paralel ke saluran telepon rumah, sehingga alat ini bisa memantau sinyal-sinyal pada saluran tersebut. Saat ada panggilan ke pesawat telepon yang dipasang paralel dengan alat ini, alat ini memantau dering telepon, jika sampai dering ke enam pesawat belum diangkat, maka alat ini akan mengangkat gagang pesawat telepon.

Selanjutnya alat ini akan memantau nada-nada yang dikirim telepon lawan. Sebelum memeritah alat ini untuk menghidup/matikan peralatan listrik yang perlu dikendalikan, pemakai harus mengirim kode kunci (*pass word*) dengan menekan tombol-tombol tertentu pada pesawat telepon

lawan. Setelah kode kunci diterima dengan benar, selanjutnya alat ini siap menerima perintah-perintah untuk menghidup/matikan peralatan listrik yang dikehendaki.

METODE PENELITIAN

DTMF

DTMF adalah teknik pengiriman angka-angka pembentuk nomor dial telepon yang dikodekan dalam dua nada yang dipilih dari delapan buah frekuensi tertentu. Pemakaian teknik ini pada komunikasi telepon memang memiliki kelebihan dibandingkan dengan sistem pulsa, kelebihan tersebut diantaranya mengenai kecepatan dial dan kemampuan untuk mengirim sinyal pada setiap jalur transmisi suara. Teknik DTMF menggunakan 8 frekuensi yang terbagi dalam frekuensi bagian *low group* dan *high group*, dimana untuk setiap kode dial yang dihasilkan merupakan kombinasi dari kedua group frekuensi diatas, sehingga akan diperoleh 16 frekuensi kombinasi yang merupakan kode dial. Susunan kombinasi frekuensi tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi Nada DTMF

Hz	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

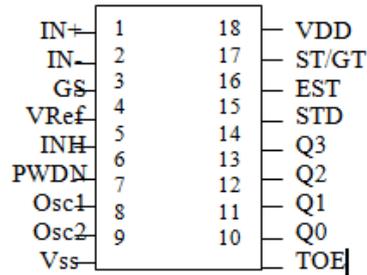
Sumber: www.alds.stts.edu/digital/DTMF

Tabel diatas menunjukkan bagaimana frekuensi atas dan frekuensi bawah dikombinasikan, masing-masing digit menghasilkan sebuah kombinasi dua dari frekuensi ini. Sedangkan untuk mendapatkan kembali kode-kode digital digunakan dekoder DTMF. Dekoder DTMF ini akan mengubah sinyal keluaran *tune* dari pembangkit DTMF menjadi kode digit sesuai dengan karakter yang dikirimkan. Keluaran dari dekoder DTMF berupa kode-kode biner Q4, Q3, Q2, Q1. sinyal *tune* merupakan kombinasi dari dua fungsi frekuensi yang berbeda ini dipisahkan dari masing-masing dijadikan gelombang kotak atau pulsa. Masing-masing gelombang pulsa diumpungkan ke *digital detection algorithm* yaitu rangkaian pendeteksi terhadap sinyal yang masuk dan mengeluarkan suatu logika khusus yang diumpungkan untuk pengendalian logika. Disamping sebagai pengendalian logika, juga sebagai saluran sinyal *low group* dan *high group* untuk dikodekan dalam bentuk digital.

MT 8870 merupakan salah satu tipe IC DTMF (*Dual Tone Multi Frequency*) yang berfungsi menghasilkan sinyal biner 4 bit yang menggambarkan karakter yang dikirim melalui sinyal DTMF, kombinasi yang dihasilkan tersebut dapat dilihat pada tabel 3. Untuk menghasilkan sebuah penerima sinyal DTMF yang lengkap, maka pada IC ini dilengkapi dengan filter yang memisahkan sinyal nada rendah dengan sinyal nada tinggi, yang dioperasikan dengan sistem algoritma kompleks. Hal ini dilakukan dengan menggunakan teknik perhitungan digital untuk mendeteksi fungsi sinyal yang masuk dan memverifikasikan apakah sinyal itu sudah sesuai dengan sinyal DTMF yang standar. Bila sinyal kelompok tinggi dan sinyal kelompok rendah masuk secara bersama-sama maka sebuah *flag est* (berlogika tinggi) akan dihasilkan oleh flag tersebut berfungsi untuk menentukan data.

MT8870 mempunyai rangkaian dalam yang cukup lengkap yang menghubungkan *band split filter* dan fungsi decoder digital, dengan demikian komponen luar yang diperlukan menjadi lebih sedikit yang hanya merupakan perlengkapan dari *chip* tersebut. IC ini didisain dengan kemasan yang kecil. Dengan menggunakan daya yang rendah dan untuk kerja yang tinggi. Tegangan V_{pp} yang diberikan cukup rendah, yaitu 5 V DC dan dapat bekerja normal pada temperatur -40° sampai $+80^{\circ}$ C. konfigurasi pin dari MT8870 diperlihatkan pada Gambar 1.

Bagian decoder yang menggunakan teknik *digital counting* untuk menentukan frekuensi masukan dan untuk membuktikan bahwa sinyal itu standar frekuensi DTMF. Persamaan algoritma yang rumit terlindungi simulasi nada yang bertentangan dengan sinyal dari luar seperti sinyal suara selama adanya toleransi. Untuk penyimpangan frekuensi yang sangat kecil dan sinyal-sinyal lainnya. Persamaan algoritma itu dibuat untuk memastikan suatu kombinasi optimum dari toleransi frekuensi yang terinterferensi (nada ketiga) atau noise.



Gambar 1. Konfigurasi Pin MT8870 (www.yahoo.DTMF*MT8870.com)

Tabel 2. Fungsi Pin dari IC MT8870

Pin	Nama	Keterangan
1	In+	Masukan Op..Amp <i>non inverting</i> .
2	In-	Masukan Op.Amp <i>inverting</i> .
3	Gs	Gain select, memberikan akses kepada keluaran akhir penguat diferensial untuk hubungan pada resistansi umpan balik.
4	Vref	Tegangan referensi, untuk memberikan masukan pada jalur tegangan dengan nilai nominal Vdd/2.
5	Ic*	Masukan yang terhubung internal.
6	Ic*	Masukan yang terhubung internal.
7	Osc1	Clok masukan.
8	Osc2	Clok keluaran.
9	Vss	Masukan ground (0 Volt).
10	Toe	<i>Three State Output Enabel</i> , dengan logika <i>high</i> untuk mengirimkan keluaran Q1-Q4.
11-	Q1-	Keluaran yang berupa data biner, yang akan menanggapi masukan isyarat DTMF dengan isyarat logika <i>high</i> pada <i>Toe</i> rendah, keluaran berimpedansi tinggi.
14	Q4	
15	Std	
16	Est	
17	St/Gt	<i>Steering Input/Guard Time Bidirectional</i> , sebagai pendeteksi adanya sinyal valid DTMF yang masuk.
18	Vdd	Masukan tegangan positif.

Ketika decoder mendeteksi sepasang nada yang sah (data beberapa spesifikasi industri disebut “*signal conditioning*” *early steering output* (est) akan menuju ke keadaan aktif.

Tabel 3. Fungsi decoder MT8870

Digit	Q4	Q3	Q2	Q1
ANY	Z	Z	Z	Z
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
0	1	0	1	0
*	1	0	1	1
#	1	1	0	0
A	1	1	0	1
B	1	1	1	0
C	1	1	1	1
D	0	0	0	0

Mikrokontroler AT89C51

Mikrokontroler AT89C51 merupakan salah satu jenis mikrokontroler keluarga MCS-51 yang memiliki PEROM internal. Perusahaan ATMEL mendapatkan lisensi dari *Intel* untuk mengembangkan mikrokontroler MCS-51. Salah satu tipe yang diperkenalkan adalah AT89C51 yang kompatibel dengan set instruksi MCS-51, mikrokontroler MCS-51 menggunakan *Flash Programmable Erasable Read Only Memori (Flash PEROM)*. Tipe *Flash PEROM* seperti itu memperbanyak kepraktisan, sehingga penghapusan data dapat dilakukan secara elektrik.

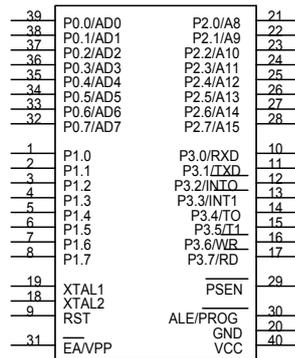
Mikrokontroler AT89C51 memiliki karakteristik yang sangat menguntungkan dan memudahkan dalam merancang suatu akses, di antaranya adalah:

- a. CPU 8 bit yang diaplikasi untuk aplikasi kontrol,
- b. 4 byte *Flash PEROM*,
- c. tahan pengulangan penulisan dan penghapusan,
- d. operasi statis secara penuh antara 0 Hz sampai 24 Hz,
- e. memiliki tiga tingkat penguncian memori,
- f. memiliki 128 x 8 – bit memori internal (RAM),
- g. memiliki 2 buah 16-bit *Timer* dan *Counter*,
- h. mempunyai 6 sumber interupsi,
- i. memiliki serial Port yang dapat diprogram,
- j. memiliki mode *low power idle* dan *mode power ROM*, serta
- k. kompatibel dengan MCS-51.

Mikrokontroler memiliki kapasitas ROM yang lebih besar (*Flash PEROM*) dari pada kapasitas RAM yang dimiliki. Program kontrol disimpan dalam ROM, sedangkan RAM digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara, termasuk register-register yang digunakan pada mikrokontroler

Susunan pin-pin mikrokontroler AT89C51 diperlihatkan pada Gambar 2. Berikut adalah penjelasan serta fungsi masing–masing kaki mikrokontroler AT89C51:

- a. Pin 1 sampai 8 (Port 1) merupakan port paralel 8 bit dua arah (*bidirectional*) yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan (*general purpose*).
- b. Pin 9 (*Reset*) adalah masukan reset (aktif tinggi). Pulsa transisi dari rendah ke tinggi akan mereset AT89C51.
- c. Pin 10 sampai 17 (port 3) adalah paralel 3 (P3) selebar 8 bit dua arah yang mempunyai fungsi pengganti. Fungsi pengganti meliputi TxD (*Transmit Data*) RxD (*Receive Data*). Int 0 (*interrupt 0*), Int 1 (*interrupt 1*), T0 (pewaktu 0), T1 (pewaktu 1), WR (*write*), dan RD (*read*). Bila fungsi pengganti tidak dipakai pin–pin ini dapat digunakan sebagai port paralel dan bit serba guna.
- d. Pin 18 (Xtal 2) adalah pin keluaran ke rangkaian osilator internal, suatu osilator kristal, atau tempat sumber osilator dapat digunakan.
- e. Pin 19 (Xtal 1) adalah pin masukan ke rangkaian osilator internal. Pin ini dipakai bila menggunakan osilator kristal.
- f. Pin 20 (*ground*) dihubungkan ke Vss atau *ground*.
- g. Pin 21 sampai 28 (Port 2) merupakan port paralel 2 (P2) bit dua–arah (*bidirectional*). Port ini mengirimkan byte alamat bila dilakukan pengaksesan memori eksternal.
- h. Pin 29 adalah PSEN (*Program Strobe Enable*) yang merupakan sinyal pengontrol yang membolehkan program memori eksternal masuk dalam bus proses pemberian/pengambilan instruksi (*fetching*).
- i. Pin 30 adalah PIN ALE (*Address Latch Enable*) yang digunakan untuk menahan alamat instruksi eksternal selama melaksanakan instruksi.
- j. Pin 31 adalah EA (*External Access*). Bila pin ini diberi logika tinggi (H), mikrokontroler akan melaksanakan instruksi dari ROM ketika isi program pecahan kurang dari 4096. Bila diberi logika rendah (L), mikrokontroler akan melaksanakan seluruh perintah dari memori program luar.
- k. Pin 32 sampai 39 (Port 0) merupakan port paralel *bit open drain* dua arah. Bila digunakan untuk mengakses memori luar, port ini akan memultipleks alamat memori dengan data.
- l. Pin 40 (Vcc) dihubungkan ke Vcc (+5 volt).



Gambar 2. Susunan kaki dari mikrokontroler AT89C51

ULN2003

Sebuah transistor mungkin tidak cukup kuat untuk menggerakkan relay yang memerlukan arus sebesar 250 mA. Untuk itu sering digunakan pasangan darlington untuk menggerakkan relay dan dikemas dalam sebuah IC ULN2003 yang disertai diode proteksi. Dalam satu IC ini dapat menggerakkan relay sebanyak tujuh buah. IC ini dikemas sangat kecil yang terdiri dari 16 pin, yaitu untuk kaki 1 sampai 7 digunakan sebagai input ULN, kaki 8 adalah ground, kaki 9 adalah VCC dan kaki 10 sampai 16 adalah output IC ULN yang digunakan untuk menggerakkan sebuah relay. Setiap pin IC ini sudah dipasang-pasangkan yaitu untuk input 1 maka keluarannya output 16, untuk input 2 keluarannya output 15, dan begitu seterusnya hingga pin 7 keluarannya pin 10. IC ini sangat baik digunakan untuk penggerak relay karena didalamnya menggunakan darlington sehingga sangat peka terhadap masukan dan VCC yang dibutuhkannya sebesar +12 volt.

Relay

Relay adalah suatu komponen elektronika yang berfungsi sebagai saklar elektromagnetik. Prinsip kerja dasar komponen ini adalah penggunaan lilitan kawat untuk menghasilkan medan elektromagnetik disekitar lilitan tersebut, atau dengan kata lain relay hanya dapat berfungsi sebagai saklar elektromagnetik jika diberikan suplay arus listrik.

Relay dapat dibedakan atas perbedaan nilai tegangan ambang yang digunakan untuk mengaktifkannya. Biasanya relay yang ada dipasaran dapat berjenis relay 12 V, dan 6 V. apabila lilitan mendapat suplay arus listrik maka akan terjadi medan elektromagnetik disekitar lilitan tersebut, yang akan menarik kedua kenop penghantar

Optocoupler 4N35

Optocoupler atau opto isolator adalah suatu komponen yang terdiri dari pemancar cahaya atau emitter mengkopel secara optic terhadap foto detector melalui media yang terisolasi. Pemancar cahaya dapat berupa lampu pijar, neon, atau led. Media osilasi dapat berupa udara, gelas, plastic/fiber. Sedang foto detector dapat berupa foto konduktor, foto dioda, foto transistor, foto fet, foto SCR atau rangkaian foto dioda. Pengaturan pemancaran atau foto detector memungkinkan pemindahan informasi dari satu rangkaian yang mengandung pemancar cahaya ke rangkaian yang mengandung foto detector.

Karena informasi yang secara optic melintasi celah isolasi, maka perpindahan informasi dalam satu arah, sehingga foto detector tidak dapat mempengaruhi rangkaian masuk, hal ini penting karena pemancar cahaya dikendalikan oleh rangkaian bertegangan rendah yang menggunakan *gate logic*, sedangkan keluaran daya detector dapat berupa tegangan tinggi arus searah atau bahkan rangkaian beban arus bolak-balik. Isolasi optic mencegah interaksi ataupun kerusakan terhadap rangkaian masukan yang disebabkan oleh perbedaan yang relative tinggi terhadap rangkaian keluaran.

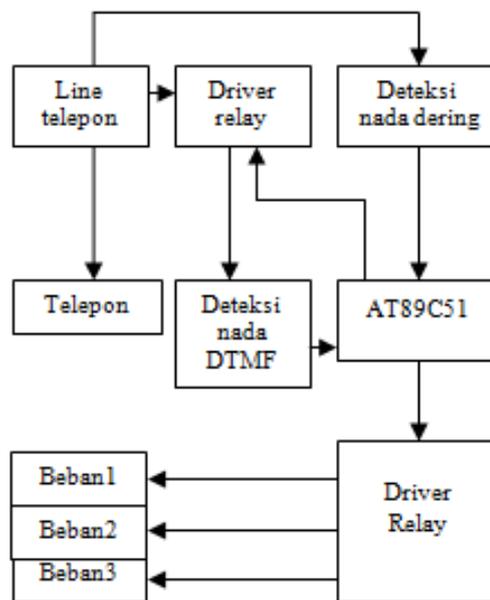
Fungsi optocoupler sama dengan pasangan relay mekanis yang menawarkan suatu isolasi tinggi antara masukan dan keluarannya. Beberapa peningkatan optocoupler dikomponen *soled state* adalah:

1. Kecepatan isolasi lebih tinggi
2. Tidak ada sambungan
3. Ukuran kecil tidak mudah dipengaruhi getaran dan guncangan
4. Compatible dengan banyak rangkaian- rangkaian logika dan mikroprosesor
5. Respon frekuensi = 100 Hz

PEMBAHASAN

Cara kerja alat menurut blok diagram yang menunjukkan urutan-urutan pekerjaan yang dilakukan oleh rangkaian (Gambar 3).

Untuk melakukan pengendalian jarak jauh maka pertama kali pengendali harus melakukan hubungan ke telepon rumah dari telepon lain pada telepon rumah harus ditambah dengan alat pendeteksi nada dering untuk mengangkat gagang telepon secara otomatis. Saat telepon terangkat secara otomatis, maka pengendali harus siap untuk memberikan masukan ke telepon rumah melalui telepon lain dengan menekan tombol-tombol yang tersedia pada telepon. Dalam hal ini pengendalian sepenuhnya dilakukan lewat tombol nomor telepon yang telah ditentukan.



Gambar 3 Diagram blok kendali jarak jauh berbasis mikrokontroler

Setiap penekanan tombol pada pesawat telepon akan selalu menghasilkan dua sinyal dengan frekuensi yang berbeda, untuk selanjutnya digunakan tombol tertentu sebagai masukan.

Secara sistematis prinsip kerja alat ini adalah sebagai berikut:

1. Alat ini dipasang paralel pada *line telepon* dengan pesawat telepon rumah sehingga alat ini dapat dihubungi atau diaktifkan dari pesawat telepon lain di tempat yang jauh dari rumah.
2. Pada saat mengaktifkan beban, maka pengendali harus melakukan hubungan dengan cara menekan nomor telepon rumah yang dipasang dengan alat ini.
3. Pada saat dihubungi, maka sentral akan mengirim sinyal dering ke alat dan sinyal ini akan dideteksi oleh rangkaian pendeteksi nada dering, rangkaian ini akan membuat relay menghubungkan *line telepon* dengan rangkaian pendeteksi nada DTMF.
4. Rangkaian pendeteksi nada DTMF ini mendeteksi tombol yang ditekan oleh pengirim dan menerjemahkannya menjadi data digital. Setiap tombol mempunyai kode-kode yang berbeda, sehingga tombol-tombol tersebut dapat digunakan untuk mengendalikan beban.
5. Setelah selesai maka pengirim harus mengakhirinya dengan menekan tombol 0 untuk mengakhiri perintah, sehingga menggerakkan relay yang berfungsi untuk menghubungkan *line telepon* dengan alat akan terputus, maka secara otomatis alat akan berhenti.

Pendeteksi nada dering

Nada dering dari saluran telepon, merupakan sinyal dengan frekuensi 20 sampai 40 Hertz yang dikirim selama 1 detik kemudian sinyal ini terhenti selama 3 detik. Amplitudo sinyal dering bisa mencapai diatas 90 Volt.

Kapasitor dalam rangkaian ini berfungsi untuk menahan tegangan searah yang ada dalam saluran telepon dan hanya meneruskan sinyal dering saja. Mengingat amplitudo dari sinyal dering bisa

sampai 90 Volt, maka kapasitor (bagian pemantau nada DTMF) setidaknya harus mampu menahan tegangan lebih dari 100 Volt.

Untuk membedakan nada dering dengan suara pembicaraan yang ada dalam saluran telepon, pada rangkaian ini dipasang diode Zener 12 v, dengan demikian hanya tegangan yang amplitudonya lebih dari 12 Volt yang bisa lewat, sehingga suara pembicaraan yang amplitudonya hanya beberapa Volt tidak akan bisa diteruskan ke optocoupler.

Resistor yang menuju ke IC 4N35 membatasi arus yang mengalir pada diode pada optocoupler. Karena amplitudo nada dering cukup tinggi, resistor ini nilainya cukup besar, sampai 10 Kilo Ohm.

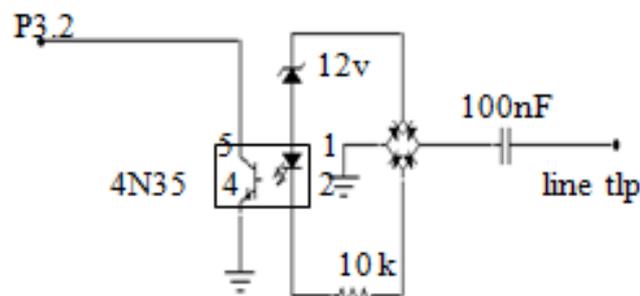
Sinyal dering akan mengakibatkan denyut arus pada LED dalam optocoupler dengan frekuensi 20 sampai 40 Hertz, pada gilirannya akan mengakibatkan opto transistor dalam IC 4N35 on/off seirama dengan arus yang mengalir pada LED tersebut.

Kolektor dari optocoupler di dalam IC 4N35 dihubungkan ke kaki INT0 (kaki nomor 12 AT89C51), pada kolektor ini tidak diperlukan lagi resistor yang dihubungkan ke Vcc, mengingat tahanan semacam itu sudah ada di dalam chip AT89C51. Keadaan On/Off dari opto transistor akan mengakibatkan kaki INT0 menjadi 0/1, saat tidak ada nada dering INT0 dalam keadaan 1, dan saat bel berbunyi selama 1 detik kaki INT0 akan berubah 0/1 sebanyak 10 sampai 20 kali, tergantung pada frekuensi nada dering yang berkisar antara 20 sampai 40 Hertz.

Sinyal pada kaki INT0 ini diterima AT89C51 sebagai sinyal permintaan layanan interupsi, tapi mengingat satu nada dering bisa terdiri dari 10 sampai 20 pulsa maka hanya perubahan 1 ke 0 yang pertama saja yang boleh dianggap sebagai sinyal interupsi.

Dari segi teknik pemrograman, hal ini bisa diselesaikan dengan cara berikut:

1. Dalam keadaan menunggu panggilan telepon, sarana interupsi INT0 diaktifkan
2. Pada rutin layanan interupsi INT0 (ISR - *Interrupt Service Routine*) sarana interupsi INT0 di-non-aktifkan, dengan demikian setelah permintaan interupsi dilayani, pulsa-pulsa berikutnya pada dering bersangkutan tidak akan ditanggapi AT89C51 sebagai permintaan interupsi.
3. Pada rutin layanan interupsi INT0 di atas, di-aktif-kan sistem timer dengan periode 2 detik, yakni satu periode waktu dimana dering pertama sudah selesai dan dering kedua belum terjadi.
4. Lewat dari waktu 2 detik tersebut, sarana interupsi INT0 diaktifkan kembali, agar AT89C51 bisa melayani dan menghitung nada dering berikutnya.



Sumber : www.alds.stts.edu/digital/DTMF_monitor.htm

Gambar 4 Rangkaian pendeteksi nada dering

KESIMPULAN

Setelah selesai dalam proses perancangan dan merealisasikan alat tersebut, serta melakukan pengujian, maka dalam akhir penulisan laporan ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sehubungan dengan alat yang dimaksud, diantaranya sebagai berikut:

1. Alat ini dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat elektronik tanpa mengenal adanya batasan jarak, ruang dan waktu, tidak seperti sinar infra merah yang pengendaliannya terfokus pada satu titik dan dengan jarak hanya beberapa meter.
2. Dengan menggunakan mikrokontroler AT89C51 maka pengendalian beberapa beban dapat dilakukan dengan satu control sehingga efisiensi dapat tercapai, rangkaian lebih ringkas dan dapat mengendalikan banyak beban.
3. Pengangkatan gagang telepon dapat dilakukan dengan menghubungkan line telepon dengan resistor 560 ohm.

DAFTAR PUSTAKA

- Gouzali ,S, 2003, *Sistem Telekomunikasi di Indonesia*, Alfabeta, Bandung
Hartono, I, 1992, *Pengantar Ilmu Teknik Telekomunikasi*, PT Gramedia, Jakarta
Ibrahim .K.F, 1996, *Teknik Digital*, Penerbit Andi, Yogyakarta
Leach, M, 1981, *Prinsip-Prinsip dan Penerapan Digital*, Penerbit Erlangga, Jakarta
Shoji, S, Suhana, 1991, *Buku Pagangan Teknik Telekomunikasi*,
PT. Pradnya Paramita, Jakarta
Paulus.A.N, 2003, *Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, PT Elex Media
Komputindo, Jakarta
Timoteus, C, 1998, *sistem Telekomunikasi*, Penerbit Erlangga, Jakarta
Tiur L.H. Simanjuntak, 2002, *Dasar-dasar Telekomunikasi*, PT Alumni, Bandung.
www.alds.stts.edu/digital/DTMF_monitor.htm

RANCANG BANGUN KONTROL TEKANAN EKSPONENSIAL RUANG EVAPORASI MESIN DESTILASI MINYAK ATSIRI DAUN CENGGI

¹Yulianto, ²Diah Meilany, ³Bambang Priyadi

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang

²Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang

E-mail: ¹yulianto_poltek@yahoo.com, ²diahmeilany@yahoo.com, ³priyadi_bebeng@yahoo.co.id

ABSTRACT

Clove leaves, will increase in price after made into a volatile. The extent of clove plants, easiness of processing, and constitute export commodity, this agree to be a business enterpris. This condition capitalized as a home industry implementing a simple technology, that is the distillation at constant pressure ± 1 bar and temperature $\pm 100^{\circ}\text{C}$ to obtain its steam, than condensated. It need longer time, much fuel, and low grade. Contents of the clove leaf oil have boiling point between 150 to 300°C at 1 bar of pressure. Distillation at low pressure/temperature produce low grade and vice versa. Higher pressure/temperature cause deformation. To get overall, inferior and higher density needed a machine completed a controller. To improve its efficiency, have to improve the grade, to cut short process duration, and squeeze fuel. Rising the pressure/temperaure will increas the grade, also opened pore of leaves. This research was carried out by designing and testing the exponential pressure controller suitable to its characteristic: start pressure at 1 bar rise exponentially to 3 bars for 5 hours. Method of the research cover designing and testing. Experiment individually of the controller and then implemented to a distillation machine. Analysis consist of: 1) adjustment so fashioned a variable of duration, and 2) measurement the pressure as function of time. Then concluded that: 1) the controller accomplishable at appraised of the pressure reference and have flexibility to adjust so an error can be reduced till 1%, 2) the controller can be tuned with respect to the raw material and 3) proper implemented.

Key word: distillation machine, clove leaf oil, controller, exponential pressure.

PENDAHULUAN

Daun cengkih kering yang telah rontok dapat diolah menjadi minyak atsiri. Minyak atsiri merupakan bahan pembuatan parfum, penyedap aroma masakan, dan obat-obatan [Tagora Bangkit, Rinaldry Sirait, Iriany:2012]. Dalam dunia perdagangan, minyak atsiri merupakan komoditas ekspor yang menguntungkan. Tanaman cengkih yang luas, kemudahan dalam proses pengolahan, dan merupakan komoditas yang dicari, minyak atsiri menjadi pilihan dan peluang dalam usaha produksi.

Tanaman cengkih dapat tumbuh baik di ketinggian 700 meter dari permukaan laut, tersebar dan jauh dari pemukiman padat, jalur transportasi dengan volume besar yang mahal, sehingga setiap kelompok tani cengkih memproduksi minyak atsiri daun cengkih pada masing-masing wilayahnya. Teknologi yang digunakan sangat sederhana yaitu menggunakan mesin kukus dengan bahan bakar limbah daun cengkih. Dari satu kali proses destilasi minyak atsiri dengan bahan baku 1 ton, durasi proses 12 jam, menggunakan mesin kukus teknologi sederhana berbahan bakar limbah daun cengkih dapat menghasilkan 22 – 30 kg minyak daun cengkih dan dapat diperoleh keuntungan bersih sekitar Rp 600.000.

Dipedesaan, cara ini telah dianggap memadai, mudah dan murah. Tapi sebenarnya masih memiliki kekurangan, antara lain: durasi proses yang lama, jumlah bahan bakar yang besar, dan minyak atsiri yang dihasilkan mempunyai kandungan air yang tinggi/rendemen rendah [Habibi W., Ayong Z. H., Panjawnari Prihatini, Mahfud: 2013,]. Secara umum minyak atsiri dikelompokkan menjadi dua kandungan, yaitu *monoterpenoid* dan *sesquiterpenoid* yang memiliki titik didih berkisar antara 150°C sampai 300°C pada tekanan 760 mmHg [Binawati Ginting: 2012]. Dengan peningkatan tekanan dan temperatur dapat menaikkan rendemen minyak atsiri karena terjadi penguapan kandungan minyak atsiri dengan berat jenis yang lebih besar dan terbukanya pori-pori daun yang lebih lebar.

Usaha peningkatan efisiensi yang memungkinkan dilakukan adalah peningkatan rendemen, memperpendek durasi proses, dan menekan penggunaan bahan bakar dengan penggunaan mesin

desitilasi yang dilengkapi kontrol tekanan eksponensial dengan tetap mempertahankan kesederhanaan dan kemudahan pembuatan dan pengoperasian.

Mayoritas produksi minyak daun cengkih dilakukan oleh pelaku industri kecil, sehingga murah, mudah, dan kualitas seadanya menjadi orientasinya. Untuk memenuhi kuantitas produk, pelaku usaha kecil telah meningkatkan dengan menambah frekuensi penyulingan. Penggunaan ketel dan peralatan yang sederhana dan kurang efisien sehingga rendemen minyaknya rendah (1,5–2,0%), dengan mutu minyak yang rendah (Padminingrum, Tutik Regina: 2006). Rendemen ini seharusnya dapat ditingkatkan sampai 2 – 3%, atau sekitar 2,5% dari berat daun cengkih kering (Bangkit, T., Sirait, R., Iriany: 2012; Sukarsono, Imam Dahroni: 2005). Salah satu usaha yang masih memungkinkan dan perlu ditingkatkan adalah penekanan durasi proses untuk penghematan waktu dan bahan bakar, sehingga dapat meningkatkan frekuensi proses. Untuk dapat mencapai kemungkinan peningkatan efisiensi mesin adalah dengan menggunakan mesin distilasi yang dilengkapi dengan perangkat kontroler tekanan yang sesuai dengan karakteristik bahan baku. Kurva tekanan proses destilasi daun cengkih berbentuk eksponensial dari tekanan 1 bar naik eksponensial menuju 3 bar dalam durasi 4 -5 jam. Kontroler demikian dapat dibuat dengan mudah, murah dan akurat dan dapat bekerja secara otomatis. Untuk keperluan ini perlu dilakukan: perancangan kontroler yang dapat bekerja secara otomatis walaupun tidak menggunakan tenaga listrik sehingga sesuai untuk dioperasikan di daerah terpencil.

Tujuan penelitian ini adalah merancang, membuat dan menguji kontroler tekanan eksponensial untuk mesin destilasi minyak atsiri daun cengkih. Kontroler tekanan eksponensial mempunyai karakteristik: tekanan awal 1 bar naik eksponensial menuju 3 bar dengan durasi 4 – 5 jam. Kontroler cukup akurat walaupun tidak menggunakan energi listrik sehingga dapat dioperasikan di wilayah terpencil, murah pembuatannya, dan mudah pengoperasiannya.

Perancangan dan pengujian prototipe kontroler tekanan eksponensial yang mudah, murah dan layak untuk diimplementasikan pada industri kecil pengolahan produksi minyak daun cengkih dalam upaya mempertahankan tekanan proses agar mempunyai karakteristik spesifik.

Karakteristik Distilasi

Pada tabel 1 ditunjukkan karakteristik distilasi daun cengkih yang diperoleh dari berbagai sumber hasil penelitian.

Tabel 1. Karakteristik Optimal Destilasi Daun Cengkih

No	Kandungan	Tekanan	Temperatur (°C)	Kadar (%)	Keterangan
1	Eugenol	0,06 kPa	220	89,65	Sponifikasi
2	Caryofilen	15 mmHg	80	99	Fraksinasi
	Eugenol		110– 120		
	Eugenol asetat		>120		
3	Bunga cengkih			8,6 (BD:1,0663/15°C)	Kukus
	Eugenol			81,2	(8 jam)
	Eugenos asetat			12,43	
	Trimetoksiasetofenon			0,53	

Sumber: Machmud Ludfi, Wisnu Jati, Aprillina Purbasari; 2013, Sukarsono, Imam Dahroni: 2005, Henny Prianto, Rurini Retnowati, Unggul Juswono: 2013

Hubungan antara waktu destilasi terhadap rendemen minyak cengkih dengan metode *steam-hydro distilasi* dengan *microwave*, rendemen minyak cengkih meningkat pada rentang waktu dua setengah jam awal. Pada jam ketiga rendemen minyak cengkih untuk massa bahan 50, 75, 100, dan 125 gram konstan pada 1.38%, 1.58%, 1.97%, dan 3.09% [Habibi W., Ayong Z. H., Panjawarni Prihatini, Mahfud: 2013,].

Teori Destilasi Minyak Atsiri

Destilasi yaitu proses pemisahan satu atau beberapa zat dalam larutan dengan cara dipanaskan untuk diuapkan lalu diembunkan sehingga menjadi zat cair yang terpisah. Bila zat cair dipanaskan pada tekanan tertentu akan menguap setelah melalui titik didihnya. Semakin tinggi tekanan akan semakin tinggi titik didih. Titik didih juga tergantung jenis zat cair.

Petani cengkih pelaku industri minyak atsiri umumnya melakukan proses destilasi dengan mengukus daun cengkih kering, memanaskan air dan bahan baku yang dimasukkan dalam ketel dan dipisahkan dengan penyekat berupa saringan. Uap air dan uap minyak atsiri dialirkan melalui pipa menuju kondensor berupa 2 buah kolam. Karena ruang evaporasi, ruang kondensasi dan udara luar terhubung langsung maka mempunyai tekanan yang sama yaitu sekitar satu bar. Penyulingan dengan air dan uap ini relatif murah atau ekonomis, dengan rendemen minyak daun cengkih cukup memadai [Sukarsono, Imam Dahroni: 2005].

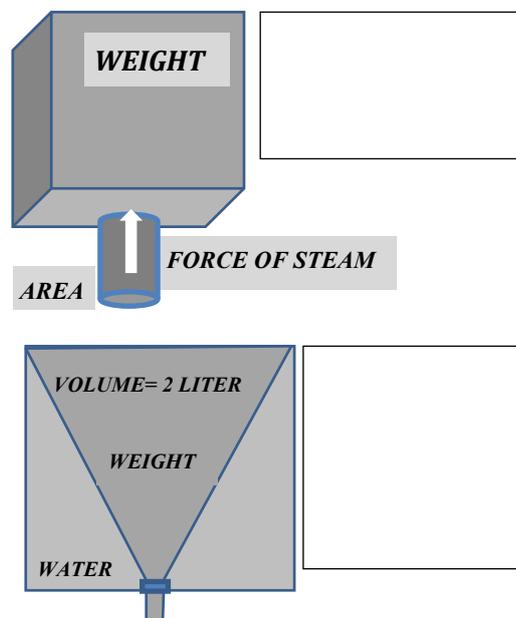
Mesin destilasi yang umum digunakan, adalah mesin destilasi 1) model *boiler*, yaitu air sebagai proses pembentukan uap dibuat terpisah dari bahan baku, 2) model kukus, produk yang didestilasi bersama air dimasukkan di tabung yang dipisah dengan saringan, lalu dipanaskan dan uap air menguapkan minyak atsiri dan membawa menuju ruang kondensasi.

Pada proses destilasi minyak daun cengkih, air dipanaskan hingga menjadi uap panas, uap panas menyentuh daun cengkih kering sehingga dalam durasi tertentu dapat menguapkan minyak yang terkandung di dalamnya. Jika kandungan minyak telah berkurang diperlukan temperatur/tekanan lebih besar untuk menguapkan minyaknya. Tekanan maksimum yang diperlukan pada akhir proses adalah 3 bar [Habibi W., Ayong Z. H., Panjawni Prihatini, Mahfud: 2013,]. Pemanasan pada proses destilasi minyak atsiri daun cengkih perlu dibatasi dengan cara mengontrol tekanan yang terjadi. Ini diperlukan karena untuk menjaga agar tidak terjadi dekomposisi pada hasil destilasi. Tekanan dikontrol regular naik eksponensial dan berakhir pada tekanan 3 atmosfer pada durasi 4-5 jam.

Tekanan Gas dan Gaya

Tekanan udara pada permukaan air laut adalah 1 atmosfer mendekati 1 bar atau 1 WC (*water collum*) atau 1 kg/cm^2 . Walaupun gas bisa termampatkan tapi tidak berpengaruh terhadap gaya dorong yang dibangkitkan. Tekanan diferensial didefinisikan sebagai beda tekanan pada dua titik. Gaya lain yang dibangkitkan oleh daya apung berlaku hukum Archimedes sebagai berikut: suatu benda apabila dicelupkan ke dalam zat cair, maka benda tersebut mendapat gaya ke atas (F_{apung}) sebesar berat zat cair yang dipindahkan (Sridianti:2014). Gaya berat benda, gaya apung dan gaya tekanan gas dapat dikombinasikan menjadi perangkat kontrol tekanan eksponensial.

Kontroler



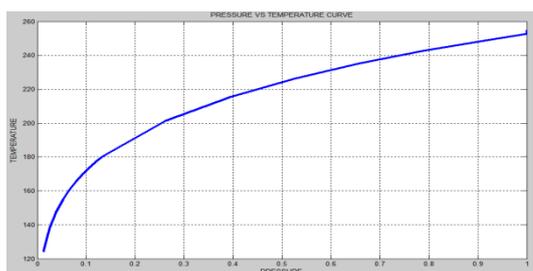
Gambar 1. Prinsip Perancangan Sensor/ Kontroler Tekanan Eksponensial

Pilihan untuk mengontrol tekanan ruang evaporasi yang mudah, murah dan tidak terlalu terpengaruh temperatur adalah menggunakan prinsip kontrol berat. Tekanan di dalam ruang evaporasi mesin destilasi bervariasi dipengaruhi tekanan pada ruang terkontrol atau kecepatan pengeluaran *steam*. Jika tekanan masih dibawah tekanan kontroler maka tidak ada *steam* yang keluar, karena gaya

tekanan tidak mampu membuka klep otomatis. Prinsip yang memenuhi syarat dan cukup akurat adalah prinsip kontrol berat seperti ditunjukkan pada gambar 1. Di sini, tekanan ruang evaporasi dibandingkan dengan pemberat. Berat pemberat dirancang sebesar 2 kg. Tekanan ruang evaporasi dengan luasan tertentu diubah menjadi gaya pengangkat pemberat.

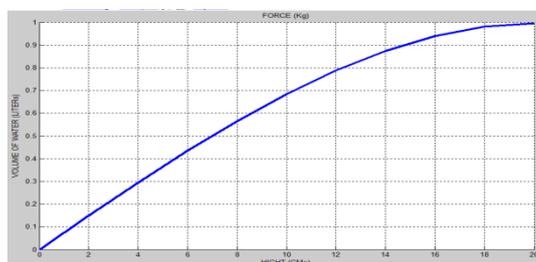
Karakteristik Tekanan Proses

Lamanya kontak uap panas terhadap daun cengkih menentukan rasio minyak cengkih terhadap air, semakin singkat waktu kontak menyebabkan terlalu banyak uap air yang diperlukan demikian juga bahan bakar yang digunakan. Tekanan/temperatur yang terlalu rendah berakibat sulit terjadi penguapan minyak cengkih sehingga memerlukan durasi proses yang panjang. Dari kedua pengertian ini maka harus ditentukan ketepatan antara tekanan dan durasi proses agar diperoleh mesin yang optimal. Pada Gambar 2 ditunjukkan karakteristik proses destilasi tekanan dan temperatur yang terjadi.



Gambar 2. Kurve Tekanan Vs Temperatur (Siti Nurhasanah: 2009).

Temperatur dan tekanan ini harus naik secara eksponensial terhadap waktu selama 4-5 jam tanpa menyebabkan dekomposisi. Pada gambar 3 ditunjukkan tekanan eksponensial yang dapat dibentuk menggunakan kontroler. Di sini ditunjukkan karakteristik proses destilasi yang mempunyai variabel: 1) temperatur/tekanan, 2) durasi proses dan 3) rendemen.



Gambar 3. Kurve Tekanan Vs Volume Air

Pengukuran Tekanan, dan Temperatur.

Tekanan yang digunakan adalah tekanan diferensial yaitu tekanan terhadap udara sekitar artinya tekanan 1 atmosfer (≈ 1 bar) sama dengan tekanan absolut 2 atmosfer (≈ 2 bar). Karena $1 \text{ atmosfer} = 1,0033227 \text{ kg/cm}^2$, maka jika berat 1 kg akan ditopangkan pada luasan 1 cm^2 akan diperoleh tekanan 1 bar. Ini merupakan cara konversi tekanan 1 bar menjadi berat atau gaya 1 kg dalam luasan 1 cm^2 . Tekanan inilah yang dibandingkan dengan tekanan ruang evaporasi.

Pengukuran Durasi Proses.

Durasi proses berarti waktu yang diperlukan untuk proses yaitu sekitar 4-5 jam. Karakteristik proses sesaat memiliki kecepatan produksi dan rendemen yang berbeda karena selama proses tekanan yang diterapkan pada tabung evaporasi mengikuti persamaan eksponensial yang dimulai dari 0 bar menuju 3 bar setelah 6 jam (kisaran perancangan).

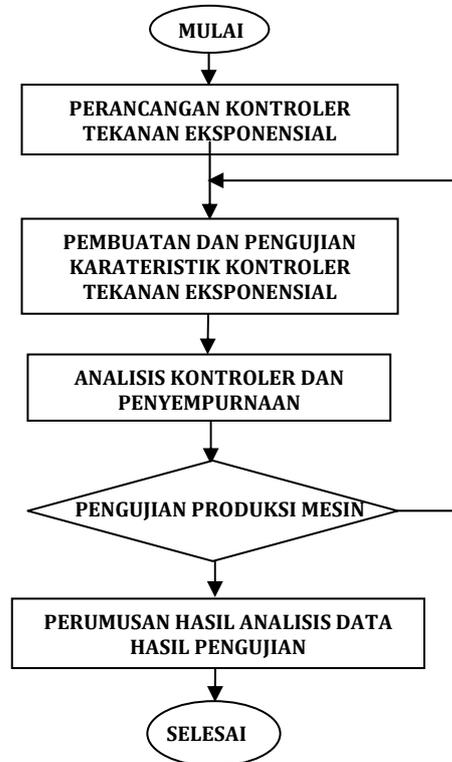
Kontroler Tekanan Ruang Evaporasi

Kontroler harus dapat bekerja secara otomatis menghasilkan perubahan tekanan ruang evaporasi secara eksponensial. Prinsip yang digunakan adalah hukum Archimedes

METODE PENELITIAN

Langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini meliputi: 1) perancangan dan pembuatan kontroler tekanan eksponensial, 2) pengujian dan implementasi kontroler. Diagram alir pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Metode Pendekatan Sistem dan Analisis

Ujicoba perangkat kontroler hasil rancangan menggunakan timbangan sebagai alat ukurnya. Ujicoba kedua adalah implementasi kontroler pada mesin destilasi menggunakan kompresor pembangkit tekanan. Dari ujicoba dibuat kurva karakteristik tekanan fungsi durasi.

Pengembangan Sistem

Sistem telah dikembangkan dengan mempertimbangkan tepat guna artinya mudah dan murah baik pembuatan maupun pengoperasian, dapat bekerja secara optimal. Pengembangan yang telah dilakukan adalah pembuatan kontroler berukuran fisik yang lebih kecil dan aplikatif.

Perancangan Mesin

Perancangan Kontroler Eksponensial

Pada gambar 5, ditunjukkan prinsipal sistem kontrol tekanan eksponensial. Terdiri dari tabung silinder dan tabung kerucut. Tabung kerucut dilengkapi pemberat total 2 kg untuk mendapatkan tekanan berat 2 bar, sedangkan tabung silinder diisi air yang dapat menampung 2 liter air yang dipindahkan ketika tabung kerucut ditenggelamkan. Jika tabung kerucut tenggelam sempurna terjadi tekanan diferensial nol, dan ketika tanpa air tekanan diferensial adalah 2 bar. Jika air dikeluarkan teratur konstan selama 6 jam, maka tekanan yang terjadi naik eksponensial.

$$\text{Volume tab. silider } (V_b) = \pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 h \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Volume tab. kerucut } (V_k) = \frac{\pi}{3} \left(\frac{D_1}{2h_{max}}\right)^2 h^3 \dots\dots\dots (2)$$

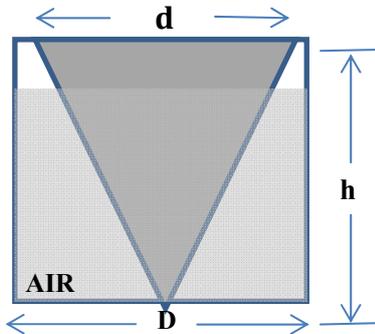
$$\text{Gaya berat } (F_b) = \frac{\text{Volume air}}{1000} \text{ (kg)} \dots\dots\dots (3)$$

$$1 \text{ atmosfer } (P_{atm}) = 1,033227 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (4)$$

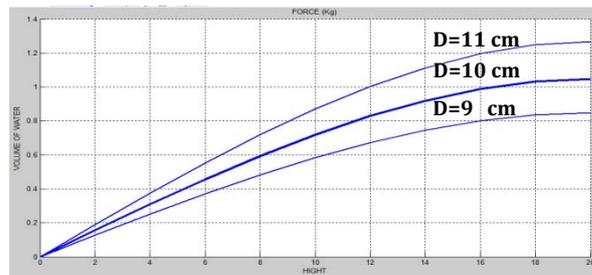
Dilakukan asumsi sebagai berikut:

Ketinggian (h_1) = 0 cm s/d 20 cm, diameter tabung luar (D_1)= 10 cm, volume air = $V_b - V_k$.

Pada gambar 6 ditunjukkan gaya yang terjadi sebagai fungsi dari ketinggian level air.



Gambar 5. Kontroler Tekanan Eksponensial



Gambar 6. Gaya Fungsi Ketinggian Level Air

PEMBAHASAN

Dalam pembuatan diupayakan menggunakan bahan yang tersedia di pasaran. Bahan-bahan yang diperlukan adalah, tabung ukur perebus air elektrik, pipa fleksibel alumunium, sok mur baut dan konektor kuningan, sil karet dan sealen anti bocor tahan panas, dan gelas kaca. Semua bahan anti karat, tidak bereaksi terhadap atsiri. Alat hasil pembuatan ditunjukkan pada gambar 7



Gambar 7. Pembuatan Kontroler Tekanan Eksponensial

Implementasi

Walaupun dalam implementasi yang sebenarnya kontroler ini digunakan untuk mengontrol tekanan ruang evaporasi pada mesin destilasi minyak atsiri daun cengkih, tapi untuk pengujiannya diperlakukan berupa simulasi dengan memberikan tahanan menggunakan kompresor. Kontroler diatur pada tekanan 1 bar (nul bar diferensial). Dilakukan pengamatan pada kontroler sampai terjadi aliran udara yang nampak berupa gelembung-gelembung dengan kecepatan tertentu. Jika telah terjadi aliran gelembung udara pada kontroler, tekanan kontroler dinaikkan secara eksponensial selama 5 jam sampai mencapai 3 bar diferensial.

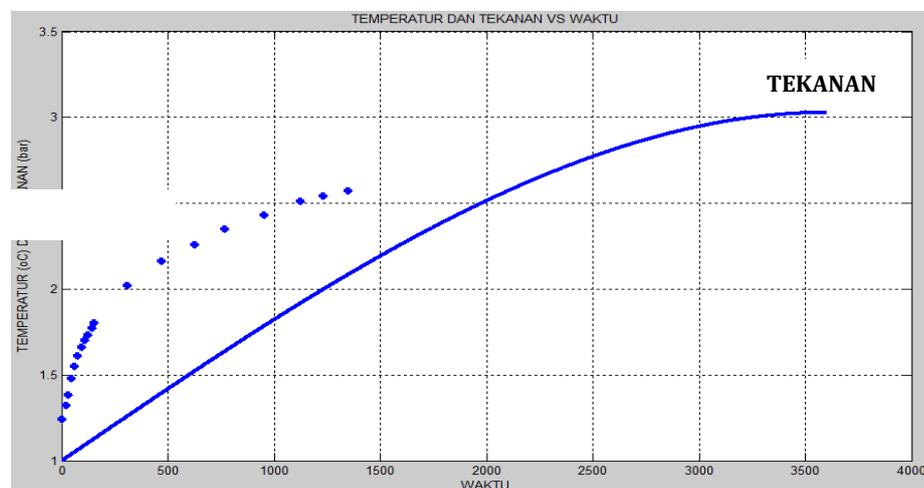
Variabel Yang Diteliti

Dalam uji coba diperlakukan menyerupai proses destilasi dengan tekanan ruang evaporator berubah secara eksponensial terhadap waktu. Data yang diperoleh adalah tekanan ruang evaporasi sebagai fungsi waktu. Dari data dianalisis dan dibandingkan dengan karakteristik proses destilasi daun cengkih. Data ini dapat digunakan untuk mengembangkan atau pengaturan bentuk pemberat benda unik. Analisis yang dilakukan meliputi:

- 1) Pengkosdisian awal dengan pengaturan pemberat dan volume air
- 2) Besarnya discharge pemberat dengan pengaturan aliran pembuangan air sehingga terjadi variabel durasi waktu selama 6 jam
- 3) Pengukuran tekanan ruang evaporasi sebagai fungsi waktu dengan pengaturan tekanan awal sebesar 1 bar dan tekanan akhir 2 bar.

Analisis

Destilasi dengan tekanan/temperatur rendah akan diperoleh minyak atsiri dengan berat jenis rendah atau rendemen rendah dan sebaliknya, tekanan destilasi yang lebih tinggi menghasilkan minyak atsiri dengan berat jenis yang lebih besar. Untuk memperoleh seluruhnya, baik yang mempunyai berat jenis rendah maupun tinggi diperlukan pengaturan tekanan eksponensial. Dengan pengaturan tekanan proses eksponensial dapat dibedakan rendemen hasil produksi sebagai fungsi waktu. Pada gambar 8 ditunjukkan karakteristik peta proses produksi minyak atsiri daun cengkih.



Gambar 8. Karakteristik Peta Proses Produksi Minyak Atsiri Daun Cengkih

KESIMPULAN

Dari analisis dan uji coba didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

- 1) Kontroler hasil rancangan dapat bekerja pada kisaran acuan tekanan yang memadai yaitu antara 0 bar sampai dengan 2 bar dan sangat fleksibel dalam pengaturan acuan tekanan dan kesalahan dapat ditekan hingga dibawah 1 %.
- 2) Ide dasar kontroler ini sangat fleksibel dapat disesuaikan dengan karakteristik bahan yang didestilasi hanya dengan mengganti bentuk pemberat unik.

- 3) Kontroler ini layak diimplementasikan dan memenuhi syarat yang berorientasi pada harga, kemudahan pengoperasian, presisi dan handal.

Pengujian untuk berbagai bentuk pemberat benda unik perlu terus dilanjutkan sehingga setiap karakteristik bahan yang didestilasi dapat diikuti menggunakan kontroler ini. Dalam implementasinya masih ada beberapa variabel yang masih berupa asumsi dan belum disertakan dalam perancangan kontroler ini, antara lain 1) kondisi bahan baku, 2) lokasi asal bahan baku, 3) berbagai pengaturan perubahan kurva tekanan eksponensial, dan 4) pengumpanan besar/kecilnya api. Karena itu untuk memperoleh angka-angka empiris yang akurat masih belum memadai, tapi untuk implementasi telah dapat memberikan nilai tambah yang cukup memadai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima-kasih kepada Dirjen DIKTI sebagai penyedia dana, kepada Direktur dan UPT P2M Politeknik Negeri Malang yang telah memberi kesempatan kepada kami sehingga terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Binawati Ginting: 2012, Antifungal Activity of Essential Oils Some Plants in Aceh Province Against (*Candida albican*), *Jurnal Natural* Vol. 12, No. 2, 2012.
- Habibi W., Ayong Z. H.; Panjawni Prihatini, Mahfud, 2013, Perbandingan Metode Steam Distillation dan Steam-Hydro Distillation dengan Microwave Terhadap Jumlah Rendemen serta Mutu Minyak Daun Cengkih, *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 2, No. 2.
- Henny Prianto, Rurini Retnowati, Unggul Juswono: 2013, Isolasi dan Karakteristik dari Minyak Bunga Cengkih *Syzygium aromaticum*) kering Hasil Distilasi Uap, *Kimia Studen Jurnal*, Vol. 1, No. 2, pp. 269-275 Unibraw Malang 2013
- Machmud Ludfi, Wisnu Jati, Aprillina Purbasari; 2013, Peningkatan Kadar Eugenol Minyak Atsiri Cengkih Dengan Metoda Sponifikasi-Destilasi Vakum, *Jurusan Teknologi Kimia dan Industri* Vol. 2, No. 2, hal. 198-203.
- Padminingrum, Tutik Regina: 2006, Peningkatan Efisiensi Proses Produksi Minyak Cengkih dan Nilam Sebagai Komoditas Ekspor, *Jurnal Inovasi dan Aplikasi Teknologi (INOTEK)*, Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Siti Nurhasanah: 2009, Pemisahan Eugenol dari Minyak Cengkih dengan Cara Distilasi Fraksinasi, *Jurnal, Fak. Teknologi Industri Pangan, UNPAD*, (<http://pustaka.unpad.ac.id/>).
- Sukarsono, Imam Dahroni: 2005, Pembuatan Alat Distilasi Fraksinasi Minyak Daun Cengkih, *Prosiding PPI- PDIPTN 2005*, Puslitbang Teknologi Maju – BATAN, Jogjakarta.
- Sridianti:2014, Bunyi Hukum Archimedes dan Gaya Apung, <http://www.sridianti.com/bunyi-hukum-archimedes-tentang-gaya-apung.html>.
- Tagora Bangkit, Rinaldry Sirait, Iriany:2012, Penentuan Kondisi Keseimbangan Unit Leaching pada Produksi Eugenol dari Daun Cengkih, *Jurnal Tek. Kimia USU*, Vol. 1, No. 1, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, USU, Medan, Indonesia

PENGUKUR KADAR AIR PADA KAYU OLAHAN DENGAN PIRANTI BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51

Sigit Priyambodo¹, Andrea Albert Kotten²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri IST AKPRIND Yogyakarta
e-mail: sigit.priyambodo@gmail.com

ABSTRACT

Some areas in Indonesia especially Sumatra region, Kalimantan, Maluku and famous Papua as wood producer region quality of export. Wood yielded by the regions in the form of wood glondongan and also processing wood product like board, plywood, and cut wood. Process to maintain quality of processing wood pertained enough complicated because besides having to conserved with anti special chemicals mushroom, the processing wood also must be dried during which is enough in order not to quickly mouldy and doesn't change its (the specification. Examination done covers examination of part according to diagram block and examination of performance from the application of dry measure at processing wood bases on mikrokontroler AT89C51. With existence of the examinations is upper, expected possibility that the happening of mistake or weakness which still there is at every part of surer knowable network Based on the problems is upper, writer wish to make an equipment portable which can measure degree of dryness of processing wood based on water resistance in wood fibre before to to become product thus.

Key word ; mikrocontroller AT89C51, resistance,

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beberapa daerah di Indonesia khususnya wilayah Sumatera, Kalimantan, Maluku dan Papua terkenal sebagai wilayah penghasil kayu kualitas ekspor. Kayu yang dihasilkan oleh wilayah-wilayah tersebut berupa kayu glondongan maupun produk kayu olahan seperti papan, *plywood*, dan kayu potong. Proses untuk mempertahankan kualitas kayu olahan tergolong cukup rumit karena selain harus diawetkan dengan bahan kimia khusus anti jamur, kayu olahan tersebut juga harus dikeringkan dalam waktu yang cukup agar tidak cepat lapuk dan tidak berubah spesifikasinya.

Langkah pengeringan kayu olahan dapat dilakukan dalam 2 cara yaitu dengan memasukkan kayu olahan ke alat pengering maupun dengan menjemur kayu tersebut di bawah panas matahari. Untuk memenuhi keperluan produksi, perusahaan dengan skala menengah dan besar menggunakan alat pengering karena dapat lebih menghemat waktu dan faktor derajat kekeringan kayu olahan dapat ditentukan sesuai dengan umur dan jenis kayunya. Sedangkan untuk perusahaan kecil cenderung hanya mengandalkan proses penjemuran alami saja sehingga faktor derajat kekeringan kayu tidak dapat dipastikan dan hanya bersifat kira-kira.

Banyak dari para penjual kayu olahan kurang mengetahui kalau produk kayu olahan yang terdapat dipasaran umum tidak memiliki kualitas sebaik produk kayu olahan yang di ekspor. Selain itu pengguna memiliki kecenderungan tidak memperhatikan faktor derajat kekeringan kayu yang akan dibelinya. Permasalahan ini mengakibatkan kerugian dipihak konsumen yang membeli produk kayu olahan maupun suatu produk jadi seperti meja, kursi, kusen dan pintu yang dibuat dari produk kayu olahan tersebut.

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, penulis ingin membuat suatu alat portable yang dapat mengukur derajat kekeringan kayu olahan berdasarkan resistansi air dalam serat kayu sebelum dibuat menjadi produk jadi.

Tujuan Penelitian

Tujuan utama diadakannya penelitian ini adalah untuk membuat alat pengukur kadar air dalam kayu olahan, sedangkan tujuannya sekundernya adalah :

1. Mempelajari serta mengembangkan teknik pemrograman mikrokontroler, ADC dan LCD secara lebih lanjut.
2. Mengaplikasikan ilmu-ilmu di dunia akademis ke dalam dunia industri.

Tinjauan Pustaka

Pada penelitian ini penulis membuat perancangan alat berdasar desain *Fluke 75 Multimeter Digital produksi TFA Gebrauchsanweisung, Co. Ltd, German*. Dalam user manual produk tersebut disebutkan bahwa keakuratan hasil pengukuran piranti multimeter digital yang dicatu menggunakan tegnaga baterai tetap memerlukan kalibrasi ulang secara berkala agar kinerjanya dapat diandalkan.

Pembahasan bagian pengkonversi resistansi kadar air (analog) ke nilai data tampilan kadar air (digital) menggunakan literatur *ADC0809 Applications Specific Analog Products Databook* edisi november 2000 yang diterbitkan oleh *Harris Headquarters, Japan*. Dalam literatur ini disebutkan metode pemakaian dan karakteristik IC ADC0809 sebagai interface data 8 bit ke mikrokontroler

Pembahasan bagian mikrokontroler dan LCD 16x2 baris menggunakan referensi literatur *Technic Interfancing LCD 16x2 with 40 pin Microcontroller* edisi oktober 2003 yang dipublikasikan di www.dontronics.edu oleh *Peter Averill, Victorian University, Chicago*. Dalam literatur ini disebutkan metode transfer data 8 bit untuk sistem LCD16x2.

Bahasan mikrokontroler AT89C51 menggunakan acuan *datasheet 8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash AT89C51, 2000, Atmel Corporation, web site <http://www.atmel.com>*. Bahasan LCD GDM2004 menggunakan acuan *Liquid Cystal Display Module ADT2040 User Manual Ver 1.0, 2005, China Optotech, Co, LTD*. Bahasan Regulator 7805 menggunakan acuan *datasheet LM78XX Series Voltage Regulators, February 1995, National Semiconductor, Japan*. Sedangkan bahasan ADC menggunakan acuan *User manual ADC0804, 1999, National Semiconductor, Japan*.

METODE PENELITIAN

Pengambilan Data

Tujuan pengambilan data adalah untuk mengetahui kebenaran rangkaian dan mengetahui kondisi komponen yang akan diuji. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian perbagian sesuai blok diagram dan pengujian kinerja dari aplikasi pengukur kadar air pada kayu olahan berbasis mikrokontroler AT89C51. Dengan adanya pengujian-pengujian tersebut diatas, diharapkan kemungkinan terjadinya kesalahan atau kelemahan yang masih terdapat pada tiap-tiap bagian rangkaian dapat diketahui lebih pasti. Sedangkan pengambilan data secara keseluruhan bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan dan hasil pengukuran dengan standar kerja komponen yang terdapat pada datasheet.

Tempat Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di Lab Teknik Elektro, AKPRIND, Yogyakarta. Alat-alat dan bahan yang digunakan adalah:

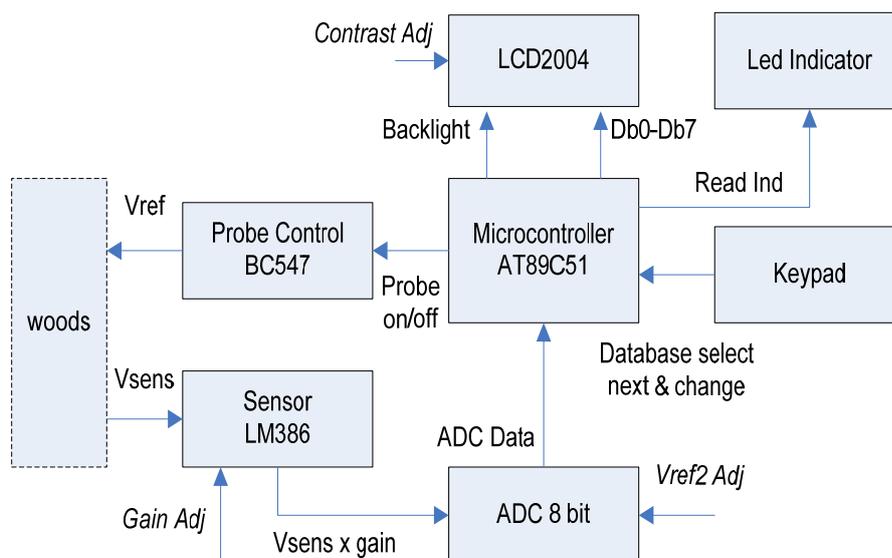
1. Multimeter analog SANWA YX-360TRD dan multimeter digital *Fluke 750* yang digunakan untuk mengukur besaran listrik.
2. *Downloader Sunrom* untuk digunakan dalam proses pengisian program ke IC AT89C1.
3. Moisture Meter LG6NG digunakan untuk pengukuran kelembaban kayu.
4. Kabel penghubung DB9, yang digunakan sebagai penghubung antara PC dengan *Downloader Sunrom*.
5. Rangkaian alat lengkap dengan semua sensor terpasang.

Perancangan Perangkat Keras

Proses perancangan sangat diperlukan dalam pembuatan suatu alat, khususnya dalam perancangan elektronika. Proses perencanaan juga bermanfaat untuk memulai suatu pekerjaan dengan tujuan agar alat yang dihasilkan nanti sesuai dengan yang diharapkan, pemilihan komponen-komponen elektronika yang tepat dan untuk menekan kesalahan dalam proses pembuatan alat.

Agar rancangan yang dibuat nantinya dapat bekerja dengan *optimal* maka sebelumnya harus dipelajari terlebih dahulu prinsip kerja dari alat yang akan dibuat dan yang tidak kalah pentingnya adalah komponen-komponen yang akan digunakan dalam pembuatan alat tersebut, karena hal ini juga akan berkaitan dengan biaya yang akan digunakan, efisiensi waktu dan tentunya penampilan dari alat yang telah dihasilkan. Gambar 3.1 merupakan bentuk diagram blok dari aplikasi "Pengukur Kadar Air Pada Kayu Olahan Berbasis Mikrokontroler AT89C51"

Dalam diagram perancangan alat dibawah ini dapat dilihat bahwa desain alat terdiri dari bagian *probe control*, bagian sensor, bagian ADC 8 bit, bagian mikrokontrol, bagian LCD dan bagian *led indicator*.



Gambar 1 Blok Diagram

Kayu Olahan

Kayu merupakan salah satu hasil hutan paling diminati dan banyak jenisnya. Pengklasifikasian kualitas kayu biasanya ditentukan berdasar faktor kekerasan kayu tersebut atau lazim disebut sebagai faktor kadar kayu. Berdasar penelitian yang telah dilakukan oleh Fakultas Kehutanan UGM, standar kekerasan kayu yang paling banyak digunakan dalam industri dibagi menjadi 6 jenis seperti ditunjukkan dalam tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 1 Standar Kekerasan Kayu

No	Kelas	Kerapatan Molekul	Resapan	Contoh Kayu
1	F	40-50 mgr/mm ²	0,098 mm ³ /cm ³	Kampher, Kapuk
2	E	50-70 mgr/mm ²	0,035 mm ³ /cm ³	Waru, Sengon
3	D	80-100 mgr/mm ²	0,0179 mm ³ /cm ³	Kruing
4	C	100-120 mgr/mm ²	0,000256 mm ³ /cm ³	Meranti, Asem
5	B	120-150 mgr/mm ²	0,000184 mm ³ /cm ³	Glugu
6	A	150-180 mgr/mm ²	0,000045 mm ³ /cm ³	Benkire, Jati

Sumber ; Uji Kekerasan Kayu Golongan A-F, 1998, Fakultas Kehutanan UGM

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa semakin padat molekul kayunya, maka kayu tersebut akan semakin keras dan faktor resapan airnya semakin kecil. Standar pengujian ini dilakukan menggunakan mesin uji tekan merk "Shimatshu" dengan kapasitas maksimal 30 ton.

Standar kadar air dalam kayu dengan bentuk bulat lengkap beserta kulit kayu tidak dapat diperhitungkan karena dipengaruhi oleh beberapa faktor luar seperti lokasi penebangan, cuaca serta metode transportasinya. Oleh karena itu standar kadar air dalam kayu ditentukan setelah kayu dipotong menjadi bentuk kayu olahan dan dikeringkan menggunakan mesin khusus seperti dicantumkan dalam tabel 2.2 dapat dilihat bahwa kayu olahan seharusnya dikeringkan dalam suhu tertentu dengan tekanan yang besar dan dalam jangka waktu yang cukup. Standar pengujian ini dilakukan menggunakan mesin pengering kayu merk "Power Steam" dengan kapasitas maksimal 300 ton.

Tabel 2 Standar Kadar Air Dalam Kayu Olahan

No	Kelas	Ukuran Kayu	Parameter Pengeringan			Kadar Air
			Tekanan	Panas	Waktu	
1	F	6cm x 11cm x 6m	120 psi	55 ⁰ C	6 jam	>1,07 gr/cm ³
2		4cm x 6cm x 6m	120 psi	55 ⁰ C	5 jam	0,91-1,07 gr/cm ³
3		4cm x 5cm x 6m	120 psi	55 ⁰ C	4 jam	0,75-0,91 gr/cm ³
4		3cm x 4cm x 6m	120 psi	55 ⁰ C	3 jam	0,59-0,75 gr/cm ³
5		2cm x 3cm x 6m	120 psi	55 ⁰ C	2 jam	0,43 -0,59 gr/cm ³
6	E	6cm x 11cm x 6m	250 psi	64 ⁰ C	6 jam	>1,07 gr/cm ³
7		4cm x 6cm x 6m	250 psi	64 ⁰ C	5 jam	0,91-1,07 gr/cm ³
8		4cm x 5cm x 6m	250 psi	64 ⁰ C	4 jam	0,75-0,91 gr/cm ³
9		3cm x 4cm x 6m	250 psi	64 ⁰ C	3 jam	0,59 -0,75 gr/cm ³
10		2cm x 3cm x 6m	250 psi	64 ⁰ C	2 jam	0,43-0,59 gr/cm ³
11	D	6cm x 11cm x 6m	300 psi	68 ⁰ C	6 jam	>1,07 gr/cm ³
12		4cm x 6cm x 6m	300 psi	68 ⁰ C	5 jam	0,91-1,07 gr/cm ³
13		4cm x 5cm x 6m	300 psi	68 ⁰ C	4 jam	0,75-0,91 gr/cm ³
14		3cm x 4cm x 6m	300 psi	68 ⁰ C	3 jam	0,59 -0,75 gr/cm ³
15		2cm x 3cm x 6m	300 psi	68 ⁰ C	2 jam	0,43-0,59 gr/cm ³
16	C	6cm x 11cm x 6m	450 psi	70 ⁰ C	6 jam	>1,07 gr/cm ³
17		4cm x 6cm x 6m	450 psi	70 ⁰ C	5 jam	0,91-1,07 gr/cm ³
18		4cm x 5cm x 6m	450 psi	70 ⁰ C	4 jam	0,75-0,91 gr/cm ³
19		3cm x 4cm x 6m	450 psi	70 ⁰ C	3 jam	0,59 -0,75 gr/cm ³
20		2cm x 3cm x 6m	450 psi	70 ⁰ C	2 jam	0,43-0,59 gr/cm ³
21	B	6cm x 11cm x 6m	600 psi	75 ⁰ C	6 jam	>1,07 gr/cm ³
22		4cm x 6cm x 6m	600 psi	75 ⁰ C	5 jam	0,91-1,07 gr/cm ³
23		4cm x 5cm x 6m	600 psi	75 ⁰ C	4 jam	0,75-0,91 gr/cm ³
24		3cm x 4cm x 6m	600 psi	75 ⁰ C	3 jam	0,59 -0,75 gr/cm ³
25		2cm x 3cm x 6m	600 psi	75 ⁰ C	2 jam	0,43-0,59 gr/cm ³
26	A	6cm x 11cm x 6m	850 psi	80 ⁰ C	6 jam	>1,07 gr/cm ³
27		4cm x 6cm x 6m	850 psi	80 ⁰ C	5 jam	0,91-1,07 gr/cm ³
28		4cm x 5cm x 6m	850 psi	80 ⁰ C	4 jam	0,75-0,91 gr/cm ³
29		3cm x 4cm x 6m	850 psi	80 ⁰ C	3 jam	0,59-0,75 gr/cm ³
30		2cm x 3cm x 6m	850 psi	80 ⁰ C	2 jam	0,43-0,59 gr/cm ³

Sumber ; Uji Kadar Air Dalam Kayu Golongan A-F, 1998, Fakultas Kehutanan UGM

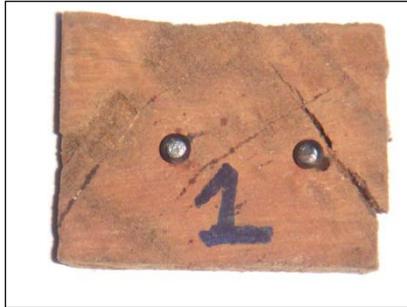
Contoh penampang kayu golongan A-F untuk uji sample dengan ukuran 3cm x 3cm x 4 cm dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.a Penampang Kayu Golongan (Kampher)



Gambar 2.b Penampang Kayu Golongan B
(Sengon)



Gambar 2.c Penampang Kayu Golongan C
(Kruing)



Gambar 2.d Penampang Kayu Golongan D
(Meranti)



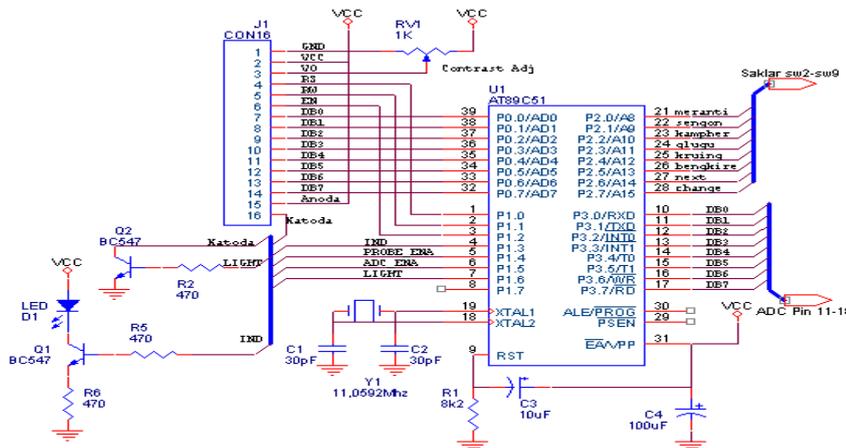
Gambar 2.e Penampang Kayu Golongan E
(Glugu)



Gambar 2.f Penampang Kayu Golongan F
(Bengkire)

Bagian Mikrokontroler

Bagian mikrokontroler disusun menggunakan U₁ AT89C51 yang dicatu menggunakan tegangan 5Vdc. Dalam rangkaian mikrokontroler U₁ dapat dilihat bahwa pin EA dihubungkan secara langsung dengan 5Vdc dan difilter dengan kondensator C₄. Hal ini berarti rangkaian mikrokontroler U₁ dikonfigurasi untuk bekerja dalam *mode single chip* dan tidak memerlukan pemasangan *memori eksternal*. Skematik bagian ini dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 Bagian Mikrokontroler dan LCD

Untuk dapat bekerja dengan benar, rangkaian mikrokontroler U₁ memerlukan 2 rangkaian pendukung *eksternal* yang harus dipasang secara tepat. Rangkaian pertama merupakan pembangkit frekuensi *clock* yang dibentuk menggunakan kristal Y₁, kapasitor C₁ dan C₂. Sedangkan rangkaian kedua berupa rangkaian *reset* yang dibentuk menggunakan kondensator C₃ dan R₁.

Bagian mikrokontroler U₁ merupakan otak dari sistem rangkaian alat karena semua data *input* dan *output* harus diproses dan dikontrol melalui U₁ termasuk proses menerima data dari ADC, proses kalkulasi dan proses penampilan informasi ke LCD.

Tidak semua kaki pada U₁ AT89C51 digunakan untuk proses data *transfer* dan hanya pin-pin tertentu saja yang dipergunakan dalam proses tersebut diatas.

PEMBAHASAN

Pengujian Perbagian

Dalam perancangan ini dilakukan pengujian perbagian agar lebih mudah dalam proses menganalisa sistem rangkaiannya. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian bagian *probe control*, pengujian bagian sensor, pengujian bagian ADC 8 bit, pengujian bagian mikrokontrol dan bagian LCD, pengujian bagian papan kunci, pengujian bagian led indicator dan pengujian bagian catudaya.

Pengujian Lengkap

Pengujian secara lengkap dilakukan untuk memenuhi kebutuhan data entry pembentuk database program *woods.asm*. Langkah pertama merupakan pembuatan 30 potong sample kayu yang akan diuji dengan ukuran 3x3x4 untuk setiap jenis kayu. Dengan menggunakan 6 jenis kayu yang digunakan dalam pengujian, maka materi sample yang dibentuk terdapat 180 potong kayu uji.

Langkah kedua merupakan proses pengeringan kayu secara manual (hanya menggunakan panas sinar matahari) terhadap 180 potong kayu uji secara bersamaan selama 30 hari. Dalam langkah kedua ini, proses pengujian resistansi dan kelembaban kayu uji diambil pada waktu yang sama dan ditabulasikan dalam tabel pengukuran sample untuk mendapatkan nilai validitas data yang akurat. Setelah proses pengujian selesai dilakukan, hitung nilai rata-rata hasil pengukuran untuk dirangkum menjadi tabel hasil pengujian *resistance* dan *moisture*. Hasil pengujian resistansi dan kelembaban kayu dapat dilihat pada tabel 3 dan 4. Sedangkan grafik hasil pengujian *resistance* dan *moisture* untuk masing-masing kayu dapat dilihat pada gambar 4 sampai dengan gambar 5.

Tabel 3a Sengon Original

Driying Day	Sengon Resistance (KΩ)	Sengon Moisture (gr/cm ³)
1	1,187	28,51
2	1,51533333	20,7333333
3	1,57233333	20,5266667
4	1,74333333	20,4933333
5	1,792	20,3866667
6	1,79266667	20,2233333
7	1,79433333	20,0655172
8	1,819	20,0166667
9	1,86733333	19,9466667
10	1,898	19,8733333
11	1,91333333	19,8133333
12	2,03466667	19,8033333
13	2,05166667	19,7966667
14	2,06266667	19,72
15	2,09833333	19,6233333
16	2,197	19,5233333
17	2,24433333	19,5066667
18	2,482	19,47
19	2,572	19,2533333
20	2,638	19,05
21	2,71533333	19,04
22	2,75233333	18,97
23	2,81766667	18,7866667
24	3,00517241	18,68
25	3,145	18,1633333
26	3,216	17,7433333
27	3,52833333	17,34
28	3,59233333	17,2633333
29	3,81433333	16,9366667
30	8,93266667	16,9266667

Tabel 3b Sengon Code Edited

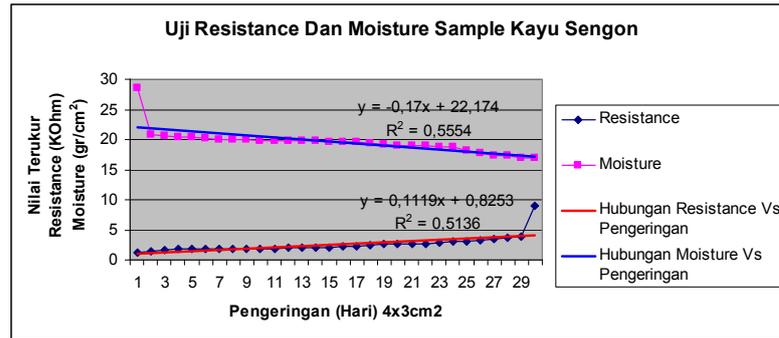
Driying Day	Sengon Resistance (KΩ)	Sengon Moisture (gr/cm ³)	Sensor Reading	
			Hex Coding	Conversions (mV)
1	1,187	28,51	01eh	0,5859375
2	1,515	20,73	01dh	0,56640625
3	1,572	20,53	01ch	0,546875
4	1,743	20,49	01bh	0,52734375
5	1,792	20,39	01ah	0,5078125
6	1,793	20,22	019h	0,48828125
7	1,794	20,07	018h	0,46875
8	1,819	20,02	017h	0,44921875
9	1,867	19,95	016h	0,4296875
10	1,898	19,87	015h	0,41015625
11	1,913	19,81	014h	0,390625
12	2,035	19,80	013h	0,37109375
13	2,052	19,80	012h	0,3515625
14	2,063	19,72	011h	0,33203125
15	2,098	19,62	010h	0,3125
16	2,197	19,52	0fh	0,29296875
17	2,244	19,51	0eh	0,2734375
18	2,482	19,47	0dh	0,25390625
19	2,572	19,25	0ch	0,234375
20	2,638	19,05	0bh	0,21484375
21	2,715	19,04	0ah	0,1953125
22	2,752	18,97	09h	0,17578125
23	2,818	18,79	08h	0,15625
24	3,005	18,68	07h	0,13671875
25	3,145	18,16	06h	0,1171875
26	3,216	17,74	05h	0,09765625
27	3,528	17,34	04h	0,078125
28	3,592	17,26	03h	0,05859375
29	3,814	16,94	02h	0,0390625
30	8,933	16,93	01h	0,01953125

Tabel 4a Meranti Original

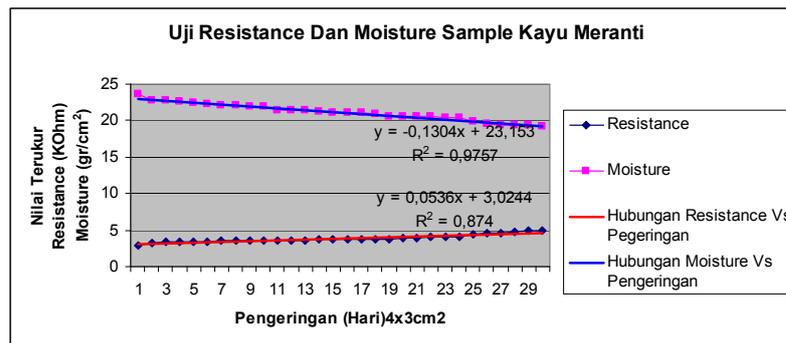
Driying Day	Meranti Resistance (K Ω)	Meranti Moisture (gr/cm ³)
1	2,83666667	23,61
2	3,26966667	22,7466667
3	3,357	22,7266667
4	3,42366667	22,5866667
5	3,44833333	22,47
6	3,47366667	22,2433333
7	3,518	22,0933333
8	3,54833333	22,04
9	3,58433333	21,95
10	3,60266667	21,92
11	3,62466667	21,5
12	3,64266667	21,4233333
13	3,64633333	21,3533333
14	3,67266667	21,2066667
15	3,69533333	21,13
16	3,73233333	21,1133333
17	3,77433333	21,0566667
18	3,81566667	20,8533333
19	3,82466667	20,65
20	3,867	20,5966667
21	3,91966667	20,5482759
22	4,00466667	20,5033333
23	4,06633333	20,42
24	4,10566667	20,37
25	4,34433333	19,9333333
26	4,59233333	19,53
27	4,64133333	19,3933333
28	4,76733333	19,3433333
29	4,90066667	19,31
30	4,97033333	19,3

Tabel 4b Meranti Code Edited

Driying Day	Meranti Resistance (K Ω)	Meranti Moisture (gr/cm ³)	Sensor Reading	
			Hex Coding	Conversions (mV)
1	2,837	23,61	050h	1,5625
2	3,270	22,75	04fh	1,54296875
3	3,357	22,75	04eh	1,5234375
4	3,424	22,59	04dh	1,50390625
5	3,448	22,47	04ch	1,484375
6	3,474	22,24	04bh	1,46484375
7	3,518	22,09	04ah	1,4453125
8	3,548	22,04	049h	1,42578125
9	3,584	21,95	048h	1,40625
10	3,603	21,92	047h	1,38671875
11	3,625	21,50	046h	1,3671875
12	3,643	21,42	045h	1,34765625
13	3,646	21,35	044h	1,328125
14	3,673	21,21	043h	1,30859375
15	3,695	21,13	042h	1,2890625
16	3,732	21,11	041h	1,26953125
17	3,774	21,06	040h	1,26953125
18	3,816	20,85	03fh	1,250
19	3,825	20,65	03eh	1,23046875
20	3,867	20,60	03dh	1,2109375
21	3,920	20,55	03ch	1,19140625
22	4,005	20,50	03bh	1,171875
23	4,066	20,42	03ah	1,15234375
24	4,107	20,37	039h	1,1328125
25	4,344	19,93	038h	1,11328125
26	4,592	19,53	037h	1,09375
27	4,641	19,39	036h	1,07421875
28	4,767	19,34	035h	1,0546875
29	4,901	19,31	034h	1,03515625
30	4,970	19,30	033h	1,015625

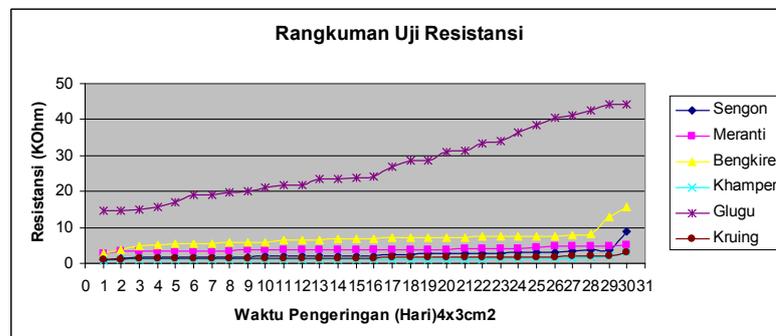


Gambar 4 Grafik Hasil Pengujian Sample Kayu Sengon

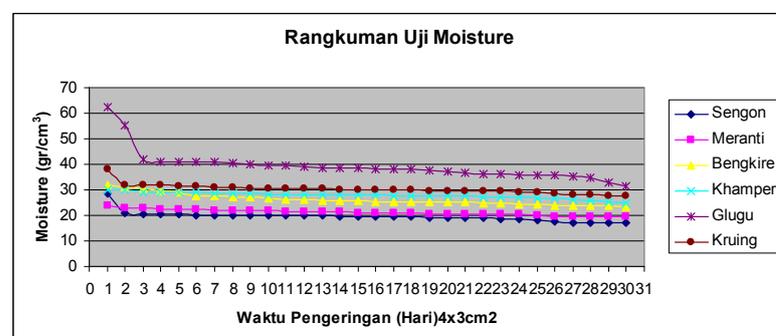


Gambar 5 Grafik Hasil Pengujian Sample Kayu Meranti

Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat diambil rangkuman hasil pengujian resistance dan moisture seperti ditunjukkan dalam gambar 6 dan 7.



Gambar 6 Grafik Rangkuman Hasil Pengujian Resistance



Gambar 7 Grafik Rangkuman Hasil Pengujian Moisture

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis desain alat yang telah dilakukan, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengidentifikasi kadar air dalam produk kayu olahan dapat dilakukan dengan mengukur tegangan balik kayu berdasarkan pengaruh resistansi air di dalam serat kayu menggunakan 2 buah probe logam yang ditusukkan ke produk kayu olahan tersebut. Tegangan acuan yang digunakan dalam pengujian di tentukan maksimal sebesar 2,5 Vdc.
2. Nilai data kadar air di dalam serat kayu dapat dibaca menggunakan rangkaian elektronik ADC yang telah dilengkapi dengan rangkaian sensor yang dibentuk menggunakan rangkaian Op-Amp.
3. Proses pengolahan data dan penampilan informasi terukur menggunakan rangkaian mikrokontroler yang telah dilengkapi dengan penampil LCD 20 karakter x 4 baris, selama aplikasi tersebut telah di program menggunakan *woods.asm* dan database kayu uji.
4. Berdasarkan hasil pengamatan grafik pengujian dapat diketahui karakteristik dari 6 jenis kayu uji, meliputi kayu sengon, kayu meranti, kayu kruing, kayu bengkire, kayu khamper, dan kayu glugu. Untuk nilai serapan air tertinggi terdapat pada kayu olahan jenis glugu. Untuk nilai serapan air terendah terdapat pada kayu olahan jenis meranti. Untuk nilai pengeringan paling tinggi selama 30 hari terdapat pada kayu olahan jenis glugu. Untuk nilai pengeringan paling rendah selama 30 hari terdapat pada kayu olahan jenis sengon. Untuk linearitas hasil pengeringan paling baik selama 30 hari terdapat pada kayu olahan jenis khamper, sedangkan linearitas hasil pengeringan paling buruk selama 30 hari terdapat pada kayu olahan jenis bengkire.
5. Berdasarkan hasil pengujian resistance dan moisture dari ke 6 jenis kayu olahan yang paling baik untuk digunakan adalah kayu olahan jenis khamper.

DAFTAR PUSTAKA

- Brink, O.G and Flink, R.J. 1983. “*Dasar-dasar Elektronika Instrumentasi*”. Jakarta : CV. Binacipta
- Malvino, A.P dan Barmawi, M. 1987. “*Prinsip-prinsip Elektronika*”. Edisi Ketiga.
Jakarta : PT. Erlangga.
- Nalwan, Paulus Andi. 2003. “*Teknik Antarmuka dan Pemrograman AT89C51*” Edisi Pertama. Jakarta
: PT. Elex Media Komputindo.
- Plant, Malcom and Stuart Jan, Dr. 1985. “*Pengantar Ilmu Teknik Instrumentasi*”. Edisi Pertama.
Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Putra, Agfianto.E, 2002. “*Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55*” (teori dan aplikasi), Jilid
II. Yogyakarta:Gava Media.
- Sugiharto, Agus, 2002. “*Penerapan Dasar Transducer dan Sensor*”. Jilid 7 Yogyakarta: Percetakan
Kanisius
-, 1988, “*SN54/74LS02 Quad 2-input NOR Gate Low Power Schottky*”, Motorola
Semiconductor, Japan
-, February 1995, “*LM78XX Series Voltage Regulators*”, National Semiconductor, Japan
-, October 1999, “*ADC0808/ADC0809 8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel
Multiplexer*”, National Semiconductor, Japan
-, 2000, “*8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash AT89C51*”, Atmel Corporation, web site
<http://www.atmel.com>
-, 1987, “*Liquid Crystal Display Module M1632*”, User Manual AN.No. 1632-711E, Seico
Instrument, Japan

APLIKASI *SIMULTANEOUS DETOXIFICATION-FERMENTATION* UNTUK BERBAGAI BAHAN LIGNOSELULOSA

Sri Rahayu Gusmarwani¹, Endang Widuri Asih², Ganjar Andaka³

^{1,3}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta

²Jurusan Teknik Industri, IST AKPRIND Yogyakarta

e-mail :¹gusmarwani@gmail.com, ²endang.akprind@gmail.com, ³ganjar_andaka@akprind.ac.id

ABSTRACT

Bioethanol is one of promising biofuel. It can be produced from lignocellulosic material such as agricultural waste that abundantly found in Indonesia. Lignocellulosic materials consist of lignin, hemicellulose, and cellulose. To produce ethanol from lignocellulosic materials, it is essential to hydrolyse it before fermentation. Hydrolysis product was called hydrolysates. The ethanol yield obtained during fermentation of lignocellulosic hydrolysates is decreased due to the presence of inhibiting compounds formed or released during hydrolysis process. It was necessary to boost ethanol yield in fermentation process by simultaneous detoxification-fermentation process. Simultaneous detoxification-fermentation process is one of fermentation methods that use detoxification step in simultaneous process. The major steps in simultaneous detoxification-fermentation process are bases detoxification, flocculation, sterilization and fermentation. Bases detoxification involves increasing the pH of the hydrolysates by addition of bases followed by flocculation using $Al_2(SO_4)_3$ and adsorption by activated carbon, and the lastest step of detoxification was steam sterilization for 4 hours. Adjustment of pH for fermentation was done by adding H_2SO_4 until pH 4,8 followed by fermentation using *Saccharomyces cereviceae* for 72 hours. This paper will discuss about applying simultaneous detoxification-fermentation process for any lignocellulosic hydrolysates such as rhizome waste hydrolysate, baggas hydrolysates, and corn cob hydrolysate. The result of application of simultaneous detoxification-fermentation process is increasing ethanol yield from 2,2% (rhizome waste hydrolysate), 2,1% (baggas hydrolysate), and 2,2% (corn cob hydrolysate) become 7,38%, 7,39%, and 6,12%. It mean that simultaneous-detoxification fermentation process was better than conventional fermentation (fermentation without detoxification step). Simultaneous detoxification-fermentation process could be used as ethanol booster in fermentation process.

Keywords : lignocellulose, hydrolysates, detoxification- fermentation

PENDAHULUAN

Kebijakan pemerintah mengenai kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) hampir dapat dipastikan menimbulkan gejolak di masyarakat. Kenaikan harga BBM biasanya akan diikuti dengan melambungnya harga-harga barang dan jasa lainnya. Sebagai salah satu penggerak ekonomi, baik sebagai penggerak industri maupun transportasi, BBM merupakan persoalan strategis setiap negara.

Pemerintah telah menetapkan kebijakan energi nasional dengan mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 5 tahun 2006 untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak yang sampai tahun 2025 total energi baru terbarukan di Indonesia adalah 17 % dari total energi nasional, terdiri dari 5% nabati/biofuel, 5% panas bumi, 2% batubara cair, dan 5% energi air, surya, angin, biomassa, dan nuklir.

Salah satu energi biomassa yang perlu dikembangkan adalah bioetanol. Biomassa dapat digunakan untuk sumber energi langsung maupun dikonversi menjadi bahan bakar. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi ini tidak akan menyebabkan terjadinya penumpukan gas CO_2 karena gas CO_2 yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran dipakai untuk pembentukan biomassa itu sendiri. Teknologi pemanfaatan energi biomassa yang telah dikembangkan terdiri dari pembakaran langsung dan konversi biomassa menjadi bahan bakar. Hasil konversi biomassa ini dapat berupa biogas, bioetanol, biodiesel, arang dan sebagainya. Bioetanol dan biodiesel dalam jangka panjang diharapkan dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak (Megawati, 2007).

Meskipun bioetanol dapat dibuat dari biomassa berbasis pati, tetapi pati umumnya dimanfaatkan sebagai makanan atau pakan, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan baku bioetanol dapat mengganggu penyediaan makanan atau pakan (Sediawan, dkk., 2009). Taherzadeh dkk. (1997)

mengidentifikasi dan mendapatkan komposisi kandungan selulosa dan hemiselulosa pada pohon-pohon *Alder*, *Aspen*, *Birch*, *Pine*, *Spruce*, dan *Willow*. Senyawa selulosa tersebut memiliki potensi untuk diproses menjadi etanol. Jeewon (1997) membuat etanol dari lignoselulosa yang terdapat pada kayu keras, kayu lunak, rumput-rumputan, dan limbah pertanian. Sedangkan Gusmarwani dkk., (2009) telah melakukan uji selulosa terhadap bonggol pisang dengan hasil kadar hemiselulosa dan selulosa dalam bonggol pisang masing-masing adalah 43,49% dan 15,4% yang mengindikasikan bahwa bonggol pisang berpotensi untuk diolah menjadi bioetanol. Tabel 1 memperlihatkan komposisi berbagai jenis bahan biomassa selulosa dalam persen berat kering yang dikemukakan oleh Demirbas (2005).

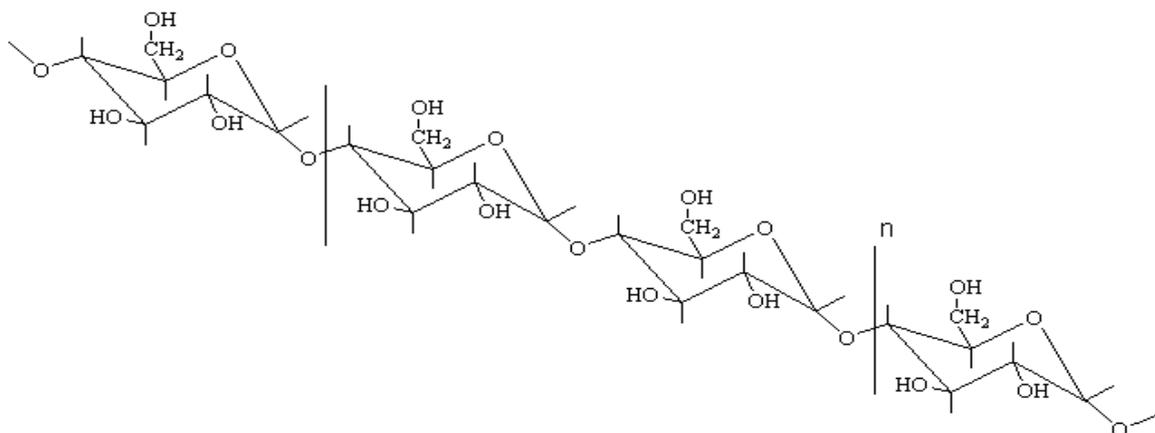
Bioetanol dapat dibuat dari biomassa berbasis pati atau berbasis lignoselulosa. Lignoselulosa merupakan senyawa polisakarida yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa merupakan senyawa polimer dari glukosa yang memiliki gugus ikatan C yang berbeda dengan pati (gambar 1). Ikatan polimer selulosa terjadi pada gugus C-beta, sedangkan pati memiliki ikatan polimer pada gugus C-alfa (Wertheim dan Jeskey, 1956). Hemiselulosa merupakan ikatan polimer heterogen dari polisakarida, monomernya dapat berupa glukosa, manosa, galaktose, xilosa, dan arabinosa. Manosa dan glukosa merupakan komposisi dari hemiselulosa yang paling banyak ditemukan pada kayu lunak, sedangkan xilosa ditemukan sangat banyak pada kayu keras. Susunan ikatan pada hemiselulosa lebih mudah dipecah pada proses hidrolisis daripada susunan ikatan pada selulosa (Palmqvist dan Hahn-Hagerdal, 2000).

Tabel 1. komposisi dari berbagai jenis bahan biomassa selulosa (%berat kering)

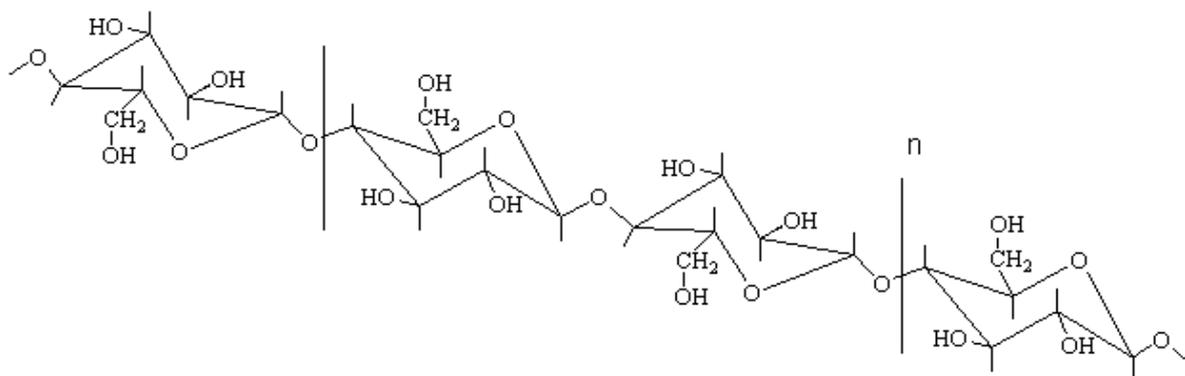
Material	Cellulose	Hemicelluloses	Lignin	Ash	Extractives
Algae (green)	20-40	20-50	—	—	—
Cotton, fiax, etc.	80-95	5-20	—	—	—
Grasses	25-40	25-50	10-30	—	—
Hardwoods	45±2	30±5	20±4	0.6±0.2	5±3
Hardwood barks	22-40	20-38	30-55	0.8±0.2	6±2
Softwoods	42±2	27±2	28±3	0.5±0.1	3±2
Softwood barks	18-38	15-33	30-60	0.8±0.2	4±2
Comstalks	39-47	26-31	3-5	12-16	1-3
Wheat straw	37-41	27-32	13-15	11-14	7±2
Newspapers	40-55	25-40	18-30	—	—
Chemical pulps	60-80	20-30	2-10	—	—

(Sumber : Demirbas, 2005)

Struktur Bangun Pati



Struktur Bangun Selulosa



Gambar 1. Rumus bangun pati dan selulosa

Produksi bioetanol dari bahan lignoselulosa bukan tanpa kendala. Kendala pertama yang dihadapi adalah bagaimana mengubah selulosa menjadi gula sederhana yang siap untuk difermentasi. Masalah ini dapat diatasi dengan melakukan hidrolisis bahan lignoselulosa pada suhu dan tekanan yang tinggi, dalam jangka waktu yang lama (Gusmarwani, 2011).

Proses hidrolisis lignoselulosa dengan asam encer pernah dicobakan pada proses Scholler dalam reaktor tangki berpengaduk dengan kondisi operasi; konsentrasi asam sulfat 0,5 %, tekanan 11-12 bar dan selama 45 menit. Hemiselulosa sebanyak 80 % w/w dapat terhidrolisis pada suhu di bawah 200⁰C tetapi konversi maksimal dicapai pada suhu di atas 220⁰C (Tahezadeh dan Niklasson, 2003).

Kendala kedua adalah adanya lignin dalam bahan lignoselulosa menyebabkan reaksi hidrolisis yang dilakukan pada suhu dan tekanan tinggi akan mengubah lignin menjadi senyawa lain yang bersifat racun bagi mikroba yang digunakan dalam proses fermentasi (Gusmarwani, 2011). Proses hidrolisis pada suhu di atas 220⁰C juga mengakibatkan terbentuknya senyawa racun bagi pertumbuhan mikroorganisme di dalam proses fermentasi. Senyawa-senyawa kimia yang bersifat racun tersebut ialah jenis senyawa asam karboksilat, senyawa furan dan senyawa fenol. Selain senyawa lignin, muncul pula senyawa-senyawa lain yang bersifat racun bagi mikroba yang digunakan dalam proses fermentasi, antara lain: furfural, asam karboksilat, fenol, dan sebagainya, sebagai hasil dari proses hidrolisis (Tahezadeh dan Niklasson, 2003). Dengan munculnya senyawa-senyawa yang bersifat racun bagi mikroba yang digunakan dalam fermentasi, menyebabkan kadar etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi menjadi sangat kecil. Kecilnya kadar etanol yang dihasilkan menyebabkan diperlukannya proses pemisahan yang sangat berat sehingga proses pemisahan menjadi sangat mahal. Karena itu diperlukan langkah-langkah untuk mengurangi senyawa beracun ini dengan metode *detoxification-fermentation* yang merupakan perpaduan dari langkah detoksifikasi yang dilanjutkan dengan proses fermentasi. Gusmarwani dan Budi, (2011), melaporkan mengenai penggunaan basa untuk proses detoksifikasi yang dilakukan sebelum proses fermentasi hidrolisat bonggol pisang, memberikan hasil dari 0,2689% jika fermentasi dilakukan tanpa detoksifikasi, meningkat menjadi 2.3107% jika detoksifikasi dilakukan dengan NaOH dan 7.3847% jika detoksifikasi dilakukan dengan Ca(OH)₂.

Tiga langkah utama dalam detoksifikasi yang dilakukan oleh Gusmarwani (2011), yaitu penyesuaian pH, pengendapan racun dan kontaminan, dan sterilisasi cairan hidrolisat dengan pemanasan uap selama 4 jam. Metode *detoxification-fermentation* yaitu metode detoksifikasi dan fermentasi yang dilakukan secara seri untuk meningkatkan kadar etanol di dalam larutan fermentasi (*fermentation strain*) sebelum dilakukan proses pemisahan (distilasi).

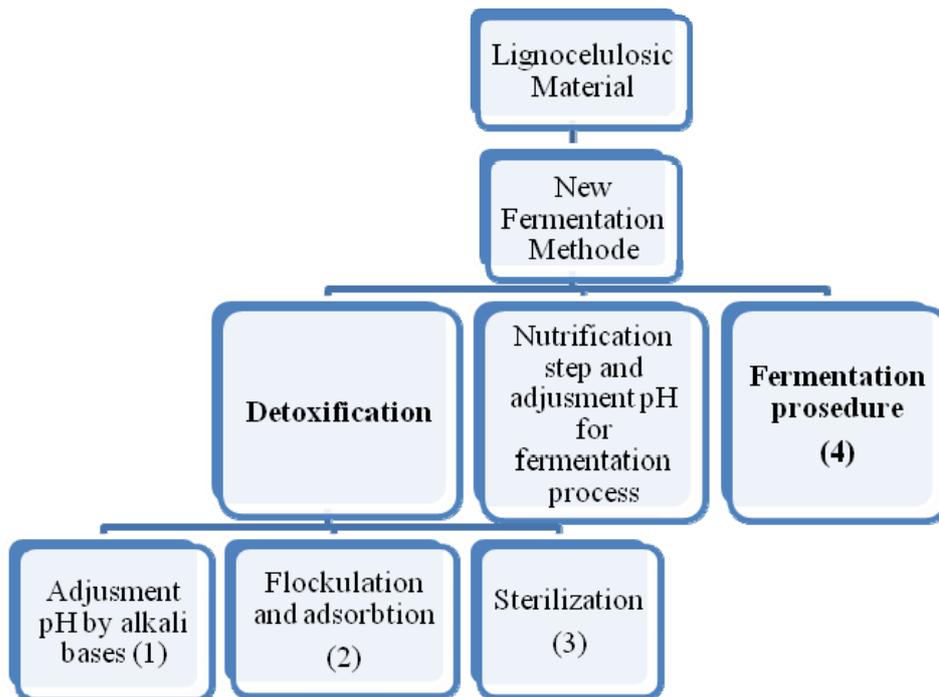
Dalam makalah ini akan dibahas mengenai metode *detoxification-fermentation* yang diaplikasikan untuk berbagai macam bahan lignoselulosa, yaitu bonggol pisang, tongkol jagung, dan bagas untuk menguji apakah metode *detoxification-fermentation* yang telah dilakukan dapat digunakan secara umum untuk semua bahan lignoselulosa.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hidrolisat bonggol pisang, hidrolisat bagas, dan hidrolisat tongkol jagung.
2. Ca(OH)₂, tawas, arang aktif, H₂SO₄, Saccharomyces cereviceae (ragi roti).
3. Alat yang digunakan adalah seperangkat alat detoxifikasi, seperangkat alat sterilisasi uap (steamer), dan seperangkat alat fermentasi.
4. Analisis hasil percobaan dilakukan dengan refraktometer.

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Alur Tahapan Penelitian

PEMBAHASAN

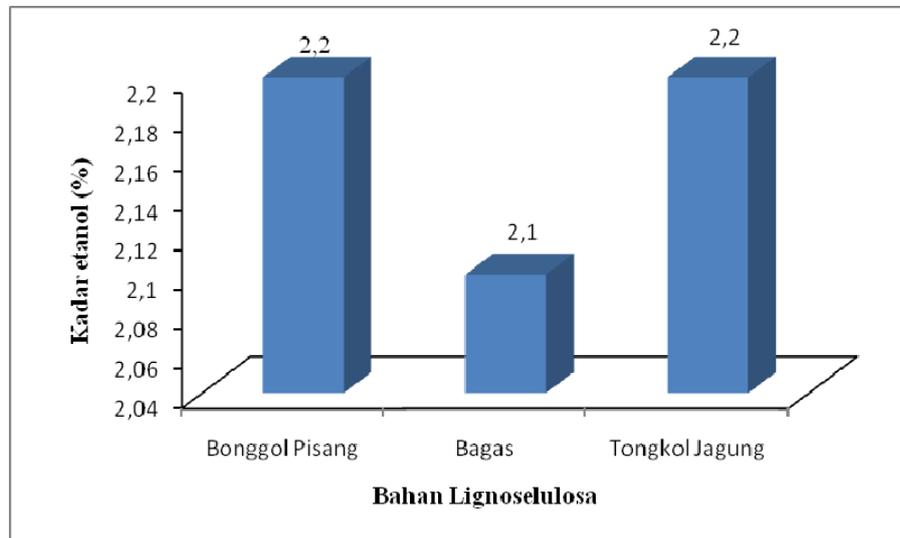
Hasil penelitian disajikan dalam bentuk Tabel 2 dan Gambar 3 berikut:

Tabel 2. Hubungan antara metode fermentasi dengan kadar etanol dalam larutan fermentasi untuk berbagai bahan lignoselulosa

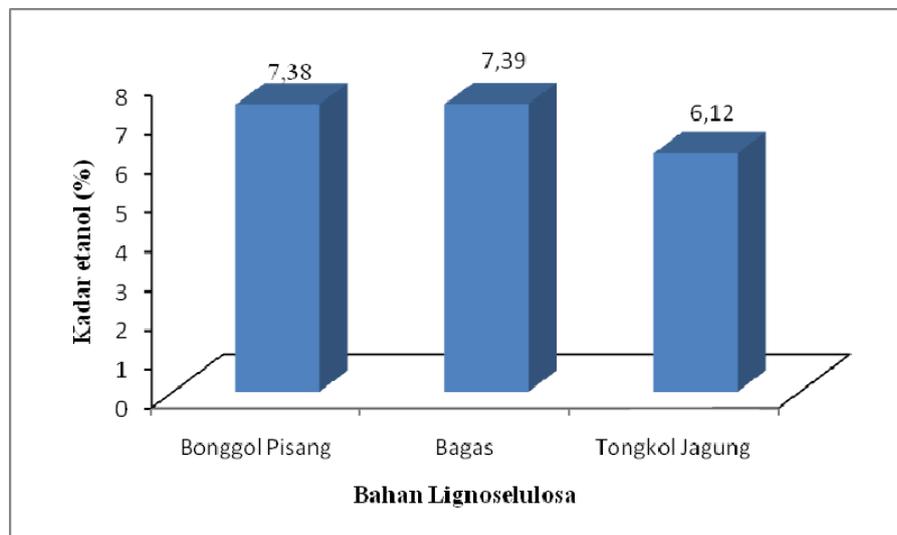
No	Nama Bahan Lignoselulosa	Kadar etanol Hasil Fermentasi (%)	
		Konvensional	Fermentasi-detoksifikasi
1	Bonggol Pisang	2,2	7,38
2	Bagas	2,1	7,39
3	Tongkol Jagung	2,2	6,12

Dari Tabel 2, Gambar 3, dan Gambar 4 dapat dilihat hubungan antara metode fermentasi dengan kadar etanol yang diperoleh untuk berbagai bahan lignoselulosa. Peningkatan kadar etanol yang diperoleh dengan mengaplikasikan metode fermentasi-detoksifikasi disebabkan adanya langkah

adsorpsi dan flokulasi pada metode detoksifikasi-fermentasi sehingga senyawa yang bersifat racun bagi *Saccharomyces cereviceae* dapat dipisahkan dari cairan yang akan difermentasi. Senyawa yang bersifat racun bagi *Saccharomyces cereviceae* dihasilkan dari proses hidrolisis yang dilakukan sebelumnya.



Gambar 3. Hubungan antara kadar etanol dalam larutan fermentasi untuk berbagai bahan lignoselulosa pada proses fermentasi konvensional



Gambar 4. Hubungan antara kadar etanol dalam larutan fermentasi untuk berbagai bahan lignoselulosa pada proses dengan metode fermentasi-detoksifikasi

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan:

1. Terjadi peningkatan kadar etanol dalam proses fermentasi dengan mengaplikasikan metode fermentasi-detoksifikasi
2. Peningkatan kadar etanol masing-masing sebesar 7,38%, 7,39%, dan 6,12% dari sebelumnya yaitu sebesar 2,2%, 2,1%, dan 2,2%

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada :

1. Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (Ditlitabmas) Ditjen Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui program Hibah Penelitian Dosen Pemula pendanaan tahun anggaran 2014 yang telah membiayai penelitian ini
2. Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta yang telah memberikan bantuan pendanaan penelitian untuk tahun anggaran 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Demirbas, A, 2005, “*Bioetanol from Cellulosic Material : A Renewable Motor Fuel from Biomass*”, Energy Source (27), pp. 327 – 337
- Gusmarwani, S.R., Budi, M.S.P, Sediawan, W.B., Hidayat, M., 2009, “*Pengaruh Perbandingan Berat Solid dan Waktu Reaksi terhadap Glukosa terbentuk pada Hidrolisis Bonggol Pisang untuk Pembuatan Bioetanol*”, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Bandung
- Gusmarwani, S.R. dan Budi, M.S.P., 2011, Effect of Bases Detoxification on Fermentation of Banana Rhizome Waste Hydrolysates for Ethanol Production, Seminar Internasional 19th IUPAC International Conference on Chemical Research Applied to World Needs (CHEMRAWN XIX 2011, Kuala Lumpur, Malaysia
- Gusmarwani, S.R., 2011, “*Pengaruh pH pada Detoksifikasi Hidrolisat Bonggol Pisang dengan NaOH terhadap Kadar Etanol terambil*”, Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Dosen Kopertis Wilayah V Yogyakarta, Bidang Ilmu Teknologi, Yogyakarta
- Jeewon, L., 1997, “*Biological Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol*”, Journal of Biotechnology, vol. 56, pp. 1-24, Elsevier
- Megawati, 2007, “*Etanol dari Lignoselulosa*”, *Profesional volumn 1 No.5*
- Palmqvist. E., and Hagerdal. B. H., 2000, “*Fermentation of Lignocellulosic Hydrolysates. II: Inhibition and Detoxification*”, *Bioresource Technology, Elsevier, vol. 74, hal. 25-33.*
- Sediawan, W.B., Hidayat, M., Syamsiah, S., Millati, R., 2009, “*Produksi Bahan Bakar Etanol dari Limbah Lignoselulosa*”, Research Week Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Taherzadeh, M. J., Eklund, R., Gustafsson, L., Niklasson, C., and Liden., G., 1997, “*Characterization and Fermentation of Dilute-Acid Hydrolyzates from Wood*”, Ind. Eng. Chem.Res., vol. 36, 4659-4665, American Chemical Society.
- Taherzadeh, M. J., and Niklasson, C., 2003, “*Ethanol from Lignocellulosic Materials: Pretreatment, Acid and Enzymatic Hydrolyses and Fermentation*”, 3 ed., pp. 6-9, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.
- Wertheim, E., and Jeskey, H., 1956, *Introductory Organic Chemistry with Certain Chapters of Biochemistry*, McGraw-Hill Book Company, New York

ADSORPSI LOGAM BERAT TIMBAL DAN KADMIUM PADA LIMBAH BATIK MENGUNAKAN BIOSORBENT PULPA KOPI TERXANTHASI

Indah Riwayati¹, Indah Hartati², Helmy Purwanto³, Suwardiyono²

^{1,2,4}Jurusan Teknik Kimia, Universitas Wahid Hasyim Semarang

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Wahid Hasyim Semarang

e-mail :¹riway79@yahoo.com

ABSTRACT

Effluent from Batik industries may contain some toxic pollutant. One of those are heavy used optimally. Heavy metal in wastewater can be treated by adsorption process. Modification of coffe pulp can be an alternative to conventional methode for heavy metal contain waste adsorption. The effects of various parameter on adsorption efficiency of Pb (II) dan cadmium particularly pH, temperature, contact time and amount of adsorbent were investigated. The aim of this research was evaluate optimum condition adsorption on those parameter using xanthated coffe pulp for heavy metal contain batik wastewater. The experimental results obtained optimum conditionsat pH valuesof 2, the maximum temperature of 40⁰C, the maximum contact time of 24 hours and a maximum weight of 100g adsorbent. These conditions result in the adsorption process, respectively for 68.18% and 76.1% of lead and cadmium with successive adsorption capacity of 0,029 and 0.00198mg metalion/g adsorbent. Has successfully reduced the adsorption capacity of heavymetal content in the waste batik originally 0,213ppm to 0,068ppm for lead. While the original metal cadmium 0,068ppm to 0,013ppm.

Keywords: waste batik, adsorption, xanthated coffe pulp

PENDAHULUAN

Batik merupakan salah satu kekayaan budaya bangsa Indonesia yang telah mendapat pengakuan internasional dari UNESCO pada tahun 2009. Pencanangan hari batik nasional telah berperan meningkatkan minat pemakai batik. Data Kementerian Perindustrian menyebutkan bahwa pada tahun 2010 jumlah konsumen batik tercatat 72,86 juta orang (Kompas, 2011). Meningkatnya minta dan konsumsi batik berdampak tumbuh dan berkembangnya sentra-sentra industri batik berbagai daerah di Indonesia.

Proses pembuatan batik berawal dari metode sederhana, yaitu menggambar dengan canting dan mencelupkan dalam pewarna, batik cap dengan cara dicap pada cetakan sampai produksi massal dengan mesin moderen. Dalam pembuatan batik, dari proses awal hingga proses penyempurnaan diindikasikan menggunakan bahan kimia yang mengandung unsur logam berat, sehingga bahan buangnya juga masih mengandung unsur logam berat tersebut. Apabila bahan buangan tersebut tidak diolah dengan baik, maka bahan buangan tersebut dapat mencemari lingkungan (Sasongko dan Tresna, 2010).

Karakteristik limbah batik adalah meliputi: (i) karakteristik fisika yang terdiri atas warna, bau, zat padat tersuspensi, temperatur, dan (ii) karakteristik kimia yang terdiri atas bahan organik, anorganik, fenol, sulfur, pH, logam berat, senyawa racun (nitrit), dan gas (Muljadi, 2009). Adapun contoh karakteristik limbah industri batik (industri batik cap khas Palembang) disajikan pada Tabel 1 (Agustina dkk., 2011).

Timbal adalah sebuah unsur yang biasanya ditemukan di dalam batu-batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Timbal 95% bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk garam anorganik yang bersifat kurang larut dalam air. Timbal merupakan suatu logam toksik yang bersifat kumulatif, toksisitasnya dibedakan menurut organ yang dipengaruhi. Pada sistem hemopoietik dapat memperlambat pematangan normal sel darah merah yang menyebabkan anemia, mempengaruhi kelangsungan hidup sel darah merah serta menghambat biosintesa haemoglobin. Risiko dari keracunan timbal dapat menimbulkan kerusakan pada otak. Penyakit-penyakit yang timbul sebagai akibat dari keracunan timbal adalah epilepsi, halusinasi, kerusakan pada otak besar dan delirium. Timbal yang terlarut dalam darah akan berpindah ke sistem urinaria sehingga dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada ginjal. Timbal dapat melewati placenta sehingga dapat menyebabkan kelainan pada janin berupa cacat pada bayi dan menimbulkan berat badan lahir rendah serta prematur. Timbal juga

dapat menyebabkan kelainan pada fungsi tiroid dengan mencegah masuknya iodine (Sudarwin, 2008).

Tabel 1. Karakteristik air limbah pabrik batik cap

Parameter	Standar (mg/L)	Limbah industri batik (mg/L)
pH	6-9	6
COD	150	4.230
Amoniak total	8	5,47
Fenol total	0,5	0,008
TSS	50	535
Sulfida	0,3	0,040
Crom total	1	0,1385
Besi	-	2,0587
Tembaga	-	0,2696
Seng	-	54,7175
Kadmium	-	0,0063
Timbal	-	0,2349

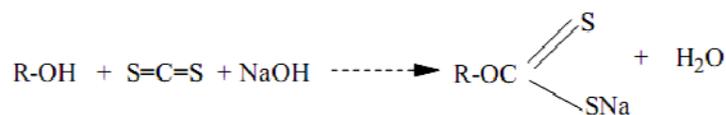
Sumber: Agustina dkk., 2011

Kadmium adalah suatu logam putih, mudah dibentuk, lunak dengan warna kebiruan. Titik didih relatif rendah (767°C) membuatnya mudah terbakar, membentuk asap kadmium oksida. Kadmium dan bentuk garamnya banyak digunakan pada beberapa jenis pabrik untuk proses produksinya. Berbagai organ tubuh dapat terpengaruh setelah paparan jangka panjang terhadap kadmium. Organ yang akan mengalami gangguan fungsional dini adalah ginjal. Keracunan Cd kronis dapat menyebabkan gangguan kardiovaskular dan hipertensi (Sudarwin, 2008).

Pengolahan kopi secara basah akan menghasilkan limbah padat berupa kulit buah/pulpa kopi pada proses pengupasan buah (pulping) dan kulit tanduk pada saat penggerbusan (hulling). Limbah pulpa kopi dapat mencapai 28,7% dari produksi kopi (Parani&Eyini, 2010). Jika produksi kopi pada tahun 2008 mencapai 683 ribu ton (Deptan, 2009) maka limbah pulpa kopi mencapai 196,2 ribu ton.

Limbah pulpa kopi yang berlimpah tersebut hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal. Umumnya pulpa kopi hanya ditumpuk di sekitar lokasi pengolahan, sehingga menimbulkan bau busuk dan cairan yang mencemari lingkungan. Sementara ini, pulpa kopi baru dimanfaatkan sebagai pupuk kompos, bahan baku biogas, media tanam jamur, pakan ternak, karbon aktif dan produksi bioetanol (Rathinavelu&Grazioni, 2005; Yesuf, 2010).

Senyawa xanthate dibuat dengan mereaksikan substrat yang mengandung gugus hidroksil dengan karbon bisulfida dalam suasana basa. Reaksi xanthasi disajikan pada Gambar 4 (Bashyal, Homagai, & Ghimire, 2010).



Gambar 1. Reaksi xanthasi

Adsorpsi ion logam berat kedalam permukaan senyawa xanthate dapat dianggap sebagai proses pertukaran ion, pembentukan kompleks dan atau proses pembentukan chelat. Melalui proses pertukaran ion, dua atom sulfur yang bermuatan negatif pada senyawa xanthate akan menangkap ion logam bervalensi dua. Sedangkan pada proses pembentukan kompleks melibatkan empat atom sulfur dan satu ion logam bervalensi dua.

Beberapa penelitian mengenai penggunaan senyawa xanthate yang digunakan dalam pemisahan logam berat antara lain penelitian oleh Kim dkk. (2006) yang menggunakan senyawa xanthat yang berbasis kitin dalam mengadsorpsi ion Pb^{2+} . Homagai dkk. (2009) menggunakan senyawa xanthate dari ampas apel untuk mengadsorpsi ion Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , dan Fe^{3+} . Sementara Sha dkk. (2010) menggunakan senyawa xanthate dari kulit jeruk untuk mengadsorpsi logam ion Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , dan Ni^{2+} .

METODE PENELITIAN

Proses adsorpsi logam berat dengan menggunakan pulpa kopi terxanthasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: pH, berat adsorben, waktu kontak dan suhu. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kondisi optimum variabel proses pH, berat adsorben, waktu kontak dan suhu pada adsorpsi logam berat timbal dan cadmium yang ada di dalam limbah batik dengan menggunakan biosorben pulpa kopi terxanthasi dalam prototype tanki biosorpsi.

Tahap pertama dari penelitian ini adalah sintesa pulpa kopi terxanthasi. Pulpa kopi dicuci dan dikeringkan pada suhu 70°C selama 24 jam dan digiling (PK). Sebanyak 50 gram PK direndam dalam 250 ml etanol dan 250 ml larutan NaOH 1% pada suhu ruang selama 24 jam. Campuran disaring, dicuci dengan distilled water dan dikeringkan pada suhu 70°C. Selanjutnya produk kering (PKK) sebanyak 15 g ditambahkan dengan 200 ml larutan NaOH 4 M. Larutan diaduk pada suhu ruang selama 3 jam dan 3 jam lagi setelah ditambah 10 ml CS₂. Campuran dibiarkan mengendap dan supernatan didekantasi. Alkali berlebih dihilangkan dengan distilled water dan acetone serta dikeringkan.

Tahap selanjutnya, sebanyak 25 g adsorben pulpa kopi terxanthasi ditambahkan kedalam 1,5 L limbah industri batik. Larutan diaduk menggunakan pengaduk isothermal dengan kecepatan pengadukan dijaga pada 100 rpm. Temperatur larutan diatur pada suhu 25°C (atau sesuai variabel). pH awal larutan diatur pada pH sesuai variabel menggunakan larutan 1 N NaOH dan HCl. Pada akhir kesetimbangan, erlenmeyer dipindahkan dari tanki biosorpsi dan adsorben disaring menggunakan kertas saring Whatman no 41. Konsentrasi logam pada filtrat dianalisa menggunakan AAS. Variabel pH pada percobaan sebesar 2,4,6, 8; berat adsorben (gr) 25, 50, 75, 100; waktu kontak (jam) : 6, 12, 18,24 dan suhu (°C): 25, 30, 35, 40. Optimasi dilakukan pada variabel pH, hasilnya digunakan untuk optimasi variabel suhu kemudian berturut-turut waktu dan berat adsorben. Data yang diperoleh dari setiap run percobaan adalah data konsentrasi akhir ion logam dalam larutan (C_e). Jumlah ion logam yang teradsorpsi pada kesetimbangan ditentukan menggunakan persamaan kesetimbangan massa:

$$q_e = \frac{C_i - C_e}{S} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana q_e adalah konsentrasi ion logam yang teradsorpsi dalam adsorben pulpa kopi terxanthasi pada saat kesetimbangan (mg ion logam /g adsorben), C_i adalah konsentrasi awal ion logam (mg/L) dan C_e adalah konsentrasi kesetimbangan atau konsentrasi akhir ion logam dalam larutan. Sementara S adalah konsentrasi slurry, yang dinyatakan sebagai:

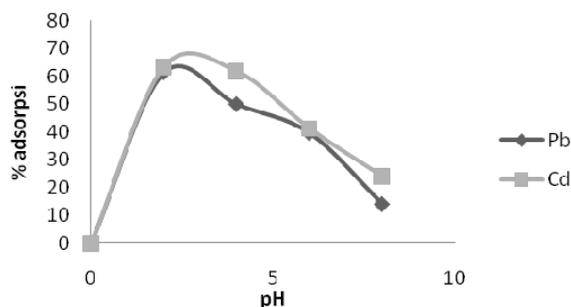
$$S = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana v adalah volume awal larutan logam yang digunakan (L) dan m adalah berat adsorben yang digunakan. Persentase adsorpsi dan rasio distribusi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

PEMBAHASAN

Hasil percobaan optimasi variabel pH dapat dilihat seperti pada Gambar 2. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa kondisi optimum diperoleh pada nilai pH 2. Presentase adsorpsi maximum pada pH sebesar 61,4 % untuk timbal dan 63,45 % untuk kadmium atau kapasitas adsorpsi sebesar 0,026 mgr ion logam /gr adsorben dan 0,00165 mgr ion logam/gr adsorben. Dari konsentrasi awal sebesar 0,213 ppm untuk timbal menjadi 0,082 ppm. Sedangkan konsentrasi awal logam kadmium sebesar 0,013 ppm menjadi 0,00475 ppm.



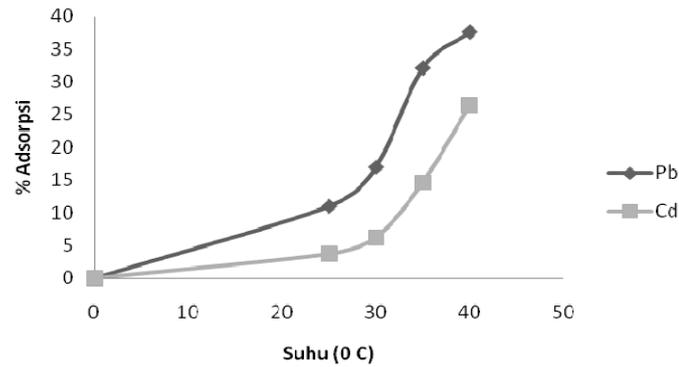
Gambar 2. Hasil percobaan optimasi variabel pH

Kapasitas adsorpsi dan prosentase adsorpsi menurun tajam jika dibandingkan dengan penggunaan adsorben pulpa kopi terxanthasi pada limbah sintesis yang hanya mengandung timbal atau kadmium saja. Pada limbah sintesis diperoleh nilai pH optimal sebesar 8 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 10 mg ion/gr adsorben untuk timbal dan 9,64 mg ion/gr adsorben untuk kadmium. Prosentase adsorpsi maksimum berturut-turut sebesar 100 % dan 96,45 % untuk timbal dan kadmium (Riwayati dkk., 2013). Penurunan ini diakibatkan oleh kompleksnya kandungan bahan dalam limbah batik yang sebagian besar terdiri dari zat warna. Zat warna dalam batik dapat melepaskan kation yang akan bersaing dengan ion logam berat untuk menempel pada adsorbent (Khalir dkk., 2011). Adsorpsi ion logam berat ke dalam permukaan senyawa xanthate dapat dianggap sebagai proses pertukaran ion, pembentukan kompleks dan atau proses pembentukan chelat. Melalui proses pertukaran ion, dua atom sulfur yang bermuatan negatif pada senyawa xanthate akan menangkap ion logam bervalensi dua. Sedangkan pada proses pembentukan kompleks melibatkan empat atom sulfur dan satu ion logam bervalensi dua. Pada pH 2 diperoleh prosen adsorpsi optimum. Prosen adsorpsi turun pada pH yang lebih tinggi, hal ini disebabkan oleh semakin kecilnya kelarutan logam sehingga memungkinkan terjadinya pengendapan dalam larutan. Pada adsorpsi beberapa logam berat menggunakan xanthat kulit apel diperoleh pH optimum sebesar 3 untuk timbal dan 4 untuk kadmium (Homagai dkk., 2009). Pada pH tinggi juga terjadi interaksi antara ion Pb dengan OH⁻ yang diikuti dengan pelarutan dan hidrolisis didalam larutan. Mekanisme yang terjadi adalah sebagai berikut (Bashyal dkk., 2010):

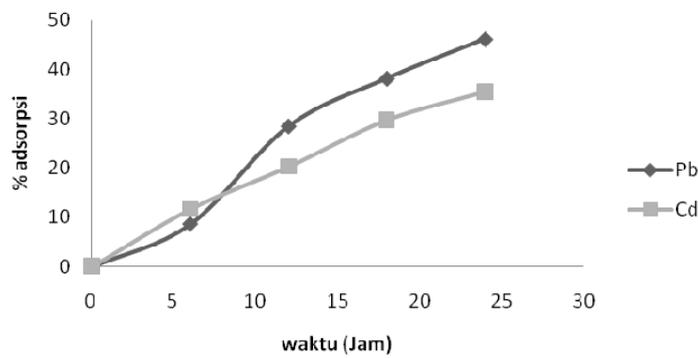


Pada percobaan optimasi suhu, diperoleh hasil seperti yang terlihat pada Gambar 3. Kondisi maksimum diperoleh pada suhu 40 ° C untuk timbal dan kadmium dengan prosen adsorpsi masing-masing sebesar 31,57 % dan 26,47 %. Kapasitas adsorpsi untuk timbal dan kadmium berturut turut sebesar 0,016 mgr ion logam/gr adsorben serta 0,00069 mgr ion logam/gr adsorben. Proses adsorpsi logam dapat bersifat eksotermis atau endotermis. Jika kapasitas adsorpsi meningkat seiring peningkatan suhu, maka adsorpsi bersifat endotermis dan jika sebaliknya maka bersifat eksotermis. Untuk logam timbal diperoleh nilai energi bebas Gibbs negatif, entropi dan enthalpi positif, sehingga proses adsorpsi logam timbal bersifat spontan endotermis (Zhao dkk., 2011). Apabila dilihat dari Gambar 2, prosen adsorpsi meningkat seiring peningkatan suhu, sehingga proses adsorpsi logam Pb dan Cd bersifat endotermis.

Untuk variabel waktu kontak, dalam penelitian ini diperoleh hasil terbaik pada nilai 24 jam dengan prosentase adsorpsi sebesar 46,15 % untuk timbal dan 35,58 % untuk kadmium (Gambar 4). Besar kapasitas adsorpsi untuk timbal dan kadmium berturut-turut sebesar 0,020; 0,00092 mgr ion logam/gr adsorben. Adsorpsi terjadi melalui dua fase tahapan. Tahap pertama merupakan fase cepat, sedangkan kedua merupakan fase lambat. Fase cepat terjadi sehubungan dengan banyaknya tempat aktif tempat terjadinya ikatan pada permukaan adsorbent. Fase lambat dengan penambahan waktu kontak tidak memberikan prosen adsorpsi yang signifikan, hal ini terjadi karena terjadi proses difusi ion logam ke bagian yang lebih dalam dari biosorbent (Kostic dkk., 2013).

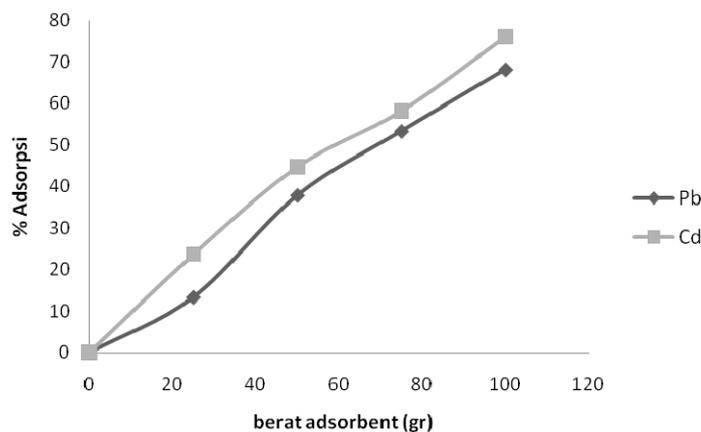


Gambar 3. Hasil Percobaan optimasi variabel suhu



Gambar 4. Hasil percobaan optimasi variabel waktu

Percobaan optimasi variabel berat adsorben dilakukan dengan kondisi pH, suhu dan waktu kontak optimum. Hasil maksimum yang diperoleh dalam percobaan ini pada berat adsorben 100 gr dengan prosentase adsorpsi sebesar 68,18% dan 76,1 % untuk timbal dan kadmium dengan kapasitas adsorpsi berturut-turut sebesar 0,029 dan 0,00198 mgr ion logam/gr adsorben. Prosentase tersebut diperoleh dari konsentrasi logam berat awal sebesar 0,213 ppm untuk timbal dan 0,013 ppm untuk logam kadmium menjadi 0,068 ppm dan 0,0031 ppm.



Gambar 5. Hasil percobaan optimasi variabel berat adsorben

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan ini dapat disimpulkan bahwa proses optimasi memperoleh hasil terbaik pada variabel pH 2, suhu 40 ° C, waktu 24 jam dan berat adsorbent sebesar 100 gr dengan prosen adsorpsi sebesar 68,18% dan 76,1 % untuk timbal dan kadmium.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T.E., Nurisman, E., Prasetyowati, Haryani, N., 2011, "Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintesis dengan Menggunakan Reagen Fenton" Prosiding Seminar Nasional AvoER ke-3, Palembang.
- Bashyal, D., Homagai, P.L., Ghimire, K.N., Removal of Lead from Aqueous Medium Using Xanthate Modified Apple Juice Residue. *Journal of Nepal Chemical Society*. 2010, Vol 26: pp. 53-60
- Departemen Pertanian, 2009, "Outlook Komoditas Pertanian (Perkebunan)"
- Homagai, P.L., Bashyal, D., Poudyal, H., Ghimire, K.N., (2009). Studies on Functionalization of Apple Waste for Heavy Metal Treatment. *Nepal Journal of Science and Technology*. Vol 10: 135-139
- Khalir, w., K., A., W., M., Hanafiah, M., A., K., M., So'ad, S., Z., M., Ngah, W., S., W., "Adsorption behavior of Pb (II) onto xanthated rubber (hevea brasiliensis) leaf powder" *Polish Journal of Chemical technology*, 13, 4, 2011, pp. 82-88
- Kim, S.H., Song, H., Nisola, G.M., Ahn, J., Galera, M.M., Chung, W.J., Lee, C.H., 2006, "Adsorption of Lead Ions using Surface Modified Chitin", *Journal of Ind.Eng.Chem*, vol 12 (3):469-475
- Kompas, 2011, "Batik Punya Nilai Ekonomi Tinggi"
- Kostic, M., Mitrovic, J., Radovic, M., Ljupkovic, R., Krstic, N., Bojic, D., Bojic, A., "Biosorption Pb(II) Ions Using Xanthated *Lagena vulgaris* Shell" Reporting for Sustainability, 2013.
- Muljadi, 2009, "Efisiensi Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cetak dengan Metode Fisika Kimia dan Biologi Terhadap Penurunan Parameter Pencemar (BOD, COD dan Logam Berat Krom)", *Ekulilibrium*, vol 8 (1):7-16
- Parani, K., Eyini, M., 2010, "Effect of Co-fungal Treatment on Biodegradation of Coffee Pulp Waste in Solid State Fermentation", *Asian Journal Experiment Biological Science*, 1(2), 352-359
- Rathinavelu, R., Grazioni, G., 2005, "Potential Alternative Use of Coffee Wastes and By Product", *Coffee Organization*:1-4
- Riwayati, I., Hartati, I., Purwanto, H., dan Suwardiyono, 2013, Optimization Variables Process of Adsorption lead and Cadmium Using Xanthated Coffe Pulp, *Engineering International Conference 2013 Proceeding*, ISBN: 97925-2784
- Sasongko, D., P., dan Tresna, W., P., 2010, Identifikasi Unsur dan Kadar Logam Berat pada Limbah Pewarna Batik dengan Metode Analisa Pengaktifan Neutron, *Journal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH*, Volume 27, pp. 22-27
- Sha, L., XueYi, G., Ning-chuan, F., Qing-hua, T., (2010). Effective Removal of Heavy Metals From Aqueous Solution by Orange Peel Xanthate. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. Vol 20, pp. 187-191
- Sudarwin, 2008, "Analisa Spasial Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd Pada Sedimen Aliran Sungai dari TPA Jatibarang Semaarng", Thesis pada Program Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro
- Yesuf, Y.K., 2010, "Chemical Composition and In Vitro Digestibility of Coffee Pulp and Coffee Husk Ensiled with Grass Hay and EM", A Thesis at Jimma University
- Zhao, G., Wu, X., Tan, X., and Wang, X., 2011, Sorption of Heavy Metal ions from Aqueous Solutions: A Review, *The Open Colloid Science Journal*, 4, 19-31

PENGARUH SUHU DAN PERBANDINGAN KATALIS ZEOLIT TERHADAP KARAKTERISTIK PRODUK PIROLISIS KAYU JATI (*Tectona Grandis* Lf)

Emi Erawati¹, Wahyudi Budi Sediawan², Ani Budiyati³, Wawan Kurniawan⁴

^{1,3,4}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta

e-mail : ¹Emi.Erawati@ums.ac.id

ABSTRACT

Pyrolysis is warm up biomass process without oxygen. In the pyrolysis will be degradation complex compound become bio-oil, gas, and char. Husk rice is used as raw material. The pyrolysis tools series are reactor, cyclone, condenser, bio-oil storage, thermocouple, thermocontrol, open manometer, LPG storage and gas storage. Husk rice is screening become 40 mesh. Husk rice is dried for 8 hours until the average of moisture is 10%. One kg of dry husk rice and 0.25 kg of zeolite are entered to reactor and closed. Pyrolysis has been carried out at the temperature of 400, 450, 500, 550 and 600°C and variation of composition husk rice to zeolite of 1 : 1/8; 1 : 1/4; 1 : 1/2; 1 : 3/4; and 1 : 1. The result of pyrolysis is cooled by ice and storage in the bio-oil storage. Bio-oil composition is measured by GC-MS. Non condensable liquid is stored by gas storage. The gas temperature are measure by thermocouple, pressure by open manometer, and the gas composition by portable gas analyzer. Based on the research the optimal temperature is 600°C. In the 600°C of temperature variation bio oil, bio-char, and gas yield are 38.24, 46.59, and 15.18 (% mass) respectively. In the mass composition of the husk rice to zeolite is produced bio-oil, bio char and gas are 41.81, 28.69, and 29.50 (% mass) respectively. From GC-MS the highest chemical compound of crotonaldehyde was obtained at pyrolysis temperature of 400°C and acetic acid at temperature of 450-600°C. The average composition of the resulting portable gas analyzer consists of CO₂ (34.0875), CO (8.1173), O₂ (3.2250), CH₃ (0.8788), NO (0.2788), SO₂ (0.2850) and NO₂ (0.070 %volum).

Key words: acetic acid, crotonaldehyde, *tectona grandis*, pyrolysis

PENDAHULUAN

Jati (*Tectona grandis*) merupakan salah satu spesies pohon komersial yang memiliki nilai jual tinggi karena telah dikenal sebagai bahan baku *plywood*, lantai, *furniture* dan kerajinan. Berdasarkan data dari Perum Perhutani Jawa Tengah, produksi kayu jati di Jawa Tengah pada bulan Februari Tahun 2011 adalah sebesar 35.654 m³. Produksi kayu jati untuk wilayah Surakarta sebesar 2.500 m³. Dengan asumsi bahwa produksi limbah kayu gergajian sebesar 50% dan serbuk gergajian sebesar 15% maka besarnya limbah kayu gergajian yang dihasilkan adalah sebesar 5.348,1m³.

Umumnya sebagian limbah serbuk gergaji ini hanya digunakan sebagai bahan bakar tungku, atau dibakar begitu saja, sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Dengan cara pirolisis, serbuk gergaji kayu jati yang belum termanfaatkan secara optimal dapat diolah menjadi suatu produk yang bernilai ekonomis baik *asap cair*, gas, atau *char*.

Kayu jati memiliki nama botani *Tectona grandis* L.f. Di Indonesia kayu jati memiliki berbagai jenis nama daerah yaitu delek, dodolan, jate, jatih, jatos, kiati, dan kulidawa. Kayu ini merupakan salah satu kayu terbaik di dunia. Pohon jati tumbuh baik pada tanah sarang terutama tanah yang mengandung kapur pada ketinggian 0-700 m di atas permukaan laut, di daerah dengan musim kering dan jumlah curah hujan rata-rata 1200-2000 mm per-tahun. Banyak terdapat di seluruh Jawa, Sumatra, Nusa Tenggara Barat, Maluku, dan Lampung. Pohon jati dapat tumbuh mencapai tinggi 45 m dengan panjang batang bebas cabang 15-20 m, diameter batang 50-220 mm, bentuk batang beralur, dan tidak teratur.

Kayu jati memiliki serat yang halus dengan warna kayu mula-mula sawokelabu, kemudian berwarna sawo matang apabila lama terkena cahaya matahari dan udara. Serat kayu memiliki arah yang lurus dan kadang-kadang terpadu, memiliki panjang serat rata-rata 1316 µm dengan diameter 24,8µm, dan tebal dinding 3,3µm. Struktur pori sebagian besar soliter dalam susunan tata lingkaran, diameter 20-40µm dengan frekuensi 3-7 per-mm². Karena sifat-sifatnya, kayu jati merupakan jenis kayu yang paling banyak dipakai untuk berbagai keperluan. Pada industri pengolahan kayu, jati diolah menjadi

kayu gergajian, *plywood*, *blackbord*, dan *particleboard*. Ada beberapa sifat kayu yang perlu dipahami untuk pertimbangan dalam penentuan jenis kayu yang akan digunakan. Menurut Fengel and Wengener (1995) sifat-sifat kayu tersebut adalah sifat kimia, sifat fisik, sifat higroskopik, dan sifat mekanik kayu. Sifat-sifat kayu jati secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun kayu keras. Hal tersebut mengandung pengertian bahwa apabila serbuk gergaji kayu dipanaskan tanpa berhubungan dengan udara dan diberi suhu yang cukup tinggi, maka akan terjadi reaksi penguraian dari senyawa-senyawa kompleks yang menyusun kayu keras dan menghasilkan zat dalam tiga bentuk yaitu padatan, cairan dan gas (Wazyka dkk, 2000).

Pirolisis dipengaruhi oleh waktu, kadar air bahan, suhu, dan ukuran bahan. Uraian lengkapnya sebagai berikut:

1. Kadar air umpan yang tinggi menyebabkan waktu pirolisis menjadi lama dan hasil cair menjadi rendah konsentrasinya, tetapi keaktifan arang akan meningkat karena uap air dapat berperan sebagai oksidator zat-zat yang melekat pada permukaan arang (Agra dkk, 1973).
2. Ukuran bahan terkait jenis bahan dan alat yang digunakan. Semakin kecil ukuran bahan luas permukaan per satuan massa semakin besar, sehingga dapat mempercepat perambatan panas keseluruhan umpan dan frekuensi tumbukan meningkat misalnya serbuk gergaji cetak dipirolisis dengan diameter 1,5 cm (Budhijanto, 1993). Ukuran bahan juga berpengaruh terhadap kapasitas pengolahan.
3. Suhu proses yang tinggi akan menurunkan hasil arang, sedangkan hasil cair dan gas meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya zat-zat yang terurai dan teruapkan. Pirolisis serbuk gergaji kayu memerlukan suhu 456⁰C (Budhijanto, 1993).

Tabel 1. Sifat Sifat Kayu Jati

No	Sifat	Satuan	Nilai
1	Berat Jenis	kg/m ³	0,62-0,75 (rata-rata 0,67)
2	Kadar Selulosa	%	47,5
3	Kadar Lignin	%	29,9
4	Modulus Elastis	kg/mm ³	127700
5	Kadar Pentosa	%	14,4
6	Kadar Abu	%	1,4
7	Kadar Silika	%	0,4
8	Serabut	%	66,3
9	Kelarutan dalam alkohol benzene	%	4,6
10	Kelarutan dalam air dingin	%	1,2
11	Kelarutan dalam air panas	%	11,1
12	Kelarutan dalam NaOH 1%	%	19,8
13	Kadar air saat titik jenuh serat	%	28
14	Nilai Kalor	kal/g	5081
15	Kerapatan	kal/g	0,44

Menurut Tahir (1992) dalam Wibowo (2013), pada proses pirolisis dihasilkan tiga macam penggolongan produk yaitu gas-gas yang dikeluarkan pada proses karbonisasi ini sebagian besar berupa gas CO₂ dan sebagian lagi berupa gas-gas yang mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂ dan hidrokarbon tingkat rendah lain, Destilat berupa asap cair komposisi utama dari produk yang tertampung adalah metanol dan asam asetat dan arang (*bio-char*). *Asap cair* menurut Darmadji (1997) merupakan campuran larutan dari dispersi asap kayu dalam air yang dibuat dengan mengkondensasikan asap hasil pirolisis kayu. Asap cair mengandung berbagai senyawa yang terbentuk karena terjadinya pirolisis tiga komponen kayu yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Lebih dari 400 senyawa kimia dalam asap telah berhasil diidentifikasi. Komponen-komponen tersebut meliputi asam yang dapat mempengaruhi citarasa, pH, dan umur simpan produk asapan; karbonil yang bereaksi

dengan protein dan membentuk warna coklat dan fenol yang merupakan pembentuk utama aroma dan menunjukkan aktivitas antioksidan. Selain itu Fatimah (1998) menyatakan golongan-golongan senyawa penyusun asap cair adalah air (11-92%), fenol (0,2-2,9%), asam (2,8-9,5 %), karbonil (2,6-4,0%) dan tar (1-7%).

Tujuan dari penelitian adalah mengetahui persentase senyawa-senyawa dan sifat fisis asap cair hasil pirolisis serbuk gergaji kayu jati, mengetahui persentase senyawa gas hasil pirolisis serbuk gergaji kayu jati dengan penambahan katalis zeolit, dan mengetahui pengaruh variasi perbandingan katalis zeolit dan suhu terhadap yield asap cair, gas, dan char hasil pirolisis serbuk gergaji kayu jati.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah serbuk kayu jati. Rangkaian alat pirolisis digunakan dalam penelitian ini. Serbuk kayu jati dipirolisis dengan variasi suhu dan perbandingan katalis. Variasi suhu yang digunakan adalah 400, 450, 500, 550, dan 600°C dan perbandingan massa kayu jati dan zeolit yaitu 1:1/8, 1:1/4, 1:1/2, 1:3/4, dan 1:1. Kayu jati diayak untuk menghasilkan ukuran 40 mesh. Kemudian menimbang kayu jati sebanyak 1 kg. setelah itu kayu jati di oven selama 8 jam sampai beratnya konstan. Kayu jati yang sudah kering dan zeolit 250 gram dimasukkan kedalam reaktor dan ditutup rapat. Proses pirolisis dijalankan pada masing-masing suhu variasi. Untuk variasi perbandingan massa kayu jati dan zeolit, variasi 1:1/8 berarti 1kg kayu jati dan 250 gram zeolit. Dan seterusnya untuk variasi perbandingan yang lain.

PEMBAHASAN

Pirolisis merupakan suatu reaksi dengan tiga tahap penting yaitu tahap memulai, tahap perambatan, dan tahap penghentian. Pada tahap memulai akan terjadi pemutusan rantai ikatan yang lemah karena adanya kenaikan suhu. Radikal bebas yang telah terbentuk pada tahap perambatan akan terpecah lagi membentuk radikal bebas baru yang lebih kecil, atau senyawa stabil (Sabarodin dan Dewanto, 1998)

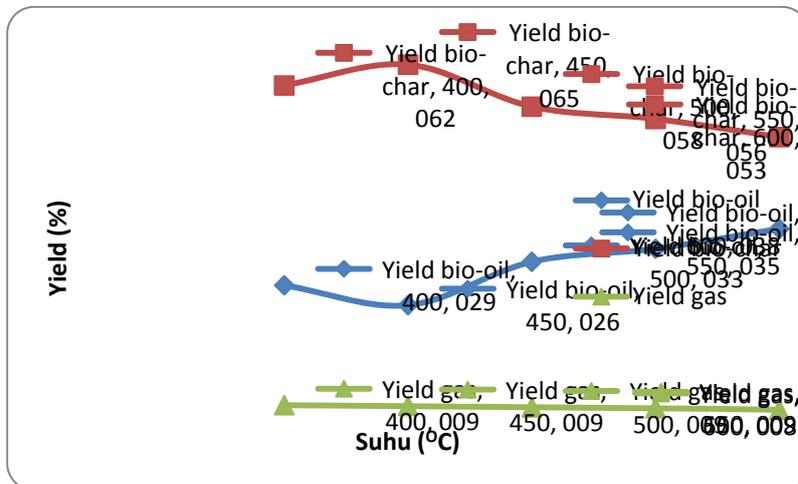
Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *asap cair* adalah serbuk kayu jati yang telah mengalami proses pirolisis dimana kayu jati dibakar dalam sebuah reaktor dengan suhu pemanasan yang berbeda yaitu 400, 450, 500, 550, dan 600°C.



Gambar 1. *Asap cair* Serbuk Kayu Jati pada Suhu 400, 450, 500, 550, dan 600°C

Yield asap cair, gas, dan *char* yang dihasilkan pada proses pirolisis kayu jati disajikan pada Gambar 2. Menurut Gercel (2002) pada suhu 400°C terjadi dekomposisi secara lambat sehingga gas dan *char* menjadi komponen utama. Hal ini juga terlihat pada Gambar 2 *yield asap cair* yang dihasilkan sebesar 28,94%, gas 24,47%, dan *char* 46,59%. *Yield* yang dihasilkan dari pirolisis kayu jati lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang sudah dilakukan Tranggono *et al* (1996) dalam Wijaya, dkk (2008) yang melakukan penelitian pirolisis dengan beberapa jenis kayu yang menghasilkan *yield asap cair* rata-rata sebesar 49,1%. Gercel juga mengatakan bahwa semakin tinggi

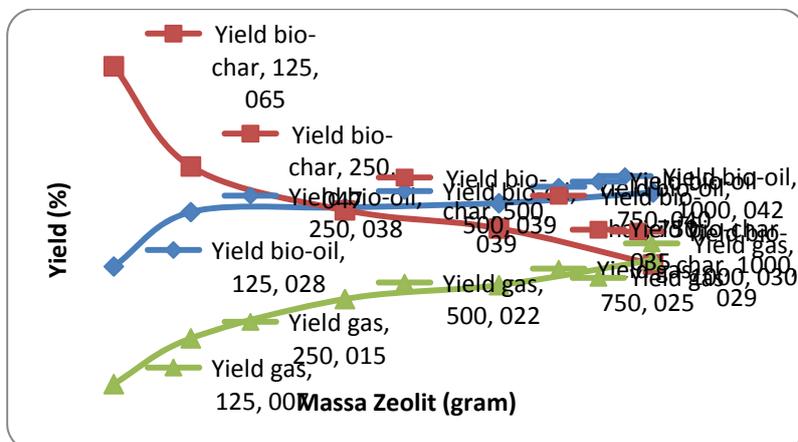
suhu dari 400-550°C *yield* asap cair akan semakin meningkat. Dalam penelitian ini pada suhu 400-600°C *yield* asap cair naik dari 28,94% menjadi 38,24%.



Gambar 2. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* Hasil Pirolisis Kayu Jati

Jumlah *yield* asap cair yang dihasilkan pada proses pirolisis sangat bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan dan juga bergantung pada sistem kondensasi yang dipakai. Kondisi ini sesuai dengan yang dikemukakan Tranggono *et al* (1996) dalam Wijaya, dkk (2008) bahwa untuk pembentukan asap cair digunakan air sebagai medium pendingin agar proses pertukaran panas dapat terjadi dengan cepat. Proses kondensasi akan berlangsung secara optimal apabila air di dalam sistem pendingin dialirkan secara terus-menerus sehingga suhu dalam sistem tersebut tidak meningkat. Seperti yang dikemukakan Demirbas (2005) bahwa asap cair hasil pirolisis bahan kayu dapat dihasilkan secara maksimum jika proses kondensasinya berlangsung secara sempurna, sehingga pada penelitian kami menggunakan pendingin air yang ditambah dengan es pada suhu 5 °C. *Yield bio-char* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2. Semakin tinggi suhu, maka zat terurai semakin banyak sehingga *bio-char* yang dihasilkan semakin menurun. Pada suhu 600°C didapatkan *bio-char* sebesar 46,59%. *Bio-char* yang dihasilkan pada suhu 400, 450, 500, 550, dan 600°C sudah sesuai dengan standar SNI 01-1682-1996, berwarna hitam merata.

Hasil penelitian pada variasi perbandingan massa umpan kayu jati dan katalis zeolit, digunakan bahan baku kayu jati sebanyak 1 kg, dan massa zeolit bervariasi yaitu 125, 250, 500, 750, dan 1000 g pada suhu pemanasan 600°C. Hasil pirolisis pada variasi perbandingan katalis disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Perbandingan Massa Kayu Jati 1 kg dan Variasi Massa Zeolit C-220

Terhadap *Yield* Hasil Pirolisis

Dari Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar massa zeolit yang ditambahkan, maka *yield asap cair* dan gas yang dihasilkan semakin besar, sedangkan *yield bio-char* yang dihasilkan semakin menurun. *Yield asap cair* terbesar dihasilkan pada variasi massa zeolit 1000 gram sebesar 41,81%. Proses pirolisis yang kami lakukan berhenti pada menit ke-120. Berhentinya proses pirolisis ditandai dengan berhentinya tetesan asap cair yang dihasilkan. Waktu reaksi penelitian kami lebih cepat dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Febri dan Novesar (2013) dimana waktu reaksi yang dibutuhkan yaitu 210 menit. Suhu tetesan pertama asap cair yang dihasilkan pada penelitian kami yaitu pada suhu 90°C, lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Febri dan Novesar (2003) yaitu pada suhu 120°C. Sifat-sifat fisik asap cair pada variasi suhu dan perbandingan katalis dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Densitas, pH, Viskositas, Warna dan Kandungan Air Asap Cair pada Variasi Suhu Pemanasan

Suhu (°C)	ρ (g/mL)	pH	μ (g/cm.s)	Warna	Kandungan Air (%)
400	1,037	2,5	0,0599	Merah Tua	95
450	1,0386	2,5	0,0618	Merah Tua	94
500	1,0367	2,6	0,0584	Merah Tua	94
550	1,0349	2,6	0,0577	Merah Tua	93
600	1,0345	2,6	0,0575	Merah Tua	91

Tabel 3. Nilai Densitas, pH, Viskositas, dan Warna Asap cair Variasi Perbandingan Zeolit

Massa Zeolit (g)	ρ (g/mL)	pH	μ (g/cm.s)	Warna	Kandungan Air
125	1,0371	2,6	0,0615	Merah Tua	95
250	1,0345	2,6	0,0616	Merah Tua	91
500	1,0367	2,7	0,0607	Kuning Tua	95
750	1,0351	2,6	0,0613	Kuning Tua	92
1000	1,0346	2,6	0,0603	Kuning Tua	92

Nilai pH asap cair yang dihasilkan pada pirolisis kayu jati pada variasi suhu pemanasan yaitu 2,5-2,6. Hal ini menunjukkan bahwa asap cair masih banyak mengandung komponen asam yang tinggi terutama komponen asam asetat. Begitu juga untuk variasi massa zeolit pH tidak mengalami perubahan yang drastis. pH yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Wibowo (2013) yang melakukan penelitian pirolisis dari kayu sengon pada suhu 400, 450, dan 500°C yang menghasilkan pH berturut-turut 2,91, 2,85, dan 2,83.

Densitas asap cair dipengaruhi oleh suhu pemanasan. Pada variasi suhu pemanasan, semakin tinggi suhu maka densitas dari asap cair yang dihasilkan semakin rendah. densitas tertinggi dihasilkan pada suhu 450°C yaitu sebesar 1,0386 g/mL. Hasil ini juga lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wibowo (2013) dengan menggunakan kayu sengon yang menghasilkan densitas asap cair pada suhu 450°C sebesar 1,116 g/mL.

Viskositas menjelaskan ketahanan internal fluida untuk mengalir. Semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar pula pergerakan dari fluida tersebut. Viskositas terbesar terdapat pada suhu 450°C dan massa zeolit 250 gram sebesar 0,0618 g/cm.s dan 0,0616 g/cm.s.

Berdasarkan Gambar 1 asap cair yang dihasilkan dari pirolisis kayu jati berwarna kuning tua sampai merah tua. Warna asap cair sebelum disaring merah kehitaman karena asap cair masih mengandung tar yang lumayan banyak dimana tar sendiri berwarna hitam pekat dan kental. Menurut Graham dkk. (1994) pada suhu 700°C gas-gas yang dihasilkan pada pirolisis terdiri dari H₂, CO, CO₂, C₂H₄, C₃H₆, C₂H₆. Sedangkan hasil gas-gas yang dihasilkan pada proses pirolisis kayu jati dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil uji *Portable Gas Analyzer* didapatkan bahwa gas hasil pirolisis kayu jati masih banyak mengandung CO₂, dan gas CO. Kadar gas hasil pirolisis kayu jati lebih rendah

dibandingkan dengan penelitian Graham dkk. (1994) dengan komposisi CO (39,8% volum), H₂ (0,9% volum), CO (3,7% volum), dan C₂H₄(3,8%).

Asap cair yang dihasilkan pada pirolisis kayu jati selanjutnya diuji komposisinya dengan menggunakan GC-MS. Komposisi asap cair dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Gas Hasil Pirolisis Kayu Jati

Komponen	Kadar (%volum)	
	400°C	600°C
CO ₂	33,6250	31,1250
CO	6,9612	3,8867
CH ₄	0,7838	0,8975
O ₂	0,8375	0,5125
NO	0,0144	0,0584
SO ₂	0,0077	0,0142
NO ₂	0,0001	0,0000

Tabel 5. Komposisi Asap cair Dengan GC-MS pada Variasi Suhu

Komponen	Kadar (%)				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
Asam Asetat	-	22,17	24,76	22,04	26,90
Krotonaldehida	21,39	-	-	-	-
Asam Formit, etenil ester	15,25	-	14,33	14,70	-
Aseton	1,84	1,55	1,55	1,52	-
2 butanon	0,24	4,31	8,40	8,97	7,33
Metil Etil Keton	11,64	0,61	-	-	-
Etilen Glikol	-	11,55	-	-	12,03
Metil Asetat	-	-	8,71	-	1,75
Asam asetat, metil ester	10,18	2,21	-	6,23	-
2,3-butanadion	-	6,49	-	0,60	7,26

Dari hasil analisis GC-MS dapat dilihat bahwa *asap cair* yang dihasilkan pada suhu 400-600°C masih banyak mengandung komponen asam asetat yang asam asetat yang dikombinasikan dengan hidrogen berperan penting dalam memproduksi etanol, dimana dua pertiga energi di dalam etanol berasal dari asam asetat, dan sepertiganya berasal dari penambahan hydrogen. Selain itu terdapat beberapa komponen yang mudah terbakar yaitu benzena, butanon, propanol, heksanol, aseton. Sehingga *asap cair* hasil pirolisis kayu jati sangat mungkin digunakan sebagai bahan bakar karena mengandung senyawa yang mudah terbakar. Akan tetapi diperlukan proses pemisahan lebih lanjut agar komponen yang memiliki sifat mudah terbakar tersebut dapat diperoleh tanpa kandungan senyawa lain yang tidak bersifat mudah terbakar seperti asam asetat.

Kandungan senyawa yang umum dihasilkan dari proses pirolisis yang bersifat tidak mudah terbakar adalah asam asetat. Senyawa ini terbentuk akibat proses oksidasi di dalam sistem pirolisis yaitu berasal dari senyawa keton yang mudah teroksidasi sehingga menjadi suatu asam.

Senyawa fenol tertinggi terdapat pada suhu pemanasan 600°C sebesar 5,20%. Sedangkan senyawa asetat tertinggi terdapat pada suhu pemanasan 600°C sebesar 26,90%. Yulistiani (1997) mendapatkan kandungan senyawa fenolik sebesar 1,28% dalam asap cair tempurung kelapa.

Asap cair hasil pirolisis kayu jati terkandung pula senyawa alkohol sebesar 23,79%, senyawa keton 24,31%, asam asetat 26,90%, aldehid 7,09%, karbonil 6,41%, dan benzena sebesar 0,53%. Hasil

ini tidak jauh beda dengan yang diperoleh Gani, bahwa *asap cair* dari sampah organik padat mengandung senyawa keton 27,9%, fenolik 23%, asam karboksilat 13%, alkohol 11,5%, ester 6,6%, aldehid 4,9%, dan lain-lain 1%. Demikian juga halnya dengan hasil penelitian Bratzler *et al.* (1969), bahwa komponen utama kondensat asap kayu, yaitu karbonil (24,6%), asam karboksilat (39,9%), dan fenolik (15,7%). Hasil penelitian lain dilaporkan oleh Wanjala *et al.* 2002 dalam Chacha *et al.* (2005) bahwa asap cair dari akar kayu *Erythrina latissima* mengandung beberapa senyawa alkaloid, stilbenoid, lignan, dan flavonoid. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diyakini bahwa pada hampir semua asap cair dari berbagai jenis kayu dijumpai adanya senyawa-senyawa golongan fenolik. Oleh karena itu, asap cair dapat digunakan sebagai salah satu bahan pengawet alami yang bebas dari resiko keracunan.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Suhu pemanasan optimal pirolisis kayu jati adalah 600°C dengan *yield* asap cair yang dihasilkan sebesar 38,24%, *char* 46,59%, dan gas sebesar 15,18%.
2. Perbandingan massa umpan kayu jati dan zeolit optimal yaitu terjadi pada perbandingan 1 kg massa kayu jati dan 1 kg massa zeolit dengan *yield* asap cair yang dihasilkan sebesar 41,81%, *bio-char* 28,69%, dan gas 29,50%.
3. pH rata-rata asap cair yaitu 2,56 dengan pH tertinggi sebesar 2,6 pada suhu 500, 550, dan 600°C , dan pH terendah sebesar 2,5 pada suhu 400°C dan 450°C.
4. Komposisi gas hasil pirolisis kadar terbesar yaitu CO₂ sebesar 32,375%.
5. Komposisi asap cair terbanyak pada suhu 400°C adalah crotonaldehida sedangkan pada suhu 450,500, 550, dan 600°C adalah asam asetat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Koordinator Perguruan Tinggi Swasta Wilayah VI Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Nomor 007/K6/KL/SP/PENELITIAN/2014 tanggal 8 Mei 2014. Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, S.U., Ph.D. sebagai peneliti mitra pada program Hibah Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (Hibah Pekerti) dan Wawan Kurniawan yang membantu dalam penelitian di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Agra, I.B., Warnijati, S., dan Arifin, Z., 1973, Karbonatasi Tempurung Kelapa Disertai Penambahan Garam Dapur, *Forum Teknik*, 1-24.
- Bratzler, L. J., Spooner, M.E., Weathspoon, J.B., and Maxey, J.A., 1969, Smokeflavours as Related to Phenol, Carbonil, and Acid Content of Bologna. *Journal of Food Science* 34: 146-153.
- Budhijanto, 1993, Pirolisis Serbuk Gergaji Cetak Secara Semibatch”, Penelitian S1, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Chacha, M, G., Moleta, B., and Majinda, R.R.T., 2005, Antimicrobial and Radical Scavenging Flavonoids from the Steam Wood of *Erythrina latissima*, *Phytochemistry*, 66, 99-104.
- Darmadji, P. (1996) Aktivitas antibakteri asap cair yang diproduksi dari bermacam-macam limbah pertanian. *Agritech*, 16 (4), 19-22.
- Demirbas, A., 2005, Pyrolysis of Ground Beech Wood in Irregular Heating Rate Conditions, *Analytical Applied and Pyrolysis Journal*, 73, 39-43.
- Fatimah, I., 2004, Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Komposisi BioFuel Hasil Pirolisis Serbuk Kayu, *Logika*, 1.
- Febri, J., Novesar., Z., 2003. Pengaruh Katalis dalam Pengolahan Limbah Plastik Low Density Polyethilen (LDPE) dengan Metode Pirolisis, *Jurnal Kimia Unand*, 2.
- Fengel, D., dan Wengener, G., 1995, Kayu, Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi Diterjemahkan oleh Hadjono Sastrohamidjojo, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Graham, R.G., Bergougnou, M.A., dan Freel, B.A., 1994, The Kinetics of Vapour-Phase Cellulose Fast Pyrolysis Reactions, *Biomass and Bioenergy*, 7, 33-47.

- Gercel, H.F., 2002, The Production And Evaluation of Bio-Oil from The Pyrolysis of Sun Flower-Oil Cake, *Biomass and Bioenergy*, 23, 307-314.
- Sabarodin, A dan Dewanto, A. 1998. Pembuatan Minyak Bakar dari Sampah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif. Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta. Hal 9-12.
- Sensoz, S., Angin, D., Yorgun, S. 2000, Influence of Particle Size on the Pyrolysis of Rapeseed (Brassica napus L) : Fuel Properties of Asap cair. Osmangazi University. Turkey.
- Wijaya, M., Noor, E., Irawadi. T.T., Pari., G., 2008, Perubahan Suhu Pirolisis Terhadap Struktur Kimia Asap Cair dari Serbuk Gergaji Kayu Pinus. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*, 2, 73-77.
- Wibowo, S., 2013, Karakteristik *Bio-Oil* Serbuk Gergaji Sengon Menggunakan Proses Pirolisis Lambat, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 4.
- Wazyka, A., Darmadji, P. dan Raharjo, R., 2000, Aktivitas Antioksidan Asap Cair Kayu Karet dan Redestilatnya Terhadap Asam Linoleat, Seminar Nasional Industri Pangan, Yogyakarta.
- Yulistiani, R., 1997, Kemampuan Penghambatan Asap Cair terhadap Pertumbuhan Bakteri Pathogen dan Perusak pada Lidah Sapi, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

KARAKTERISASI MINYAK PUPA SUTERA SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN BAKU PEMBUATAN SURFAKTAN” *BIODEGRADABLE*”

Ery Fatarina Purwaningtyas¹⁾, Mega Kasmiyatun²⁾, MF. Sri Mulyaningsih³⁾
^{1,2,3} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 (UNTAG)
Jl. Pawiyatan Luhur, Bendan Dhuwur, Semarang 50233
e-mail: ery_fatarina@yahoo.co.id

ABSTRACT

Surfactant are used widely in pharmaceutical, , perfumes, , cosmetics, food and beverages. One type of surfactants yielded from palm oil synthesis is mono-di glyceride (MAG-DAG) which can function as emulsifier. Silkworm pupa is the waste generated by the silk industries in PSA Regaloh Pati, of which the extract has not been maximally exploited. The oil content of these pupa have the potential to be converted to MAG-DAG surfactant. The purpose of this research was to analyse the physical and chemical characteristics of this oil, as well as to identify its chemical components. The research was carried out to extract the oil of the pupa silkworm using a Soxhlet apparatus. The oil was obtained by centrifuging the extract at 3000 rpm for 10 min. until the extract became smooth . The results of the physical characterization show that the oil is light brown in color; has a typical pupa smell; the pH 5.82; the viscosity (35^oC) 30.88 Cp; and the density 0.935 gr / ml. Meanwhile the chemical tests prove that the the acid number 12.54%, lathering number 215.56 mg KOH / g, the FFA 0.42%, the peroxyde number 17.57 O₂ mg / 100 gr; the iodine number 126.89 iodine gr / 100 gr; unsaturated fatty acid 36.17% , monoglyceride 20.12% , diglyceride 32.78%, and triglyceride 43.70%. Based on the Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) analysis, it was found that the oil comprises of the following components: palmitic acid - β monoglyceride ; α monopalmitin ; chloride acid palmetic; acid oleic ; chloride acid linoleic , the FTIR result for pupa oil showed wave 1050-1300 cm⁻¹ (C-O) ; 1690-1760 cm⁻¹ (C=O) and 2500-2700 cm⁻¹ (O-H) The characterization indicates that oil of pupa silkworm may have the potency to be used as MAG-DAG. Further study needs to be carried out to establish whether the oil can economically be feasible.

Keywords: mono-diglycerida, minyak pupa, pupa sutera, surfaktan.

PENDAHULUAN

Surfaktan dapat disintesis dari turunan minyak bumi, tetapi limbahnya dapat mencemarkan lingkungan, karena sifatnya yang sukar terdegradasi, selain itu minyak bumi merupakan sumber bahan baku yang tidak dapat diperbarui. Selain minyak bumi, bahan baku surfaktan jenis *emulsifier* berasal dari minyak nabati, yang bersifat mudah terurai secara biologi (*biodegradable*) sehingga tidak mencemari lingkungan. (http://stipap.ac.id/artikel_detail, 2014) Minyak-minyak nabati seperti *soy bean*, minyak matahari, *rapeseed*, dan lainnya juga bisa dibuat surfaktan. Tapi karena produktivitasnya rendah sehingga harganya lebih mahal. (<http://majalahtropis.com>, 2014) .

Dewasa ini, sedikitnya ada 13 jenis surfaktan dihasilkan dari minyak sawit, proses produksinya dibuat oleh peneliti LIPI yang telah memiliki paten proses pembuatannya. Produk komersial yang dihasilkan antara lain bahan baku pembersih berupa detergent dan pelembut pakaian ;kosmetika yang meliputi sabun,sampo, perawatan kulit,hingga pasta gigi. (<http://inawan.multiply.com>,2006). Impor surfaktan dari tahun 2003 sampai tahun 2007 cenderung mengalami kenaikan jika di rata-rata pertumbuhannya sebesar 4,518% per tahun. (www.digilib.its.ac.id, 2014). Data dari *demand surfactant* yang dikutip dari *Global Surfactant Market* Juni 2013, mencapai 26,8 juta dollar Amerika dan akan bertambah hingga 3,8% pertahun sehingga akan mencapai 31,2 juta dollar pada 2016 dan 36,1 juta dollar pada 2020 (www.etd.ugm.ac.id , 2014).

Akhir-akhir ini masyarakat menjadi selektif untuk memilih produk kebutuhannya dan semakin peduli terhadap lingkungannya. Hal ini didukung kebijakan pemerintah terhadap masalah pencemaran lingkungan. Sehingga produk-produk yang ramah lingkungan menjadi pilihan utama, seperti surfaktan yang banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari (Nuryanto, 1997).

Ulat sutera selain menghasilkan benang sutera, ternyata masih ada manfaat lain yang belum dikenal masyarakat, antara lain sebagai bahan pembuatan kerupuk (<http://dimassudiyanto.blogspot.com>, 2014); susu bubuk berprotein tinggi (<http://agro.kemenperin.go.id>, 2014). Pupa sutera yang sudah mati karena proses pengeringan (Gambar 1), selama ini merupakan limbah yang belum tertangani dengan maksimal. Sejauh ini sebagian masyarakat memanfaatkannya sebagai makanan ternak, disamping ada sebagian orang yang mengkonsumsinya, hal ini dikarenakan pupa mengandung banyak vitamin. (Guntoro,2004). Pupa adalah bagian isi dari kokon yang merupakan produk sampingan dari industri pembudidayaan ulat sutera, apabila tidak ditangani dengan baik akan mencemari lingkungan karena bau busuk yang menyengat, mengundang lalat dan belatung, serta dapat mencemari sumber air minum.

Bahan baku pembuatan surfaktan yang berbasis minyak hewani dari hasil penelusuran pustaka ternyata belum pernah diteliti dan dikaji, artinya bahwa penelitian tentang karakterisasi minyak pupa sutera sebagai bahan baku pembuatan surfaktan layak dan perlu dilakukan. Salah satu alternatif pembuatan surfaktan untuk bahan makanan yaitu menggunakan minyak nabati atau minyak hewani sebagai bahan bakunya . Surfaktan yang dibuat dari minyak nabati/ hewani bersifat mudah terurai secara biologi (*biodegradable*) sehingga tidak mencemari lingkungan. Salah satu alternatif pembuatan surfaktan untuk bahan makanan yaitu menggunakan minyak hewani sebagai bahan baku, sejauh ini masih didominasi minyak sawit.

Pupa ulat sutera merupakan komoditas kaya protein yang belum dimanfaatkan secara maksimal untuk mendukung konsep *zero waste industry*, sehingga dibutuhkan alternatif pemanfaatannya. Oleh karena itu diperlukan inovasi aplikatif untuk memanfaatkan pupa ulat sutera yang memiliki karakteristik yang sangat khas. Komposisi pupa ulat sutera ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Pupa Ulat Sutera (Dok.Penelitian, 2014).

Tabel 1. Komposisi pupa ulat sutera segar (Miyatani,2008).

Pupa Segar	Air (%)	Abu (%)	Lemak (%)	Protein (%)	KH (%)
Berat basah	73.73	1.17	1.84	15.48	7.78
Berat kering	280.66	4.45	7.00	58.93	29.62

Pupa memiliki kandungan asam amino esensial seperti lisin, isoleusin, leusin, valin, threonin, dan kandungan asam amino non esensial seperti glisin, serin, alanin. Pupa banyak mengandung prolin, tirosin, arginin, histidin, dan mengandung sedikit asam glutamat. Pupa juga mengandung mineral esensial Na, K, Ca, dan P (Miyatani, 2008). Pupa juga banyak dimanfaatkan dalam bentuk *powder*, hal ini disebabkan komposisi *pupae powder* banyak mengandung protein dan lemak. *Pupae powder* mengandung 7,18% air, 29,57% lemak, 48,98% protein , 4,65% glikogen, 3,37% kitin, 2,19% abu, dan zat-zat lain seperti vitamin - mineral. Pemanfaatan *pupae powder* adalah untuk fortifikasi protein untuk produk sup dan saus, bahan tambahan dalam pembuatan roti dan kue (Shawar Khan, 2011). Minyak pupa berwarna kecoklatan transparan (Gambar 2) dan berbau seperti ikan, tidak teremulsi oleh air tetapi larut pada eter, petroleum eter, aseton, isopropanol, xilen, CCl₄, alkohol absolut, asam asetat glasial, etil asetat, dan n-propanol. Minyak pupa banyak dimanfaatkan dalam produk *hair tonic* dan sabun. Selain itu minyak pupa juga dapat dihidrogenasi dan dimanfaatkan untuk pembuatan *high grade soap* dan lilin (Dimas Sudiyanto, 2013)



Gambar 2. Minyak pupa sutera (Dok.Penelitian,2014)

METODE PENELITIAN

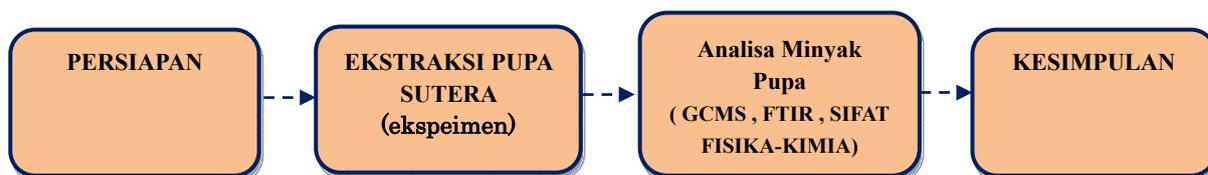
Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Pengolahan data menggunakan analisis diskriptif. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat terdiri dari : 1) Ekstraktor Soxleth (Gambar 4) ; 2) Gas Chromatography Mass Spechtrometer. ; 3) Fourier Transformer Infra Red (FTIR) .
2. Alat pendukung berupa erlen meyer , botol sampel, pipet , timbangan digital, blender.
3. Bahan penelitian terdiri dari : 1) Pupa sutera ; 2) Solvent benzene



Gambar 4. Ekstraktor Soxleth (Dok.penelitian,2014)

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Alur Tahapan Penelitian

PEMBAHASAN

Pengujian proximat pupa sutera kering bertujuan mengetahui komposisi awal bahan baku, utamanya kandungan lemak dari pupa sutera, uji sifat fisika kimia dilakukan untuk mengetahui sifat fisika kimia minyak pupa dibandingkan dengan minyak sawit yang merupakan bahan baku surfaktan pada umumnya. Pengujian menggunakan GCMS dan FTIR bertujuan mengetahui komponen penyusun minyak pupa. Dari hasil pengujian proximat pupa sutera kering diperoleh kadar (%) protein 73,39 ; lemak 4,78 ; karbohidrat 12,05 ; abu 6,12 ; air 2,35 ; dan lain-lain 0,77. Hasil analisis proximat pupa kering menunjukkan kadar lemak 4,78% lebih rendah dari kadar proteinnya. Namun demikian perlu dilakukan penelitian apakah minyak pupa sutera yang berasal dari hewan bisa dibuat surfaktan.

Berdasarkan data hasil pengujian sifat fisika kimia minyak pupa sutera memberikan hasil seperti terlihat pada Tabel 2 .

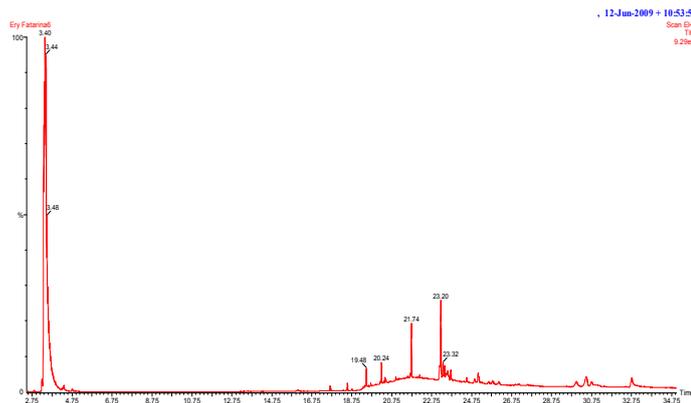
Tabel 2. Sifat Fisis Kimia Minyak Pupa Sutera

Parameter Uji	Hasil Uji
pH	5.82
Viskositas (35 ⁰)	30.88 cP
Densitas	0.935 gr/ml
Bentuk	Cair
Warna	Coklat jernih
Titik cair	27-29 ⁰ C
Bilangan Asam	12,54%
Bilangan Penyabunan	215.56 mg KOH / gr
Bilangan Peroksida	17.57 mg O ₂ /100 gr
Bilangan Iod	126.89 gr iod / 100 gr
FFA	0.42 %
Asam Lemak Tak Jenuh	36.17 %

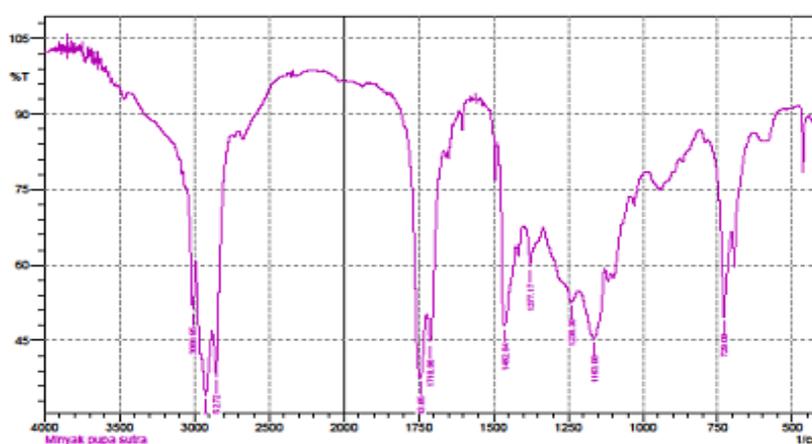
Hasil analisis sifat fisika dan kimia minyak pupa memberikan nilai densitas 0,935 gr/ ml, nilai ini lebih tinggi dari densitas minyak sawit yaitu 0,900 gr/ml (Ketaren, 1986), *Free Fatty Acid* (FFA) atau asam lemak bebas minyak pupa 0,42 % sedangkan minyak sawit curah 0,89% (Purwaningtyas EF, 2009) artinya minyak pupa sutera memiliki kandungan asam lemak bebas lebih rendah dibandingkan minyak sawit. Komposisi asam lemak minyak pupa sutera adalah monogliserida 20,12% , digliserida 32,78% , dan trigliserida 43,70%. Pada penelitian Purwaningtyas EF, 2009 menyatakan bahwa kandungan trigliserida minyak sawit 37,12%, artinya kandungan trigliserida minyak pupa lebih besar dibandingkan minyak sawit. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan minyak pupa bisa dikonversi menjadi surfaktan. Namun perlu analisis lebih lanjut tentang komposisi asam lemak penyusun minyak pupa. Mengingat jenis surfaktan tertentu memiliki karakteristik bahan baku tertentu., salah satu jenis surfaktan yang diproduksi dari minyak adalah mono dan digliserida menggunakan proses gliserolisis (Negi DS,et all,2007).

Analisis khromatogram minyak pupa menunjukkan adanya komponen Palmitic acid β -monogliseride ; ; α -monopalmitin ; Palmitic acic chloride ; Oleic acid ; α -monoolein ; β -monoolein ; linoleic acid chloride . Hasil tersebut menunjukkan adanya asam lemak yang dimungkinkan bisa diubah menjadi surfaktan. Hasil analisis menggunakan GCMS ditunjukkan pada Gambar 6.

Hasil analisa minyak pupa menggunakan FTIR (Gambar 7) memberikan hasil sebagai berikut: muncul puncak pada angka gelombang 1050-1300 cm⁻¹ yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus C-O alkohol/eter/ asam karboksilat/ ester; pada angka gelombang 1690-1760 cm⁻¹ yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus C=O aldehyd/ keton/ asam karboksilat/ ester ; pada angka gelombang 2500-2700 cm⁻¹ yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus O-H asam karboksilat dengan ikatan hydrogen ; pada angka gelombang 675-995 cm⁻¹ yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus C-H alkena ; pada angka gelombang 690-900 cm⁻¹ yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus C-H cincin aromatik ; pada angka gelombang 1340-1470 & 2850-2970 cm⁻¹ yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus C-H alkana ; pada angka gelombang 1180-1360 cm⁻¹ yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus C-N amina/ amida.



Gambar 6. Khromatogram minyak pupa sutera (GCMS).



Gambar 7. Spektrum FTIR Minyak Pupua Sutera

Munculnya puncak-puncak pada panjang gelombang tersebut, menunjukkan bahwa minyak pupa memiliki gugus penyusun yang bisa berpotensi membentuk surfaktan jenis mono-digliserida. (Daniel, 2011). Sehingga perlu penelitian dan kajian lebih lanjut untuk mengkonversi minyak pupa sutera menjadi surfaktan.

KESIMPULAN

Dari proses analisa dan pengujian terhadap minyak pupa sutera dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisa proximat memberikan hasil , kadar lemak pupa sutera 4,78 % dan kadar protein 73,93 %. Hal ini menunjukkan kadar minyak yang diperoleh rendah, sehingga tidak ekonomis jika minyak pupa dikonversi menjadi surfaktan.
2. Hasil analisa komposisi minyak pupa sutera menunjukkan kadar trigliserid 43,70 % , lebih tinggi dibandingkan kadar trigliserid minyak sawit curah yaitu 37,12 %. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa minyak pupa berpotensi untuk dibuat surfaktan.
3. Berdasarkan analisis menggunakan GCMS menunjukkan adanya komponen: Palmitic acid β -monoglyceride ; α -monopalmitin ;Palmitic acic chloride ; Oleic acid ; α -monoolein ; β -monoolein ; linoleic acid chloride . Adanya asam lemak tersebut dimungkinkan bisa diubah menjadi surfaktan.
4. Hasil Uji FTIR muncul puncak pada angka gelombang 1690-1760 cm^{-1} yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus C=O aldehyd/ keton/ asam karboksilat/ ester ; angka gelombang 2500-2700 cm^{-1} yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus O-H asam karboksilat dengan ikatan hydrogen ; angka gelombang 1050-1300 cm^{-1} yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus C-O alcohol/eter/ asam karboksilat/ ester. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa minyak pupa bisa dikonversi menjadi surfaktan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada DITJEN DIKTI yang telah memberikan dana untuk Penelitian Hibah Bersaing, tahun anggaran 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2013, *Protein Tinggi Dari Serangga*, www.sains.kompas.com, 16 September 2014.
- Alton Edward Bailey, Daniel Swern, Marvin W Formo, 2005, *Bailey's Industrial Oil and Fats Product*, 6th edition, volume 1, A John Wiley & Sons, Inc., Publication
- Dimas Sudiyanto, 2013, *Inovasi Baru Pengembangan Kerupuk Pupa Ulat Sutera (Bombyx mori) dengan Menggunakan Teknik Deep Frying dan Microwave*, dimassudiyanto.blogspot.com/2013/01/pupa-ulat-sutra.html, 20 September 2014.
- Daniel, 2011, *Sintesis Surfaktan Digliserida Monogliserida Melalui Gliserolisis Metil Kaprat*, Jurnal Kimia Mulawarman, Volume 8 nomor 2, Kimia-Fakultas MIPA Universitas Mulawarman, ISSN: 1693-5616.
- Guntoro, S, 2004, *Budidaya Ulat Sutera*, edisi 6, Kanisius, Yogyakarta.
- Holmberg, K; Johnsson, B; Kronberg, B and Lindman, B, 2004, *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*, 2nd edition, John Wiley & Sons Inc. USA.
- Ketaren, S, 1986, *Pengantar Teknologi Minyak Dan Lemak Pangan*, edisi 1, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Kompas, 2006, *Teknologi Proses : LIPI Manfaatkan sawit Sebagai Pengganti Petrokimia*, www.inawan.multicom, 20 September 2014.
- Miyatani, Andrea, 2014, *Karakterisasi Profil Sensori Bubuk Pupa Ulat Sutera (Bombyx Mori) dan Aplikasi Bubuk Pupa pada Pembuatan Kerupuk*, <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/13895>, 20 September 2014.
- Nuryanto E, 1997, *Surfaktan yang Ramah Lingkungan dari Minyak Kelapa Sawit*, Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit, volume 5 (1), halaman 37-45.
- Negi, D.S ; Sobotka, F ; Kimmel, T; Wozny, G and Schomacker, R, 2007, *Glycerolysis of Fatty Acid Methyl Esters : I. Investigations in a Batch Reactor*, Journal of American Oil Chemist's Society, Volume 84, Page 83 – 90. (www.springerlink.com)
- Purwaningtyas E.F., dkk., 2006, *Pemanfaatan Limbah Ulat Sutera Sebagai Sumber Protein dan lemak.*, Penelitian Dosen Muda, DP2M-DIKTI.
- Purwaningtyas E.F., 2009, *Pembuatan Surfaktan Polyoxyethylene Mono-digliserida dari Minyak Sawit dengan Proses Gliserolisis dan Etoksilasi : Kajian Parameter Proses*, Program Magister Teknik Kimia, UNDIP, Semarang.
- Shawar Khan, 2011, *Memfaatkan Protein dari Pupa Ulat Sutra Bombyx mori sebagai Bahan Fortifikasi pada Susu Bubuk*, PKM, IPB, www.ciputraentrepreneurship.com, 20 September 2014.
- Yang, X ; Huang L; Hu J; dan Li T, (2004), *Effects of Silk Worm pupa oil On serum Lipids Anp Platelet Function in Rats*, Article in Chinese, Departement of Nutrition And Hygieneis, Tongji Medical College of Hungzhong University of Science And Technology, Wuhan, China.
http://stipap.ac.id/artikel_detail, 20 September 2014
<http://majalahtropis.com>, 20 September 2014
www.digilib.its.ac.id, 20 September 2014.
www.etd.ugm.ac.id, 20 September 2014
<http://agro.kemenperin.go.id>, 20 September 2014.
www.webkimia.blogspot.com, 20 september 2014.

PENGAMBILAN LIPID DARI MIKROALGABASAH DENGAN CARA EKSTRAKSI DALAM AUTOKLAF

Ani Purwanti¹

¹urusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta
e-mail: ani4wanti@gmail.com

ABSTRACT

Today, the existence of petroleum as a fuel source has been reduced. To overcome this problem, it is necessary to find alternative energy encourages substitution fossil fuels. Recently, the third generation of microalgae oil as an alternative fuels is developed. From microalgae, lipid was extracted and then it was used as raw material for biodiesel production. The development process to obtain the maximum amount of lipid is the main issues.

This research was conducted using autoclave in high pressure as an alternative process to maximize the yield of lipid from wet microalgae *Nannochloropsis* sp.. Extraction of 42.6 gram of microalgae (water content 79.57% dry based) using 100 mL of a 1:1 (v/v), 1:2 (v/v), and 2:1 (v/v) chloroform and methanol mixture. Extraction was carried out in an autoclave at various of pressure (20 psi, 40psi, and 60psi) with the processing time varied from 30 minutes up to 2 hours with a 30 minute time interval. Lipid was separated from the mixture by filtration and distillation, then sampel was weighted to determine the yield of lipid. In this study, the yield of lipid was used to define the optimum conditions of lipid extraction. The amount of lipid that was produced from 42.6 grams of wet microalgae *Nannochloropsis* sp. at the extraction pressure of 20psi-60psi was ranged between 0.659 – 4.021 grams. A high lipid extraction yield (46.19% of the dry weight) was obtained under the following extraction conditions: 100 mL of a 2:1 chloroform and methanol (v/v) mixture, 60 psi of process pressure, and 120 minutes of extraction time.

Keywords: microalgae, extraction, autoclave

PENDAHULUAN

Bahan bakar dari sumber fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga bahan bakunya semakin lama semakin menipis. Saat ini biodiesel merupakan salah satu sumber energi alternatif pengganti bahan bakar mesin diesel. Bahan bakar ini bersifat *biodegradable* dan lebih bersifat ramah lingkungan apabila dibandingkan dengan minyak diesel dari petroleum (Christie, 2009). Biodiesel dapat diolah dari minyak nabati yang dapat diambil dari tanaman dan juga dari mikroalga sebagai sumber energi alternatif generasi ketiga (Wiyarno, 2009).

Sebagai sumber bahan bakar, mikroalga mempunyai kelebihan yaitu dapat diperbarui serta tidak mengganggu sektor pertanian dan pangan serta pengambilan minyaknya tanpa perlu penggilingan. Salah satu jenis mikroalga yang dapat menghasilkan minyak adalah *Nannochloropsis* sp., yang merupakan mikroalga kosmopolit yang hidup di lingkungan akuatik baik perairan tawar, laut maupun payau. *Nannochloropsis* sp. mempunyai kandungan lipid yang berkisar antara 31-68% dari berat keringnya (Wijanarko, 2012). Lipid merupakan senyawa dasar pembentuk bahan bakar. Asam lemak maupun minyak alga memiliki berbagai aplikasi yang potensial. Minyak alga memiliki karakteristik yang mirip dengan ikan dan minyak nabati, dengan demikian dapat dianggap sebagai pengganti potensial untuk produk minyak fosil.

Minyak alga bisa langsung diekstrak dengan bantuan media pelarut, enzim, pemerasan, ekstraksi ultrasonik, dan ekstraksi menggunakan CO₂. Dewasa ini telah dikembangkan teknik baru untuk ekstraksi padat-cair suatu produk yaitu dengan menggunakan ekstraksi dengan pelarut ganda dan juga metode ekstraksi hidrotermal dengan menggunakan suhu dan tekanan tinggi yang mendekati kondisi kritis campuran, hal ini dapat meningkatkan hasil minyak yang diperoleh sampai sekitar 57-65% berat (Ross, *et al.*, 2010). Ekstraksi dengan menggunakan proses ini dapat meningkatkan kualitas *biooil* yang dihasilkan walaupun kondisi proses yang relatif sulit dicapai dan biaya proses yang tinggi. Pada penelitian ini akan dilakukan alternatif pengambilan minyak dari mikroalga jenis *Nannochloropsis* sp. basah menggunakan suhu dan tekanan tinggi, tetapi masih jauh dari kondisi kritis campuran dalam autoklaf yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi, sebagai upaya meningkatkan rendemen dan kuantitas minyak nabati yang dihasilkan.

Pengambilan lipid dari mikroalga merupakan langkah yang menentukan dalam upaya peningkatan hasil minyak nabati yang dapat diperoleh dari mikroalga, sehingga perlu suatu upaya untuk memaksimalkan lipid yang dapat diambil dalam suatu proses ekstraksi. Oleh karena itu, penelitian ini sangat penting untuk dilakukan sehingga pengambilan lemak mikroalga dapat maksimal.

Alga didefinisikan sebagai sekelompok tumbuhan berklorofil yang terdiri dari satu atau banyak sel, hidup berkoloni dan bereproduksi secara non seksual. Mikroalga termasuk golongan alga yang berukuran renik. Pada umumnya mikroalga bersel satu atau berbentuk benang, sebagai tumbuhandikenal sebagai fitoplankton. Fitoplankton memiliki zat hijau daun (klorofil) yang berperan dalam fotosintesis seperti tumbuhan tingkat tinggi lainnya (Wiyarno, 2009).

Kandungan lemak (*lipid*) dan asam lemak (*fatty acids*) yang ada di dalam mikroalga merupakan sumber energi. Kandungan ini dihasilkan dari proses fotosintesis yang merupakan hidrokarbon dan diduga dapat menghasilkan energi yang belum digali dan dimanfaatkan sepenuhnya (Kawaroe, dkk., 2010). Lipid yang terkandung dalam mikroalga dapat dikonversi menjadi bahan bakar diesel melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Total kandungan minyak dan lemak dari mikroalga berkisar antara 1% sampai 70% dari berat kering. Kandungan lipid dalam mikroalga biasanya dalam bentuk gliserol dan asam lemak dengan panjang rantai C14 sampai C22 (Kawaroe, dkk., 2010). Selain itu, mikroalga memiliki bagian *biochemical* yang penting yaitu karbohidrat yang dapat diubah menjadi ethanol melalui proses fermentasi.

Akumulasi lemak dalam mikroalga mempunyai kecenderungan untuk meningkat jika organisme tersebut mengalami tekanan. Selain itu, kandungan lemak yang terdapat di dalamnya sangat bervariasi tergantung dari kondisi lingkungan tempat tumbuhnya mikroalga tersebut (Kawaroe, dkk., 2010). Kandungan lipid yang tinggi dan kecepatan bertumbuhkembang menjadi faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan jenis mikroalga yang potensial menjadi bahan bakar biodiesel. Habitat mikroalga di lingkungan perairan merupakan faktor yang efektif bagi mikroalga untuk mendapatkan air, CO₂, dan nutrisi untuk fotosintesis. Keadaan ini yang membuat mikroalga dapat menghasilkan minyak 30 kali lebih banyak daripada *biofuel* yang berasal dari tumbuhan lain dalam satu satuan luas lahan yang sama (Kawaroe, dkk., 2010).

Sudah ada beberapa jenis mikroalga yang dipelajari untuk mencari kecocokan jenis yang bisa menghasilkan minyak yang nantinya dapat diolah menjadi biodiesel, diantaranya adalah *Neochloris oleoabundans*, *Scenedesmus dimorphus*, *Euglena gracilis*, *Phaeodactylum tricorutum*, *Pleurochrysis carterae*, *Prymnesium parvum*, *Tetraselmis chuii*, *Nannochloropsis selina*, *Isochrysis galbana* (Kawaroe, dkk., 2010). Dari sumber yang lain disebutkan bahwa dari beberapa jenis mikroalga yang telah diteliti, ditemukan 4 spesies teridentifikasi yang memiliki kandungan lipid tinggi, 3 spesies mengandung hidrokarbontinggi, dan 3 spesies mengandung protein yang tinggi, serta 1 spesies penghasil gliseroltinggi. *Nannochloropsis* merupakan salah satu mikroalga yang berpotensi untuk dijadikan bahan bakar alternatif. *Nannochloropsis* memiliki sel warna kehijauan, sel berbentuk bola dan pada kondisi budidaya di air laut dengan kandungan nitrogen yang minim memberikan kandungan lipid yang tinggi yaitu sampai dengan 54% (Cooney *et al.*, 2009). Mikroalga *Nannochloropsis sp.* memiliki sel berwarna kehijauan, tidak berflagel, selnya berbentuk bola dengan diameter sel 4 – 6 µm. Asam lemak yang terkandung dalam *Nannochloropsis sp.* diantaranya adalah asam kapriat (0,3%), asam laurat (0,99%), asam myristat (7,06%), asam palmitat (23,07%), asam oleat (12,25%), asam palmitoleat (42,32%), dan asam linoleat (2,47%) (Kawaroe, dkk., 2010). Komponen mikroalga terdiri dari tiga bagian utama yaitu lipid, protein, dan karbohidrat. Dalam proses pembuatan biodiesel dari mikroalga, komponen yang dimanfaatkan adalah lipid. Lipid yang terekstrak masih berupa minyak mentah sehingga perlu diproses lebih lanjut untuk memperoleh bahan baku yang siap dijadikan biodiesel mikroalga (Wiyarno, 2009).

Beberapa proses yang mempengaruhi produksi biodiesel dari mikroalga adalah penanaman mikroalga, pemanenan, ekstraksi lemak (perusakan sel mikroalga), dan transesterifikasi lemak. Walaupun semua langkah proses tersebut penting, tetapi proses perusakan sel menjadi hal yang terpenting. Lemak hasil ekstraksi sangat ditentukan oleh metode perusakan dan juga alat yang digunakan. Proses dengan menggunakan metode dan alat yang tepat dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi (Lee *et al.*, 2010).

Paul dan Wise (1971) menyebutkan bahwa ada tiga metode yang digunakan untuk ekstraksi minyak dari alga, yaitu (1) metode *press*, (2) ekstraksi menggunakan solven heksana, (3) ekstraksi

fluida superkritis. Proses yang sederhana adalah menggunakan tekanan/ *press* untuk mengekstrak minyak dari alga dengan hasil sekitar 70 – 75%. Minyak alga juga dapat diekstraksi menggunakan bahan kimia. Bahan kimia yang banyak digunakan untuk ekstraksi solven adalah heksana. Bahan ini dipilih karena relatif murah (Demirbaş, 2009).

Secara umum, ada beberapa pelarut dapat digunakan untuk mengambil lipid mikroalga, diantaranya adalah pelarut mandiridan pelarut campuran. Pelarut mandiri merupakan pelarut yang digunakan untuk mengambil minyak alga secara sendirian. Biasanya digunakan pelarut dengan tingkat kepolaran yang tinggi seperti n-heksana, kloroform, maupun pelarut dengan tingkat kepolaran yang tinggi dari golongan organik yaitu methanol, ethanol, buthanol. Sedangkan pelarut campuran merupakan kombinasi pelarut yang dicampur, baik campuran antara dua jenis pelarut atau lebih. Beberapa kombinasi pelarut diantaranya adalah campuran n-heksana dan ethanol, n-heksana dan isopropanol, maupun campuran kloroform-methanol-air (Wiyarno, 2009).

Teknik ekstraksi secara konvensional melibatkan proses penghilangan air sebelum proses ekstraksi. Selain itu alga dengan kandungan air sebesar 78,4% dapat secara langsung diubah menjadi minyak bakar dengan *thermochemical liquefaction* dari 300 – 360°C dan 10 MPa. Minyak yang dihasilkan pada proses tersebut yang lebih rendah (25 – 44,8%) dibandingkan dengan proses penghilangan kandungan air bahan sebelum proses ekstraksi (Suali and Sarbatly, 2012).

Metode ekstraksi lain yang lebih efisien daripada metode pemisahan menggunakan solven secara tradisional adalah ekstraksi fluida superkritis (Wiyarno, 2009). Fluida superkritis memberikan kemurnian hasil dan konsentrasi yang tinggi. Metode ini dapat mengekstrak hampir 100% dari minyak yang ada. Pada proses ekstraksi dengan fluida superkritis karbondioksida (CO₂), CO₂ dicairkan di bawah tekanan dan dipanaskan sampai kondisi yang mempunyai sifat antara gas dan cairan. Fluida yang dicairkan ini kemudian berfungsi sebagai solven dalam mengekstraksi minyak (Demirbaş, 2009). Tetapi metode ini relatif mahal dibandingkan dengan proses ekstraksi tradisional.

Beberapa metode ekstraksi yang lain adalah menggunakan gelombang mikro dan sonikasi (Virot *et al.*, 2008). Menurut Cravotto *et al.* (2008) gelombang mikro yang memecah sel mikroalga menggunakan getaran gelombang dengan frekuensi tinggi efektif untuk ekstraksi minyak sayuran. Sedangkan metode sonikasi memecah dinding sel dan membran mikroalga karena efek kavitasi banyak digunakan untuk mengganggu sel mikroalga (Lee *et al.*, 1998). Akan tetapi metode yang cocok untuk ekstraksi mikroalga belum diketahui dengan tepat. Lee *et al.* (2010) mempelajari metode lebih lanjut dari gangguan sel, termasuk penggunaan autoklaf pada suhu tinggi dan tekanan dan penggunaan larutan NaCl 10% untuk memecah dinding sel dengan tekanan osmotik, dibandingkan dengan microwave maupun sonikasi untuk menentukan metode yang paling efisien. Untuk mikroalga jenis *C. vulgaris* proses dengan gelombang mikro dan autoklaf menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dari metode yang lain.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari proses yang optimal dalam pengambilan lipid dari mikroalga dengan menggunakan autoklaf pada tekanan tinggi sebagai upaya meningkatkan rendemen lipid yang dihasilkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam bidang keilmuan yang mempelajari minyak dari mikroalga pada khususnya dan ilmu pengetahuan pada umumnya sehingga dapat memberikan alternatif proses untuk mendapatkan minyak nabati.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini tentang pengambilan lipid dengan autoklaf dari mikroalga basah yang dilaksanakan di laboratorium di Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta. Peubah yang diteliti adalah variasi tekanan, perbandingan volume pelarut, dan waktu ekstraksi. Sedangkan hasil yang dievaluasi berupa jumlah lipid yang dihasilkan. Alat yang digunakan untuk melakukan proses pengambilan lipid adalah autoklaf yang beroperasi pada tekanan tinggi dan rangkaian alat distilasi. Bahan baku yang digunakan adalah mikroalga basah jenis *Nannochloropsis sp.*, methanol, kloroform. Proses pengambilan lipid mikroalga dilakukan dengan variasi tekanan ekstraksi yaitu 20 psi, 40 psi, dan 60 psi, variasi perbandingan volume pelarut (methanol : kloroform) yaitu 1:1 (v/v), 2:1 (v/v), dan 1:2 (v/v), dan variasi waktu ekstraksi yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

Adapun tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini meliputi, tahap pertama persiapan bahan baku. Bahan baku mikroalga basah jenis *Nannochloropsis sp.* sebelum diekstraksi dianalisis terlebih dahulu untuk mengetahui kandungan airnya. Mikroalga basah yang masih tercampur

dengan media air laut disaring menggunakan kain saring, kemudian ditunggu sampai tidak ada air yang menetes lagi. Dari hasil analisis bahan baku mikroalga basah diperoleh kadar air pada mikroalga basah yaitu sebesar 79,57%.

Tahap selanjutnya adalah proses ekstraksi lipid. Sebanyak 42,6 gram sampel mikroalga basah jenis *Nannochloropsis sp.* diproses dengan menambahkan pelarut yang merupakan campuran yang terdiri dari kloroform sebanyak x mL dan y mL methanol untuk membuat suspensi. Pada saat ekstraksi, perbandingan volume pelarut yang digunakan (jumlah volume kloroform (x) dibandingkan dengan jumlah volume methanol (y)) yaitu 1:1, 2:1 dan 1:2 dengan volume total pelarut untuk setiap proses sebanyak 100 mL. Campuran minyak dan pelarut tersebut dimasukkan kedalam autoklaf dan diproses dengan lama 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit, dengan tekanan proses yang divariasikan dari 20 psi sampai dengan 60 psi. Setelah proses ekstraksi selesai, kemudian dilanjutkan dengan proses yang bertujuan untuk memurnikan lipid dari campuran padatan, yaitu proses penyaringan. Proses ini menghasilkan larutan lipid yang masih tercampur dengan pelarut. Hasil proses kemudian dilakukan pemurnianlipid menggunakan proses destilasi.

Proses berikutnya adalah pemurnian lipid dari mikroalga. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan pelarut yang tercampur dengan lipid hasil dengan menggunakan proses destilasi. Campuran bahan yang akan dimurnikan dimasukkan kedalam erlenmeyer pada rangkaian alat distilasi kemudian dilakukan pemanasan pada suhu 70°C sampai seluruh pelarut (methanol dan kloroform) menguap. Proses distilasi ini dilakukan selama waktu tertentu (sampai tidak ada pelarut yang menetes), sehingga diperoleh hasil lipid mikroalga yang tertinggal di erlenmeyer. Lipid yang dihasilkan dilakukan penimbangan untuk menentukan yield lipid (%), yaitu banyaknya lipid yang dapat diperoleh dari mikroalga tiap satu satuan berat mikroalga kering.

$$\text{Yield lipid} = \frac{\text{berat lipid terambil}}{\text{berat mikroalga kering}} \times 100\% \dots\dots (1)$$

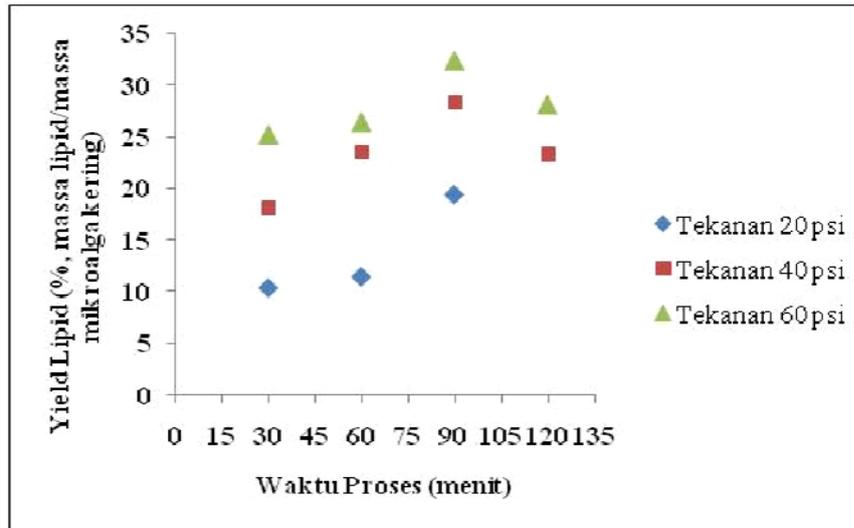
Dari hasil penelitian, dengan variasi tekanan ekstraksi, perbandingan volume pelarut dan waktu ekstraksi kemudian dapat ditentukan kondisi operasi proses yang optimum yaitu proses dengan hasil lipid mikroalga yang optimum.

PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan perbandingan pelarut antara kloroform dan methanol 1:1, yaitu dengan volume masing-masing adalah 50 mL dan 50mL diperoleh data-data seperti tercantum dalam Tabel 1 dan dapat digambarkan dalam grafik seperti pada Gambar 1.

Tabel 1. Data hasil penelitian pengambilan lipid mikroalga
(Jumlah mikroalga basah 42,6 gram; volume kloroform dan methanol 100mL;
perbandingan volume kloroform dan methanol 1:1)

Tekanan Ekstraksi (psi)	Waktu Ekstraksi (menit)	Berat Lipid terambil (gram)	Yield Lipid (%)
20	30	0,894	10,28
	60	0,989	11,37
	90	1,685	19,37
	120	2,031	23,34
40	30	1,581	18,17
	60	2,054	23,61
	90	2,465	28,33
	120	2,446	28,11
60	30	2,194	25,22
	60	2,299	26,43
	90	2,813	32,33
	120	2,899	33,32



Gambar 1. Grafik hubungan antara waktu ekstraksi dengan yield lipid pada berbagai tekanan proses ekstraksi menggunakan perbandingan volume kloroform dan methanol 1:1.

Dari data yang tercantum dalam Tabel 1 terlihat bahwa pada proses pengambilan lipid mikroalga dengan perbandingan volume kloroform dan methanol yang digunakan adalah 1:1, semakin lama waktu ekstraksi maka lipid yang terekstrak semakin banyak. Begitu juga dengan peningkatan tekanan proses yang digunakan dapat meningkatkan jumlah lipid yang terekstrak. Yield lipid yang diperoleh pada proses yang dilaksanakan selama 30 menit sampai dengan 120 menit bervariasi dari 10,28% - 33,32%. Pada tekanan ekstraksi 20 psi, kenaikan waktu ekstraksi dari 30 menit menjadi 120 menit menghasilkan kenaikan yield ekstraksi sebesar 13,06%, sedangkan pada tekanan 40 psi terdapat kenaikan 9,94% dan pada tekanan 60 psi terdapat kenaikan 8,1%.

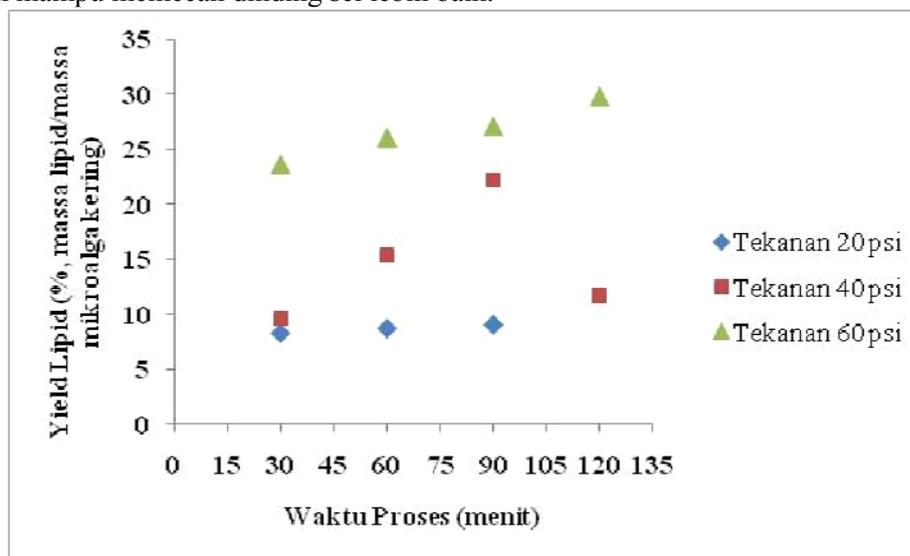
Sedangkan untuk penelitian yang telah dilakukan dengan perbandingan pelarut antara kloroform dan methanol 1:2, yaitu dengan volume masing-masing adalah 33mL dan 67mL diperoleh data-data seperti tercantum dalam Tabel dan Gambar sebagai berikut:

Tabel 2. Data hasil penelitian pengambilan lipid mikroalga
(Jumlah mikroalga basah 42,6 gram; volume kloroform dan methanol 100mL;
perbandingan volume kloroform dan methanol 1:2)

Tekanan Ekstraksi (psi)	Waktu Ekstraksi (menit)	Berat Lipid terambil (gram)	Yield Lipid (%)
20	30	0,720	8,28
	60	0,759	8,72
	90	0,787	9,05
	120	1,021	11,74
40	30	0,844	9,7
	60	1,345	15,46
	90	1,930	22,18
	120	2,596	29,84
60	30	2,056	23,63
	60	2,269	26,08
	90	2,359	27,11
	120	2,975	34,19

Pada ekstraksi dengan menggunakan 100 mL campuran kloroform dan methanol 1:2, terlihat bahwa semakin tinggi tekanan yang digunakan semakin banyak hasil lipid yang diperoleh. Peningkatan tekanan proses yang digunakan dari 20 psi menjadi 40 psi dengan waktu proses selama

30 menit sampai dengan 120 menit memberikan peningkatan yield lipid sebesar 4,77% - 12,24%. Secara umum, proses dengan menggunakan perbandingan volume kloroform dan methanol 1:2 memberikan hasil lipid terekstraksi yang lebih sedikit dibandingkan dengan lipid yang dapat terambil pada proses dengan menggunakan perbandingan volume kloroform dan methanol 1:1. Hal ini dimungkinkan karena adanya komposisi pelarut yang digunakan maka kepolaran pelarut dan kemampuan pelarut untuk memecah dinding sel mikroalga berbeda, pada penggunaan kloroform yang lebih banyak mampu memecah dinding sel lebih baik.



Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu ekstraksi dengan yield lipid pada berbagai tekanan proses ekstraksi menggunakan perbandingan volume kloroform dan methanol 1:2.

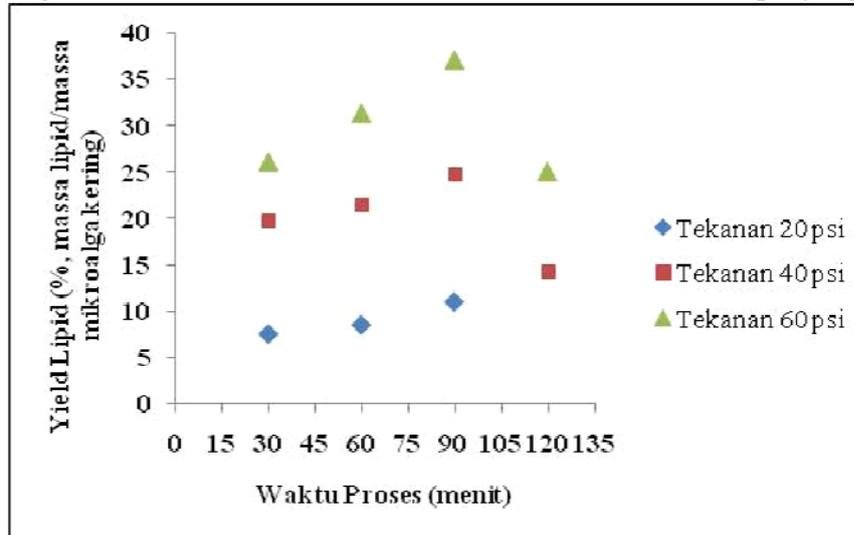
Sedangkan untuk penelitian yang telah dilakukan dengan perbandingan pelarut antara kloroform dan methanol 2:1, yaitu dengan volume masing-masing adalah 67mL dan 33 mL dan diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 3. Data hasil penelitian pengambilan lipid mikroalga (Jumlah mikroalga basah 42,6 gram; volume kloroform dan methanol 100mL; perbandingan volume kloroform dan methanol 2:1)

Tekanan Ekstraksi (psi)	Waktu Ekstraksi (menit)	Berat Lipid terambil (gram)	Yield Lipid (%)
20	30	0,659	7,57
	60	0,743	8,54
	90	0,958	11,01
	120	1,239	14,24
40	30	1,714	19,7
	60	1,870	21,49
	90	2,151	24,72
	120	2,174	24,99
60	30	2,269	26,08
	60	2,726	31,33
	90	3,229	37,11
	120	4,021	46,19

Dari data yang tercantum dalam Tabel 3 maupun Gambar 3 terlihat bahwa pada proses pengambilan lipid mikroalga dengan perbandingan volume kloroform dan methanol yang digunakan adalah 2:1, semakin lama waktu ekstraksi maka lipid yang terekstrak semakin banyak. Pada tekanan

ekstraksi 20 psi, kenaikan waktu ekstraksi dari 30 menit menjadi 120 menit menghasilkan kenaikan yield ekstraksi sebesar 6,67%, sedangkan pada tekanan 40 psi terdapat kenaikan 5,29% dan pada tekanan 60 psi terdapat kenaikan 20,11%. Apabila dibandingkan dengan proses yang menggunakan pelarut dengan perbandingan volume kloroform dan methanol 1:1 dan 1:2 terlihat bahwa pada proses dengan perbandingan volume kloroform dan methanol 1:1 memberikan hasil lipid yang paling banyak.



Gambar 3. Grafik hubungan antara waktu ekstraksi dengan yield lipid pada berbagai tekanan proses ekstraksi menggunakan perbandingan volume kloroform dan methanol 2:1.

KESIMPULAN

Dari data penelitian yang sudah diperoleh dari penelitian pengambilan lipid dari mikroalga jenis *Nannochloropsis sp.*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses ekstraksi menggunakan autoklaf memungkinkan untuk proses pengambilan lipid mikroalga.
2. Jumlah lipid yang dihasilkan dari mikroalga basah jenis *Nannochloropsis sp.* seberat 42,6 gram dengan proses pada tekanan 20 psi – 60 psi adalah berkisar antara 0,659 – 4,021 gram.
3. Kondisi proses dengan hasil yang optimal dengan yield sebesar 46,19% (berat lipid/berat mikroalga kering) diperoleh pada proses menggunakan campuran pelarut kloroform dan methanol dengan perbandingan 2:1, tekanan proses 60 psi, dan waktu proses selama 120 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada DIKTI atas bantuan dana untuk penelitian ini yang diperoleh melalui program Penelitian Dosen Pemula tahun 2014 dan juga kepada pihak-pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Christie, W.W., 2009, *Extraction of Lipids from Samples*, Scotland, Oily Press.
- Cooney, M., Young, G., and Nagle, N., 2009, *Extraction of Bio-oils from Microalgae*, Separation & Purification Reviews, 38: 4, 291 – 325
- Cravotto, G., Boffa, L., Mantegna, S., Perego, P., Avogadro, M., Cintas, P., 2008, *Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves*, Ultrason, Sonochem, 15, 898–902.
- Demirbaş, A., 2009, *Production of Biodiesel from Algae Oils*, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 31: 2, 163 —168
- Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Sari, S.W., Augustine, D., 2010, *Mikroalga: Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar*, PT. Penerbit IPB Press, Bogor.
- Lee, S.J., Yoon, B.D., Oh, H.M., 1998, *Rapid Method for the Determination of Lipid from the Green Alga *Botryococcus braunii**, Biotechnol. Tech., 12, 553–556.
- Lee, L.Y., Yoo, C., Jun, S.Y., Ahn, C.Y., Oh, H.M., 2010, *Comparison of Several Methods for Effective Lipid Extraction from Microalgae*, Bioresource Technology 101, S75–S77.

- Wiyarno, B. 2009, *Biodiesel Microalgae*, IndoAlgaeTech. Consultant, Yogyakarta.
- Wijanarko, B. dan Putri L.D., 2012, *Ekstraksi Lipid dari Mikroalga(Nanochloropsis sp.) dengan Solvent Methanol dan Chloroform*, Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 1, No. 1, Hal. 130 – 138.
- Ross, A.B., Biller, P., Kubacki, M.L., Li, H., Lea-Langton, A., Jones, J.M., 2010, *Hydrothermal Processing of Microalgae using Alkali and Organic Acids*, Fuel 89, 2234-2243.
- Suali, M. and Sarbatly, R., 2012, *Conversion of Microalgae to Biofuel*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 4316– 4342.
- Virost, M., Tomao, V., Ginies, C., Visinoni, F., and Chemat, F., 2008, *Microwave-integrated Extraction of Total Fats and Oils*, J. Chromatogr, A 1196–1197, 57–64.

APLIKASI *LOW METHOXYL PECTIN* (LMP) KULIT PISANG SEBAGAI BIOSORBEN LOGAM KADMIUM

Laeli Kurniasari¹, Indah Hartati², Nur Satik³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang
e-mail :¹laeli_kurniasari@yahoo.co.id, ²hartatiprasetyo@gmail.com

ABSTRACT

Cadmium is one of heavy metal which is very toxic for human even in low concentration. This metal belongs to non essential metal and useless for human body. One alternative for reducing cadmium in liquid waste is using biomass as an adsorbent. The process then is called biosorption. In biosorption, active site of biomass will play important role for adsorbing the metal. Pectin from banana peel is one component from agricultural waste that can be used as an adsorbent for heavy metal. This research applied low methoxyl banana peel pectin as an cadmium biosorbent. Research was conducted in three steps, the first was extraction of banana peel pectin, the second was demethylation of pectin in to low methoxyl pectin and the third was application of low methoxyl pectin as an adsorbent for cadmium. Biosorption processes were conducting in batch, using single synthetic waste. The initial cadmium concentration was 100 ppm. There are three variable observed, pH (3,4,5 and 6), pectin concentration (5,10,15 and 20 g/l) and contact time (30, 60, 90 and 120 minutes). It can be concluded from the result that the maximum conditions for adsorbing cadmium using LMP are in pH 5, pectin concentration 5 g/l and contact time 120 minutes with adsorption capacity 2 mg/g adsorbent.

Keywords : *banana peel, biosorbent, cadmium, low methoxyl pectin*

PENDAHULUAN

Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar perairan. Keberadaan logam-logam ini sangat berbahaya, meskipun dalam jumlah yang kecil. Berbagai kegiatan manusia seperti penambangan logam, pelapisan dan pencampuran logam, industri minyak dan pigmen, pembuatan pestisida dan industri penyamakan kulit sangat berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung logam berat (Igwe dan Abia 2006; Kaewsarn dkk, 2008). Logam berat merupakan zat yang beracun serta umumnya bersifat karsinogenik. Oleh karena itu pengolahan dan penghilangan logam berat dari perairan sangatlah diperlukan.

Diantara berbagai jenis logam berat, kadmium (Cd) merupakan jenis logam yang sangat berbahaya. Logam ini banyak digunakan secara luas pada industri paduan logam, pelapisan logam dan elektronika. Kadmium merupakan logam non esensial dan tidak bermanfaat bagi tubuh. Logam ini sangat beracun meskipun pada konsentrasi rendah. Kadmium tidak terdegradasi dan dapat masuk melalui rantai makanan. Keberadaan logam kadmium akan memberikan efek negatif pada tubuh, khususnya bagian ginjal. Selain disfungsi ginjal, logam kadmium juga dapat menyebabkan hipertensi dan anemia (Saikaw dkk, 2009). Bagi lingkungan, kadmium juga mempunyai efek negatif berupa degradasi lingkungan.

Beberapa proses pengambilan logam berat yang telah ada diantaranya adalah pengendapan secara kimia, ion exchange, pemisahan dengan membran, elektrolisa dan ekstraksi dengan solvent (Das dkk., 2008). Akan tetapi, proses-proses ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya adalah produksi lumpur limbah beracun yang tinggi dan dapat menyulitkan proses penanganan serta pembuangannya (Prasad dan Abdullah, 2009). Selain itu, proses-proses diatas umumnya memerlukan biaya tinggi serta kurang efektif bila diaplikasikan pada konsentrasi limbah yang rendah (Ashraf, 2010).

Salah satu alternatif lain dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat adalah penggunaan bahan-bahan biologis sebagai adsorben. Proses ini kemudian disebut sebagai *biosorption*. *Biosorption* menunjukkan kemampuan biomass untuk mengikat logam berat dari dalam larutan melalui langkah-langkah metabolisme atau kimia-fisika. Keuntungan penggunaan proses *biosorption* diantaranya adalah biaya yang relatif murah, efisiensi tinggi pada larutan encer, minimalisasi pembentukan lumpur, serta kemudahan proses regenerasinya (Ashraf, 2010).

Berbagai alternatif bahan-bahan biologis dapat digunakan sebagai bahan baku biosorben. Bahan-bahan ini diantaranya adalah alga, fungi dan bakteri. Namun penggunaan mikroorganisme tersebut memiliki beberapa kendala diantaranya adalah sangat dipengaruhi oleh kontaminan lain, adanya kebutuhan perawatan serta pemberian nutrisi tambahan (Torresday dkk., 2004). Hal ini cukup menjadi kendala mengingat di dalam perairan sangat mungkin terdapat berbagai kontaminasi.

Alternatif bahan biologis lain yang dapat digunakan sebagai bahan baku biosorben adalah limbah produk-produk pertanian. Limbah produk pertanian merupakan limbah organik yang tentunya akan sangat mudah ditemukan dalam jumlah besar. Pemanfaatan dan penggunaan limbah pertanian sebagai bahan baku biosorben selain dapat membantu mengurangi volume limbah juga dapat memberdayakan limbah menjadi suatu produk yang mempunyai nilai jual. Oleh karena itu, potensi limbah pertanian sangat besar untuk digunakan sebagai bahan baku biosorben logam berat (Kurniasari, 2010).

Komponen yang berperan dalam proses adsorpsi logam berat dengan adsorben bahan-bahan biologis adalah keberadaan gugus aktif yang ada di bahan tersebut. Gugus-gugus itu diantaranya adalah gugus acetamido pada kitin, gugus amino dan posphat pada asam nukleat, gugus amido, amino, sulphhydryl dan karboksil pada protein dan gugus hidroksil pada polisakarida. Gugus-gugus inilah yang akan menarik dan mengikat logam pada biomass (Ahalya dkk., 2003).

Pektin merupakan salah satu senyawa yang terdapat pada dinding sel tumbuhan daratan. Pektin merupakan polimer dari asam D-galakturonat yang dihubungkan oleh ikatan 1,4 glikosidik dan banyak terdapat pada lamella tengah dinding sel tumbuhan. Sebagian gugus karboksil pada polimer pektin mengalami esterifikasi dengan metil menjadi gugus metoksil. Bila didasarkan pada derajat esterifikasinya, maka pektin dapat diklasifikasikan menjadi *high methoxyl pectin* (HMP) dan *low methoxyl pectin* (LMP). HMP memiliki derajat esterifikasi lebih dari 50%, sedangkan LMP mempunyai derajat esterifikasi kurang dari 50% (Sharma dkk, 2006).

Selama ini pektin banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, farmasi dan kosmetik. Pada industri-industri tersebut pektin digunakan terutama sebagai bahan pembentuk gel. Namun bila mengingat bahwa struktur komponen pektin juga banyak mengandung gugus aktif, maka pektin juga dapat digunakan sebagai salah satu sumber biosorben (Wong dkk, 2008; Mata dkk, 2009). Pektin yang umum terdapat pada limbah pertanian adalah pektin jenis HMP. Pektin jenis ini akan membentuk gel pada pH rendah dan dengan adanya padatan terlarut dalam jumlah besar. Gel yang terbentuk akan mudah larut dalam air sehingga praktis pektin jenis HMP tidak bisa digunakan sebagai adsorben logam berat (Mata dkk., 2009). Semakin rendah kadar metoksil pektin maka sifat pembentukan jellinya akan semakin berkurang, sehingga jenis pektin yang dapat digunakan sebagai adsorben adalah LMP. LMP dapat dihasilkan dari HMP dengan proses demetilasi.

Kulit buah pisang mengandung pektin dalam jumlah yang cukup banyak, sekitar 10-21% (Mohapatra dkk, 2010). Selain itu, pisang merupakan salah satu komoditas buah unggulan di Indonesia dimana luas panen dan produksinya selalu menempati posisi pertama. Namun pektin yang dihasilkan dari kulit buah pisang termasuk pektin jenis HMP (Emaga dkk, 2008), sehingga untuk aplikasi sebagai biosorben logam berat, pektin yang dihasilkan perlu didemetilasi. Demetilasi adalah proses penurunan kadar metoksil pektin. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan LMP dari bahan HMP. Adapun penelitian ini bertujuan untuk mempelajari variabel yang mempengaruhi proses biosorpsi logam kadmium dengan menggunakan LMP kulit pisang.

METODE PENELITIAN

Proses produksi biosorben meliputi ekstraksi dan demetilasi pektin dari kulit pisang. Proses ekstraksi mengacu pada penelitian Emaga dkk (2008) dengan sedikit modifikasi. Kulit pisang dihilangkan bagian pulpnya dan kemudian dioven pada suhu 50 °C selama 24 jam. Kulit pisang yang dipakai adalah kulit pisang matang yang berwarna kuning. Selanjutnya kulit pisang kering di hancurkan. Kulit pisang halus dicampur dengan larutan H₂SO₄ encer dengan perbandingan padatan : cairan = 1 : 29 w/v diaduk dengan kecepatan 250 rpm menggunakan magnetic stirrer. Campuran dipanaskan pada suhu 90 °C selama 1 jam. Slurry yang dihasilkan kemudian didinginkan pada suhu ruang dan disaring. pH larutan diukur dan diubah menjadi 3,5 dengan penambahan 0,2M KOH. Larutan kemudian didispersikan dalam etanol 96% selama 1 jam pada suhu ruang. Proses selanjutnya adalah sentrifugasi selama 20 menit untuk mendapatkan gel pektin. Gel pektin yang diperoleh

kemudian dicuci dengan etanol 70% (rasio gel : solven = 1:2 w/w) , diremas dalam kain nilon untuk menghilangkan sisa etanol, dibilas dengan air dan dioven untuk mendapatkan pektin kering. Pektin yang diperoleh disebut HMP.

Untuk proses demetilasi, pektin kering yang telah dihasilkan pada proses ekstraksi didispersikan dalam aquades dan dibuat pada konsentrasi 50 mg/ml serta diaduk pada suhu ruang. pH larutan dibuat 4 dengan penambahan HCl pekat. Reaksi dilakukan selama 5 jam pada suhu 50⁰C. Setelah proses demetilasi selesai, larutan didinginkan dan pektin diendapkan dengan penambahan etanol 96%. Endapan yang dihasilkan dicuci 3-4 kali dengan etanol 70% dan disaring dengan menggunakan kertas saring. Endapan dikeringkan pada suhu 40⁰C dan disimpan dalam wadah tertutup rapat.

Proses selanjutnya adalah biosorpsi logam kadmium dengan menggunakan LMP. Uji coba biosorpsi LMP dilakukan dengan proses batch dalam limbah sintetis tunggal, artinya hanya ada satu logam sintetis dalam larutan. Konsentrasi awal larutan adalah 100 ppm, yang diperoleh dengan melarutkan Cd(NO₃)₂ dalam aquadest. Untuk mengatur pH dilakukan dengan penambahan HNO₃ atau NaOH. Adapun variabel percobaan meliputi pH, konsentrasi biosorben dan waktu.

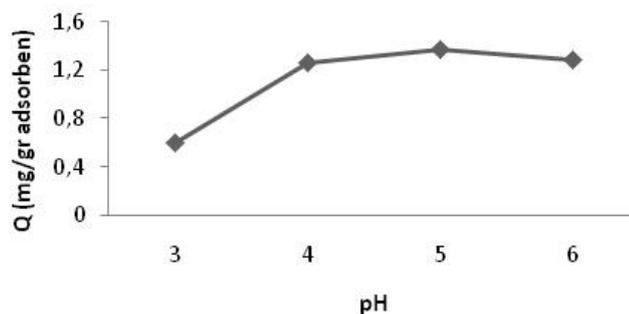
Pektin dengan konsentrasi tertentu di campurkan ke dalam larutan yang mengandung Cd(NO₃)₂ dengan konsentrasi 100 ppm. Larutan kemudian diatur pH nya sesuai variabel dengan menggunakan HNO₃ atau NaOH. Larutan diaduk, dan proses adsorpsi dilakukan sesuai dengan variabel waktu pada suhu ruang (30⁰C). Setelah proses adsorpsi selesai, campuran di sentrifugasi selama 10 menit untuk proses pemisahan adsorben. Kadar ion logam yang tersisa dalam larutan selanjutnya dianalisa dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrofometer*). Kapasitas adsorpsi dihitung dengan persamaan :

$$Q = (C_o - C_f) \times \frac{V}{M} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana Q adalah konsentrasi logam teradsorp (mg/g adsorben), C_o dan C_f adalah konsentrasi awal dan akhir ion logam dalam larutan (mg/L), V adalah volume larutan (l) dan M adalah massa adsorbent (g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

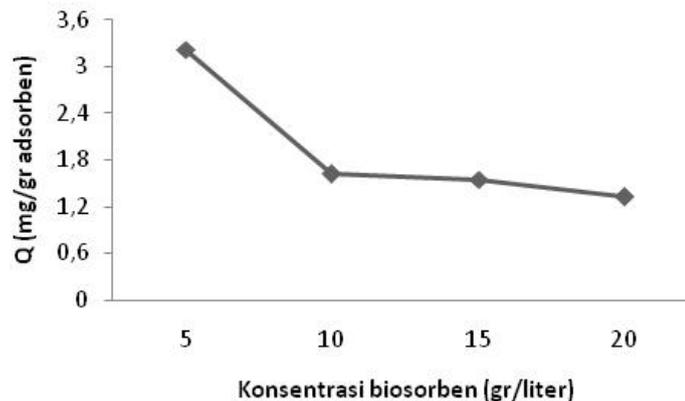
Pengaruh pH terhadap proses biosorpsi logam kadmium dapat dilihat pada Gambar 1. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi logam kadmium pada pH rendah cukup kecil dan naik dengan kenaikan pH. Kapasitas adsorpsi tertinggi dicapai pada pH 5 dan diatas pH 5 nilainya menurun lagi.



Nilai pH merupakan salah satu variabel penting pada proses biosorpsi. Hal ini disebabkan karena pH berpengaruh pada ionisasi gugus fungsional pada permukaan adsorben. Selain itu, ion hidrogen sendiri bisa bersaing secara kuat dengan adsorbat (Sathasivam dan Haris, 2010). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biosorpsi pada pH rendah relatif kecil. Hal ini disebabkan pada pH rendah terjadi peningkatan kompetensi/persaingan dengan proton pada bagian situs aktif adsorben (Kaewsarn dkk, 2008; Saikaew dkk, 2009; Mata dkk, 2009; Vazques dkk, 2011)). Proses biosorpsi pada pH dibawah 2 dilaporkan kecil karena adanya persaingan dengan ion hidrogen pada situs aktif adsorben. Kenaikan pH akan menyebabkan persaingan dengan hidrogen menurun, sehingga kapasitas adsorpsi meningkat.

Pada percobaan ini, nilai maksimal dicapai pada pH 5 dan diatas pH 5 nilainya kembali turun. Penurunan ini disebabkan oleh terbentuknya kompleks anion hidroksida pada pH tinggi yang

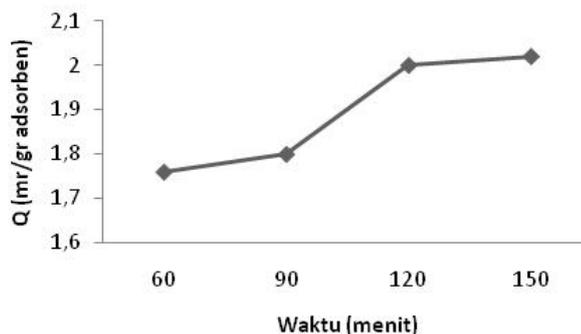
menyebabkan penurunan konsentrasi ion kadmium bebas dalam larutan. Lebih lanjut pada kondisi basa, justru dimungkinkan munculnya efek lain yang dapat merusak proses biosorpsi, seperti terbentuknya senyawa hidrat dengan logam berat serta pembentukan garam yang kemudian akan mengendap (Kaewsarn dkk, 2008). Kaewsarn dkk (2008) melaporkan bahwa pH terbaik proses biosorpsi kadmium dengan biosorben kulit pisang pada pH 5, demikian pula Saikaew dkk (2009) untuk proses biosorpsi logam kadmium dengan biosorben kulit buah pome. Sedangkan Mata dkk (2009) dan Vazques dkk (2011) menyebutkan kondisi terbaik proses biosorpsi logam kadmium adalah pada pH 6. Sedangkan hasil percobaan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi biosorben dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi Biosorben terhadap Kapasitas Adsorpsi

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa konsentrasi biosorben terbaik dicapai pada 5g/l. Ahalya dkk (2003) menuliskan bahwa pada konsentrasi biosorben yang lebih rendah akan terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi. Sedangkan peningkatan konsentrasi biosorben justru akan menurunkan kapasitas adsorpsi. Penurunan kapasitas adsorpsi ini disebabkan oleh adanya penurunan gaya elektromotif dalam larutan serta kemungkinan terjadinya agregat partikel biosorben (Seolatto dkk, 2012). Dengan demikian saat proses adsorpsi situs aktif adsorben menjadi berkurang. Sedangkan Mata dkk (2009) memberikan hipotesis bahwa penurunan kapasitas adsorpsi pada peningkatan konsentrasi biosorben disebabkan oleh penurunan ketersediaan situs aktif biosorben. Hal ini dapat disebabkan oleh interaksi elektrostatik partikel biosorben, saling pengaruh dengan ion logam maupun karena masalah pengadukan.

Waktu kontak cukup memegang peran penting dalam proses biosorpsi. Sathasivam dan Haris (2010) menuliskan bahwa biosorpsi dapat dibagi dalam dua tahap. Tahap pertama merupakan tahap yang secara kuantitatif dominan dan biasanya terjadi diawal proses biosorpsi. Pada tahap ini laju proses biosorpsi cepat karena ketersediaan situs aktif adsorben yang masih banyak. Menurut Sathasivam dan Haris (2010), ini biasanya terjadi pada 15 menit pertama proses biosorpsi. Tahap kedua adalah tahap yang lebih lambat dan secara kuantitatif tidak signifikan. Apabila kontak diteruskan, maka peningkatan persentase adsorpsi akan menurun karena keterbatasan area adsorben. Bahkan setelah waktu tertentu yang disebut sebagai kondisi kesetimbangan, maka peningkatan jumlah adsorbate yang teradsorpsi menjadi tidak signifikan lagi (Singanan, 2011).



Gambar 3. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi

Dalam penelitian ini, waktu kontak yang memberikan hasil optimum adalah pada menit ke-120 (Gambar 3). Sun dkk (2010) melaporkan bahwa dinamika biosorpsi dan kapasitas biosorben untuk mengadsorp suatu logam sangat dipengaruhi oleh diameter ion logam, potensial elektrode, afinitas gugus fungsi dan interaksi antara ion logam dengan biosorben. Lebih lanjut Sun dkk (2010) menuliskan bahwa kesetimbangan biosorpsi logam kadmium dalam *Aspergillus* juga cenderung lebih lambat bila dibandingkan dengan logam lain seperti timbal.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diatas maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Low methoxyl pectin (LMP) dapat diaplikasikan sebagai biosorben untuk logam kadmium
2. Variabel yang mempengaruhi proses biosorpsi adalah pH, konsentrasi biosorben dan waktu kontak
3. pH terbaik untuk proses biosorpsi logam kadmium dengan LMP adalah 5, konsentrasi LMP terbaik adalah 5 g/liter dan waktu kontak terbaik adalah 120 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia atas pendanaan kegiatan penelitian ini melalui program Hibah Bersaing Tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya, N., Ramachandra, T.V., Kanamadi, RD., 2003, Biosorption of Heavy Metal, *Research Journal Of Chemical And Environment* Vol. 7(4), 71-79
- Ashraf, MA., Maah, MJ., Yusoff, I., 2010, Study of Banana peel (*Musa sapientum*) as a Cationic Biosorben, *American-Eurasian J. Agric & Environ. Sci* 8(1): 7-17
- Das, N., Karthika, P., Vimala, R., Vinodhini, V., 2008, Use of Natural Products as Biosorbent of Heavy Metals: An Overview, *Natural Product Radiance*, Vol. 7(2), 133-138.
- Emaga, T.H., Ronkart, S.N., Robert, C., Wathélet, B., Paquot, M., 2008, Characteization of Pectins Extracted from Banana Peels (*Musa AAA*) under Different Conditions Using an Experimental Design, *Food Chemistry* 108, 463-471.
- Igwe, J.C and Abia, A.A., 2006, A Bioseparation Process for Removing Heavy Metals from Waste Water Using Biosorbents, *African Journal of Biotechnology* Vol.5(12), 1167-1179
- Kaewsarn, P., Saikaew, W., Wongcharee, S., 2008, Dried Biosorbent Derived from Banana Peel: A Potential Biosorbent for Removal of Cadmium from Aqueous Solution, *The 18th Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference*
- Kurniasari, L., 2010, "Pemanfaatan Mikroorganisme dan Limbah pertanian Sebagai Bahan Baku Biosorben Logam Berat" *Majalah Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, MOMENTUM*, ISSN 0216 7395, Volume 6 Nomor 2, 5-8
- Mata, YN., Blazquez, ML., Ballester, A., Gonzalez, F., Munoz, JA., 2009, Sugar-beet Pulp Pectin Gels as Biosorbent for Heavy Metals: Preparation and Determination of Biosorption and Desorption Characteristics, *Chemical Engineering Journal* 150, 289-301.
- Mohapatra, D., Mishra, S., Sutar, N., 2010, Banana and Its By-product Utilisation: An Overview,

- Journal of Scientific & Industrial Research Vol. 69, 323-329
- Prasad, AGD., Abdullah, MA., 2009, Biosorption of Fe(II) from Aqueous Solution Using Tamarind Bark and Potato Peel Waste: Equilibrium and Kinetic Studies, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation* 4(3): 273-282.
- Saikaew, W., Kaewsarn, P., Saikaew, W., 2009, Pomelo Peel: Agricultural Waste for Biosorption of Cadmium Ions from Aqueous Solutions, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 56, 287-291.
- Sathasivam, K., Haris, MRHM., 2010, Banana trunk Fibers as an Efficient Biosorbent For The Removal of Cd(II), Cu(II), Fe(II), Zn(II) From Aqueous Solutions, *J. Chil. Chem. Soc*, 55, No. 2, 278-282
- Seolatto, AA., Filho, CJS., Mota DLF., 2012, Evaluation of the Efficiency of Biosorption of Lead, Cadmium and Chromium by the Biomass of Pequi Fruit Skin (*Caryocar brasiliense* Camb), *Chemical Engineering Transactions* Vol. 27, doi: 10.3303/CET1227013
- Sharma, B.R., Naresh, L., Dhuldhoya, N.C., Merchant, S.U., Merchant, U.C., 2006, An Overview on Pectins, *Times Food Processing Journal*, 44-51
- Singanan, M., 2011, Removal of Lead (II) and Cadmium (II) ions From Wastewater Using Activated Biocarbon, *Science Asia* 37: 115-119, doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2011.37.115
- Sun, YM., Horng, CY., Chang FL., Cheng, LC., Tian, WX., 2010, Biosorption of Lead, Mercury and Cadmium ions by *Aspergillus terreus* Immobilized in a Natural Matrix, *Polish Journal of Microbiology* Vol. 59, No. 1, 37-44
- Torresday, J.L.G., Rosa, G., Videia, J.R.P., 2004, Use of Phytofiltration Technologies in The Removal of Heavy Metals: A review, *Pure Appl. Chem.* Vol. 76, No. 4, 801-813.
- Vazquez, ARH., Villanueva, AC., Benavides, LM., Martinez, RC, 2011, Cadmium and Lead Removal From Aqueous Solutions Using Pine Sawdust as Biosorbent, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitations* Vol. 6 No.4: 447-462
- Wong, W.W., Abbas F.M.A., Liong, M.T., Azhar, M.E., 2008, Modification of Durian Rind Pectin for Improving Biosorbent Ability, *International Food Research Journal* 15(3), 363-365

Influence of Temperature to Bio-Oil Yield from Organic Waste Pyrolysis Process

Sukarjo¹, H., Cahyono², M.S., & Wardoyo³
^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta
Cgitk41@gmail.com

ABSTRACT

Organic waste are potential energy source that is available abundantly in Indonesia, about 60% from total wastes in Indonesia. Organic wastes from any parts of plant could be converted to fuel as bio-oil by fast pyrolysis processes. The effectivity of this processes is very dependent on temperature in reactor along pyrolysis process. The objective of this research is to study the influence of temperature to yield of bio-oil that produce from pyrolysis of organic waste. Raw material that used in this research are saw dust with maximum moisture content 20%. It feed to pyrolysis reactor and heated by variable temperature, 200^oC, 300^oC, 400^oC, and 500^oC. The heating is produce vapour that will be condensed in condenser become bio-oil liquid. The result show that temperature variation is influence to amount of bio-oil produced. The highest bio-oil yield is 22% that produced from pyrolysis in temperature 400^oC. Therefore, the quality of it product still have low calorific value, at least 5.000 Joule/kg, far less than standard product of bio-oil that is about 30.000 Joule/kg.

Keywords : Organic Waste, Bio-oil, Pyrolysis, Yield, Temperatur

PENDAHULUAN

Tidak bisa dipungkiri, permasalahan utama yang muncul saat ini di Indonesia adalah krisis energi, terutama bahan bakar minyak (BBM). Pertumbuhan penduduk yang pesat dan perkembangan industri yang cepat menyebabkan peningkatan konsumsi BBM. Di sisi lain, produksi BBM yang berasal dari minyak bumi (*fossil fuel*) juga semakin menurun. Hal ini disebabkan menurunnya cadangan minyak pada sumur-sumur yang memproduksi, sehingga tidak lagi mencukupi kebutuhan BBM nasional.

Sebenarnya, berbagai macam cara telah dilakukan pemerintah untuk mengatasi krisis energi, misalnya pengembangan energi alternatif sebagai pengganti minyak bumi. Hal ini seperti dituangkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) serta Instruksi Presiden Nomor 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (BBN). Dengan adanya konversi ke energi alternatif, diharapkan konsumsi energi primer yang sangat besar dapat berkurang dan digantikan oleh sumber energi lain.

Salah satu jenis energi alternatif yang sedang dikembangkan di Indonesia adalah bio-oil. Menurut Kristy (2007), bio-oil adalah bahan bakar cair berwarna gelap, beraroma seperti asap, dan diproduksi dari biomassa seperti kayu, kulit kayu, kertas, atau biomassa lainnya melalui teknologi pirolisis cepat (*fast pyrolysis*). Bio-oil terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen dengan sedikit kandungan sulfur. Komponen organik terbesar dalam bio-oil yaitu lignin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Karakteristik tersebut menjadikan bio-oil sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Selain itu, bio-oil memiliki nilai kalor (*heating value*) yang lebih besar dibandingkan bahan bakar oksigenasi lainnya (seperti metanol) dan nilainya hanya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan *diesel oil* dan *fuel oil* lainnya.

Pengembangan bio-oil dapat menggantikan posisi bahan bakar hidrokarbon dalam industri, seperti untuk mesin pembakaran, boiler, mesin diesel statis, dan gas turbin. Bio-oil sangat efektif digunakan sebagai substitusi *diesel oil*, *heavy fuel oil*, *light fuel oil*, dan *natural gas* untuk berbagai macam boiler. Oleh karena itu, aplikasi bio-oil sebagai substitusi bahan bakar fosil (*fossil fuel*) maupun produk lainnya sangatlah luas. (Brown, 2008)

Melihat prospek bio-oil yang cukup bagus, Pemerintah mengagendakan pengembangan bio-oil di Indonesia, seperti tercantum dalam Milestone Bio-oil yang ada dalam Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025. Diperkirakan, kapasitas produksi tahun 2025 sebesar 5,992 juta kiloliter/tahun dengan kumulatif investasi \$ 553,78 juta. Berdasarkan blue print energi tersebut, maka pengembangan bio-oil merupakan hal yang mutlak dilakukan demi mencapai target tersebut, terutama

dalam hal penyediaan teknologi yang tepat dan efisien dalam menghasilkan bio-oil, melalui proses pirolisis.

Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa kehadiran oksigen. Proses ini sebenarnya bagian dari proses karbonisasi yaitu proses untuk memperoleh karbon atau arang, tetapi sebagian menyebut proses pirolisis merupakan *High Temperature Carbonization* (HTC), lebih dari 300°C. Proses pirolisis sederhana menghasilkan produk berupa bahan bakar padat yaitu karbon, cairan berupa campuran tar dan beberapa zat lainnya. Produk lainnya adalah gas berupa karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan beberapa gas yang memiliki kandungan kecil (Bridgewater, 2007).

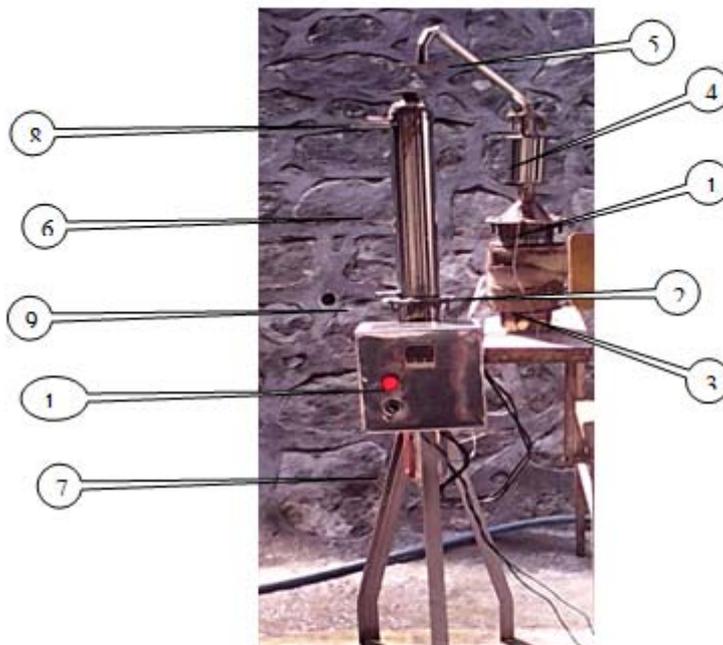
Salah satu faktor utama yang berpengaruh terhadap proses pirolisis adalah suhu operasi di dalam reaktor. Pirolisis yang bagus terjadi pada suhu antara 300°C sampai 500°C. Semakin tinggi suhu pirolisis, jumlah bio-oil yang dihasilkan semakin besar. Akan tetapi, diatas suhu 500°C, terjadi proses dekomposisi produk lebih lanjut menjadi gas sehingga bio-oil yang dihasilkan akan mulai berkurang. Selain itu, semakin tinggi suhu proses maka energi yang dibutuhkan untuk proses pirolisis juga semakin besar. Oleh karena itu, pengaturan suhu yang tepat akan sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dan efisiensi dari proses pirolisis.

2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Bahan Penelitian

Bahan baku dari sampah organik berupa serbuk gergaji yang didapatkan dari beberapa tempat penggergajian kayu yang ada di Kabupaten Sleman. Bahan baku tersebut dikeringkan sampai kadar air sekitar 20 %. Dalam satu kali pirolisis, digunakan serbuk gergaji sebanyak 200 gram yang dipirolisis pada suhu yang divariasikan (200, 300, 400, dan 500°C) selama 30 menit.

b. Alat Penelitian



Gambar 1. Satu set alat pirolisis

Keterangan:

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. Reaktor pirolisis (<i>retort</i>) | 6. Tabung kondensor |
| 2. Elemen Pemanas | 7. Tangki penampung bio-oil |
| 3. Isolator pemanas | 8. Pipa Air Keluar |
| 4. Tabung katalis | 9. Pipa Air masuk |
| 5. Pipa uap pirolisis | 10. Panel pengatur suhu |

c. Jalannya Penelitian

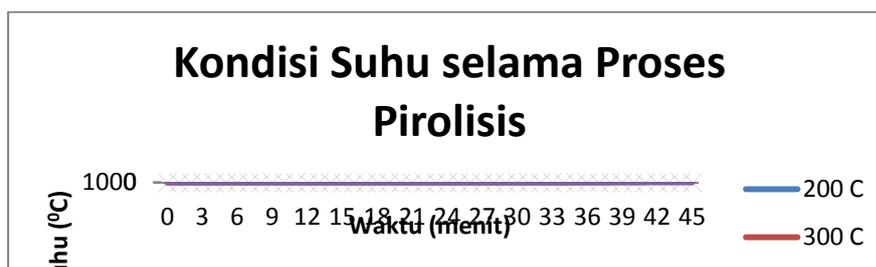
Proses percobaan diawali dengan memasukkan bahan baku ke dalam reaktor, memasang tutup, sistem pemanas, pendingin, dan perpipaan. Kemudian melakukan pemanasan sampai suhu yang diinginkan, untuk kemudian ditahan pada suhu tersebut selama 1 jam. Pada proses pirolisis, *volatiel matter* akan menguap, mengalir melalui pipa, terus ke kondensor dan mengalami kondensasi menjadi produk cair. Sebagian gas yang tidak terkondensasi akan dibakar melalui pipa flare gas yang disediakan.

Setelah proses pirolisis selesai, peralatan dimatikan dan dibiarkan sampai mendekati suhu kamar. Setelah itu tutup dibuka dan arang dikeluarkan dan ditempatkan pada tempat yang tidak lembab serta disimpan rapat agar uap air dari sekitar tidak terserap ke dalam arang. Bio-oil yang terbentuk kemudian ditampung dalam penampung lalu diukur volume dan nilai kalornya. Uji laboratorium bio-oil dilakukan dengan mengukur nilai kalornya di Laboratorium Chem-mix Pratama Bantul menggunakan uji bom kalorimeter. Bio-oil yang diuji sebanyak 10 ml hasil pirolisis masing-masing variabel penelitian.

PEMBAHASAN

Proses Pirolisis

Bio-oil terbentuk pada pirolisis biomassa pada suhu sekitar 300 - 500°C selama 1 jam, dimana kenaikan suhu dari keadaan standar (30°C) ke suhu yang diinginkan diusahakan terjadi secepat mungkin (Bridgewater, 2007). Proses kenaikan suhu yang terjadi selama pirolisis ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi suhu pada proses pirolisis

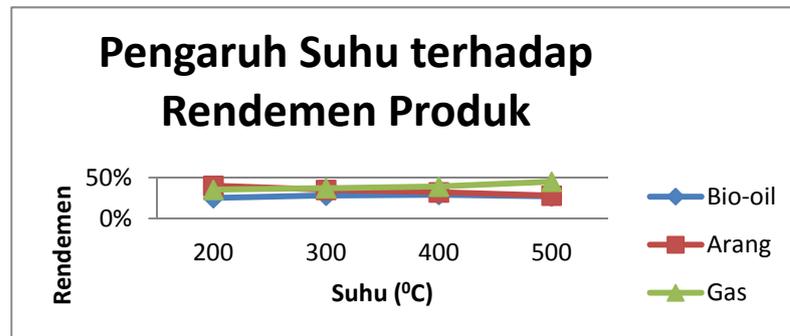
Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa kenaikan suhu selama pirolisis dari suhu kamar sampai 200°C berlangsung dalam waktu sekitar 4 menit, sampai suhu 300°C sekitar 6 menit, sampai suhu 400°C sekitar 8 menit, dan sampai suhu 500°C sekitar 10 menit. Nilai ini lebih cepat dibandingkan proses pirolisis biasa pada suhu 300°C yang menghasilkan produk asap cair dan arang yang terjadi dalam waktu sekitar 30 menit (Nisandi, 2007). Adanya kenaikan suhu yang cepat ini menunjukkan bahwa proses pirolisis dalam penelitian ini mengarah pada *Fast Pyrolysis* yang bisa menghasilkan bio-oil. Rendemen bio-oil yang dihasilkan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3.

Tabel 1 Pengaruh Suhu Terhadap Rendemen Bio-oil

Variabel Suhu (°C)	Massa produk (gram)			Rendemen Produk (%)		
	Bio-oil	Arang	Gas	Bio-oil	Arang	Gas
200	25	40	35	25%	40%	35%
300	28	35	37	28%	35%	37%
400	29	32	39	29%	32%	39%
500	27	28	45	27%	28%	45%

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu, jumlah produk bio-oil akan mengalami peningkatan yang puncaknya terjadi pada suhu 400°C, dimana rendemennya mencapai 29%. Namun, apabila suhu dinaikkan lagi sampai 500°C, terjadi penurunan jumlah bio-oil yaitu hanya

sebesar 27%. Di sisi lain, jumlah produk samping berupa arang akan terus mengalami penurunan seiring dengan kenaikan suhu, sementara jumlah produk samping berupa gas yang tidak terkondensasi (*Noncondensable gas*) mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan suhu.



Gambar 3. Pengaruh suhu terhadap rendemen bio-oil

Kecenderungan kenaikan produk bio-oil ini sampai suhu 400^oC ini terjadi karena proses pirolisis berlangsung lebih sempurna pada kisaran suhu 300 – 400^oC (Bridgewater, 2007) dimana sebagian besar bahan volatile akan menguap yang bisa dikondensasikan menjadi cairan. Sebaliknya semakin banyak bahan volatile yang menguap, maka jumlah arang yang tersisa akan semakin kecil. Akan tetapi pada suhu yang lebih tinggi lagi (diatas 500^oC), uap pirolisis tersebut akan terurai lebih lanjut menjadi *Syn gas* sehingga bio-oil yang terbentuk juga akan semakin kecil.

Akan tetapi, bio-oil yang dihasilkan dalam penelitian ini masih belum memenuhi standar bio-oil yang ada di pasaran dunia (Dynamotive, 2006). Berdasarkan analisa laboratorium yang telah dilakukan, didapatkan nilai kalori bio-oil hasil pirolisis serbuk gergaji ini adalah sekitar 5.000 Joule/gram, masih sangat jauh jika dibandingkan nilai kalori bio-oil standar yaitu sebesar 30.000 Joule/gram. Namun, kualitas bio-oil dari proses pirolisis serbuk gergaji ini masih bisa ditingkatkan lagi melalui pemurnian lebih lanjut.

4. KESIMPULAN

1. Kenaikan suhu akan meningkatkan rendemen bio-oil yang dihasilkan, sampai pada suhu 400^oC, dimana rendemen yang dicapai maksimal sebesar 29%. Apabila suhu dinaikkan lagi, rendemen akan turun karena sebagian bio-oil akan terkonversi menjadi *syn gas*.
2. Kualitas bio-oil yang dihasilkan masih di bawah standar, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memurnikan bio-oil dari serbuk gergaji agar kualitasnya setara dengan bahan bakar minyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Bridgewater (2007). *Biomass Fast Pyrolysis*. Aston University, Birmingham.
- Brown, R.C., and Holmgren, J. (2008). *Fast Pyrolysis and Bio-oil Upgrading*. Iowa State University and UOP Honeywell Co.
- Cahyono, M.S. (2013). *Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-oil sebagai Sumber Energi Terbarukan*. Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan, Vol. 5 No.2, UII Yogyakarta, ISSN 2085-1227.
- Dynamotive (2006). *The Bio-oil Information Book, edisi 13 Maret*. Dynamotive Energy System Corporation, Vancouver (BC), Canada.
- Kristy M. (2007). *Biooils: Feedstocks, Process and Potential for Synthetic Diesel*. BBI International, Colorado.
- Nisandi (2007). *Pengaruh Massa Bahan dalam Ruang Pengarangan serta Komposisi Campuran Bahan terhadap Kualitas Briket Arang yang Dihasilkan pada Pirolisis Sampah Organik*. Tesis Teknologi Pengelolaan dan Pemanfaatan Sampah/limbah Perkotaan (TP2SLP) Magister Sistem Teknik (MST). Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

PENGARUH JENIS NON-PELARUT DAN PENAMBAHAN POLIMER HIDROFILIK TERHADAP STRUKTUR MORFOLOGI MEMBRAN POLIETERSULFON

Nasrul Arahman¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf 7 Darussalam Banda Aceh 23111
Email : nasrular@unsyiah.ac.id

ABSTRACT

In membrane preparation via non-solvent induced phase separation (NIPS) process, the membrane morphology is highly dependent on the composition of polymer solution and the type of non-solvent. The basic experiment to understand the composition of non-solvent necessary to induced phase separation of polymer solution is needed in order to fabricate membrane for specific application. This research paper explained the morphology change of the polyethersulfone membrane prepared via NIPS process with non-solvent of water and ethanol. Furthermore, the effect of the addition of the 2nd polymer (Tetronic 1307) into polymer solution on the filtration performance was also discussed. The composition of non-solvent necessary to induced phase separation of polymer solution was determined by cloud point experiment. The morphology of resulted membrane was analyzed by a scanning electron microscopy apparatus. The experiment results showed that the morphology change of membrane by addition of polymeric additive of Tetronic in all polymer system. Ultrafiltration experiment showed that the water permeability of blend PES-Tetronic membrane was significantly affected by the concentration of the Tetronic in the polymer solution.

Keywords : *Cloud point experiment, membrane preparation, non-solvent induced phase separation, ultrafiltration, water treatment.*

PENDAHULUAN

Mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi telah menjadi metode yang sangat menarik untuk menghasilkan air yang aman untuk kebutuhan rumah tangga, industri, dan dunia farmasi/medis. Proses pemisahan dengan teknologi membran ini menjadi alternatif paling menjanjikan karena dapat memproduksi air dengan kualitas yang stabil, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan, serta tidak memerlukan area instalasi yang luas (Ahmad dkk, 2013). Peningkatan permintaan modul mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi berdampak pada peningkatan produksi membran dengan kemampuan permeabilitas dan sifat rejeksi yang lebih baik. Para peneliti dan perusahaan pembuat membran terus melakukan kajian untuk memodifikasikan struktur morfologi dan sifat permukaan membran. Targetnya adalah menghasilkan membran dengan usia pakai yang lebih lama. Untuk tujuan pengolahan air di industri, membran dengan fluks dan rejeksi yang tinggi, serta memiliki stabilitas mekanik ketahanan kimia yang baik harus dikembangkan. Polimer polietersulfon (PES) merupakan polimer yang banyak digunakan pada proses membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi karena memiliki ketahanan dan stabilitas kimia serta sifat mekanik yang baik. Namun, polimer PES bersifat hidrofobik sehingga fluks membran akan cenderung menurun selama operasi karena terbentuknya fouling pada membran (Rahimpour dkk., 2009). Fouling didefinisikan sebagai deposisi dari partikel, koloid, emulsi, suspensi, molekul makro, dan garam pada permukaan membran. Hal ini mencakup adsorpsi, penutupan pori-pori, presipitasi dan pembentukan lapisan *cake*. Fouling ini memperpendek usia pakai membran. Akibatnya dapat meningkatkan biaya pemeliharaan dan operasi.

Beberapa teknik modifikasi struktur morfologi membran yang sudah diperkenalkan adalah melalui perlakuan awal larutan polimer dengan reaksi kopolimerisasi untuk menghasilkan polimer kombinasi yang lebih bersifat hidrofilik (Kumar dkk., 2014). Modifikasi yang lain berupa mencampur (*blend*) polimer hidrofobik dengan aditiv yang bersifat hidrofilik seperti polivinilpirrolidone (PVP), polietilen glikol (PEG), dan sebagainya (Lang dkk., 2013). Selanjutnya membran hidrofobik yang dihasilkan dapat pula dimodifikasikan menjadi bersifat hidrofilik, yaitu melalui proses post treatment dengan cara grafting. Sejenis bahan kimia tertentu ditambatkan pada permukaan membran dengan teknik grafting (razi dkk., 2012). Sehingga pada permukaan membran akan terbentuk lapisan baru

yang bersifat hidrifik.

Penelitian ini difokuskan pada upaya peningkatan permeabilitas dan sifat hidrofilik membran polietersulfon dengan menggunakan aditiv surfaktan Tetronic 1307. Dipelajari pengaruh dua jenis non-pelarut yang digunakan sebagai media koagulasi membran terhadap morfologi membran yang terbentuk. Non-pelarut yang diuji adalah air dan etanol.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian adalah sebagai polimer utama pembentuk membran digunakan Polietersulfon (PES, Ultrason E6020P, BASF). Sebagai aditiv digunakan Tetronic 1307 (BASF Co). Polimer dan aditiv dilarutkan didalam N-metil-2-pirrolidon (NMP, WAKO Pure Chemical Industries, Ltd, Japan). Dan digunakan dua jenis non-pelarut air dan etanol.

Uji Titik Awan Larutan

Metode pengujian titik awan (*cloud point*) dilakukan dengan merujuk pada prosedur yang telah dibahas pada paper sebelumnya (Arahman, 2012). Dibuatkan lima macam larutan polimer didalam lima buah botol vial ukuran 50 ml dengan komposisi sebagaimana ditabulasikan pada Tabel 1. Dibuat dua seri larutan polimer masing-masing untuk pengujian *cloud point* dengan *non-solvent* air dan untuk pengujian *cloud point* menggunakan *non-solvent* etanol. Larutan polimer dilarutkan dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 jam, dan dihentikan saat larutan mencapai kondisi homogen dengan warna larutan transparan. Dilakukan pengukuran persen *transmittance* untuk semua botol sampel menggunakan UV-Visible spektrofotometer (UV-Vis-Sp) yang diatur pada panjang gelombang 500 nm. Kedalam semua botol vial yang mengandung larutan polimer homogen seri pertama, selanjutnya dimasukkan beberapa tetes non pelarut (air). Jumlah air yang ditambahkan dicatat secara akurat menggunakan timbangan digital dengan akurasi 0,0001 mg. Larutan polimer yang telah ditambahkan air selanjutnya diaduk lagi dengan *magnetic stirrer* sampai kembali tercapai kondisi homogen. Pekerjaan penambahan air ini dilakukan terus menerus dan baru dihentikan apabila larutan tidak lagi mencapai kondisi homogen. Dilakukan proses penambahan non-pelarut etanol terhadap larutan polimer homogen seri kedua, dengan prosedur yang sama seperti perlakuan penambahan air. Proses penambahan etanol baru dihentikan apabila larutan tidak lagi mencapai homogen dengan warna yang berubah menjadi putih susu.

Tabel 1. Komposisi larutan polimer

Sistem	Komposisi (% berat)		
	PES	Tet.1307	NMP
1	15	-	85
2	15	1	84
3	15	2	83
4	15	3	82
5	15	4	81

Proses pembuatan dan karakterisasi membran

Membran dibuat dengan melarutkan PES kedalam NMP dengan komposisi larutan polimer 15 % dan aditiv 4 %. Digunakan dua jenis *non-solvent* sebagai media koagulasi dan solidifikasi membran, yaitu air dan etanol. Larutan polimer yang telah homogen dicetak pada plat kaca dengan casting knife pada setting ketebalan membran 254 μ m. Setelah disimpan beberapa hari didalam *deionized water*, selanjutnya membran dikarakterisasi mencakup analisa struktur morfologi dengan scanning electron microscopy (SEM), dan uji ultrafiltrasi menggunakan *deionized water*.

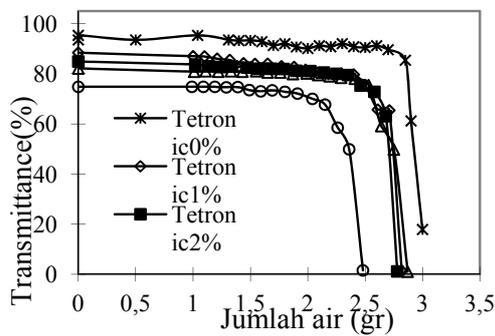
PEMBAHASAN

Penentuan *cloud point* larutan

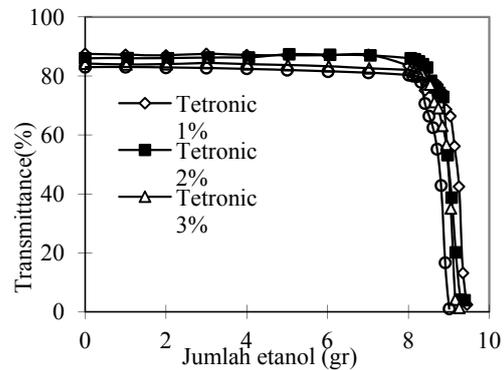
Gambar 1 memperlihatkan kurva jumlah non-pelarut air yang dibutuhkan system larutan polimer versus persen *transmittance* yang dibaca dengan peralatan spectrophotometer. Sistem larutan polimer tanpa penambahan tetronic (tetronic 0%) membutuhkan non-pelarut air yang paling banyak untuk dapat terjadinya pemisahan fasa larutan. Dari kurva pada Gambar 1 dapat ditentukan titik *cloud point* larutan yaitu pada saat terjadi perubahan garis kurva dari mendatar menjadi menukik ke arah sumbu X.

Posisi *cloud point* dapat tercapai untuk system tanpa tetronic dengan jumlah non-pelarut air 2,8 gram.

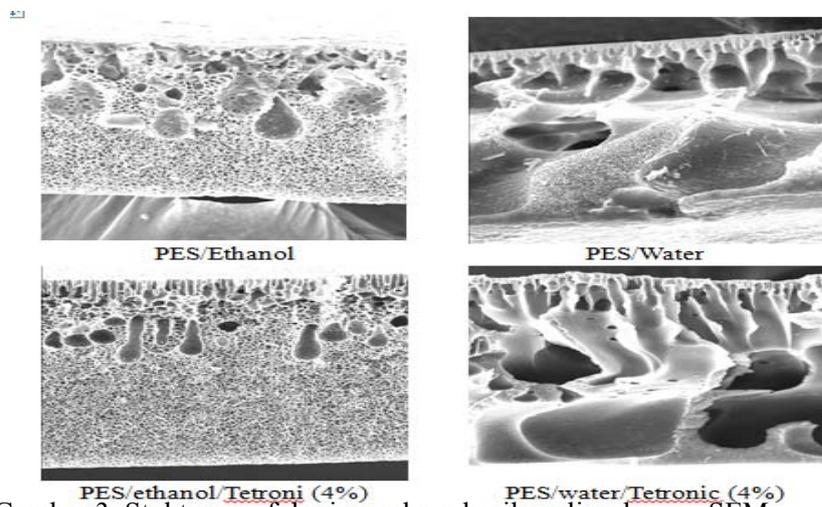
Penambahan surfaktan Tetronic kedalam larutan polimer menyebabkan proses pemisahan fasa sistem dapat berlangsung lebih cepat. Jumlah non-pelarut air yang diperlukan untuk tercapainya kondisi *cloud point* menjadi lebih sedikit. Pada penambahan Tetronic maksimum yaitu 4%, dibutuhkan non-pelarut air sebanyak 2,3 gram. Tetronic merupakan sejenis polimer aditiv (*polymeric additives*) yang dapat mempengaruhi komposisi polimer utama yang dalam hal ini adalah polietersulfon. Total komposisi polimer jadi bertambah yaitu menjadi 19% setelah penambahan 4 % Tetronic kedalam 15% polietersulfon. Peningkatan konsentrasi total polimer ini menyebabkan terjadinya perubahan tingkat kekentalan larutan polimer, sehingga berpengaruh kepada pengurangan jumlah non-pelarut yang dibutuhkan untuk terjadinya proses solidifikasi membran. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada system larutan PES/Tetronic/NMP/air. Penambahan aditiv tetronic menyebabkan jumlah non-pelarut etanol yang dibutuhkan menjadi berkurang. Secara keseluruhan, jumlah non-pelarut yang dibutuhkan untuk system ini jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan system PES/Tetronic/NMP/air.



Gambar 1. Kebutuhan non-pelarut air untuk tercapainya kondisi *cloud point*



Gambar 2. Kebutuhan non-pelarut etanol untuk tercapainya kondisi *cloud point*



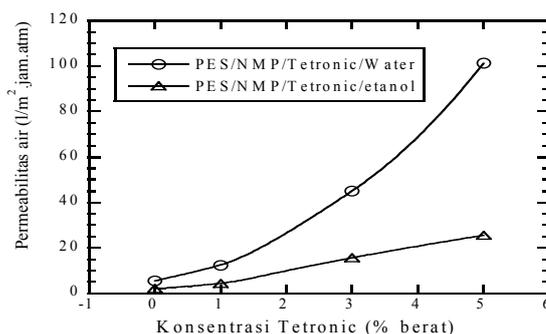
Gambar 3. Struktur morfologi membran hasil analisa dengan SEM

Struktur morfologi membran

Penambahan Tetronic kedalam system polimer menyebabkan perubahan struktur morfologi kedua jenis membran. Jumlah dan ukuran pori pada bagian permukaan atas membran PES/Tetronic/NMP/etanol meningkat setelah penambahan tetronic (Gambar 3; bagian kiri). Demikian juga untuk membran PES/Tetronic/NMP/air, jumlah pori yang terbentuk pada lapisan permukaan atas membran meningkat drastis (Gambar 3; bagian kanan). Perubahan struktur morfologi membran setelah penambahan Tetronic ini disebabkan karena sebahagian partikel aditiv keluar meninggalkan larutan polimer pada saat proses koagulasi membran. Partikel aditiv meninggalkan system polimer, selanjutnya terjadi difusi partikel non-pelarut system, sehingga terbuka pori yang lebih banyak.

Permeabilitas air

Profil kinerja filtrasi kedua jenis membran dengan komposisi polimer yang berbeda diperlihatkan pada Gambar 4. Permeabilitas air pada system tanpa penambahan Tetronic berada pada angka 1,6 dan 5,8 l/m².hr.atm untuk system PES/NMP/etanol, dan PES/NMP/air. Penambahan Tetronic kedalam kedua system ini menyebabkan permeabilitas air menjadi lebih besar. Peningkatan permeabilitas air untuk system PES/Tetronic/NMP/air lebih signifikan dibandingkan dengan system PES/Tetronic/NMP/etanol. Hal ini dapat dipahami dari struktur morfologi membran yang dipaparkan pada Gambar 3. Peningkatan jumlah dan ukuran pori pada membran PES/Tetronic/NMP/air lebih besar dari pada membran PES/Tetronic/NMP/etanol. Sehingga jumlah partikel air yang dapat lolos pada system PES/Tetronic/NMP/air menjadi lebih besar.



Gambar 4. Profil permeabilitas air pada kedua jenis membran.

KESIMPULAN

Pengujian pengaruh jenis non-pelarut yang digunakan untuk proses solidifikasi larutan polimer telah dilakukan dengan menguji cloud point kedua system polimer. Proses pemisahan fasa larutan polimer lebih cepat tercapai dengan menggunakan non-pelarut air dibandingkan dengan jenis non-pelarut etanol. Penambahan surfaktan Tetronic kedalam larutan polimer menyebabkan perubahan struktur morfologi membran pada kedua system PES/Tetronic/NMP/Air dan PES/Tetronic/NMP/etanol. Permeabilitas air dapat meningkat dengan penambahan Tetronic pada larutan polimer.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A.L., Abdulkarim, A.A., Ooi, B.S., Ismail, S., 2013, Recent development in additives modifications of polyethersulfone membran for flux enhancement, *Chemical Engineering Journal*, v. 223, h. 246–267
- Arahman, N. 2012, Konsep dasar proses pembuatan membran berpori dengan metode *Non-solvent induced phase separation* - Penentuan titik beku larutan polimer dan diagram tiga fasa, *Journal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, v. 8, n. 2, h. 68-75.
- Kumar, M., and Ulbricht, M., 2014, Low Fouling Negatively Charged Hybrid Ultrafiltration Membranes for Protein Separation from Sulfonated Poly(Arylene Ether Sulfone) Block Copolymer and Functionalized Multiwalled Carbon Nanotubes. *Separation and Purification Technology*, v.27, h.181–191.
- Lang, W-Z., Shen, J-P., Wei, Y-T., Wu, Q-Y., Wang, J., Guo, Y-J., 2013, Precipitation, Kinetics, Morphologies, And Properties Of Poly(Vinyl Butyral) Hollow Fiber Ultrafiltration Membranes with Respect to Polyvinylpyrrolidone Molecular Weight. *Chemical Engineering Journal*, v. 225, h. 25–33.
- Rahimpour, A., Madaeni, S. S., Jahanshahi, M., Mansourpanah, Y., Mortazavian, N., 2009, “Development of high performance nano-porous polyethersulfone ultrafiltration membranes with hydrophilic surface and superior antifouling properties,” *Appl. Surf. Sci.*, 255, 9166–9173.
- Razi, F., Sawada, I., Ohmukai, Y., Maruyama, T., Matsuyama, H., 2012, The Improvement of Antibiofouling Efficiency of Polyethersulfone Membrane by Functionalization with Zwitterionic Monomers. *Journal of Membrane Science*, v.401– 402, h. 292– 299.

SEGMENTASI PELANGGAN PLN MENGGUNAKAN FUZZY KLUSTERING SHORT TIME SERIES

Maria Titah Jatipaningrum¹

¹Jurusan Matematika, Fakultas Sains Terapan, IST AKPRIND Yogyakarta
e-mail :¹titah.jp@gmail.com

ABSTRACT

Clustering is a descriptive statistical technique that helps in determining the central points, is the most fundamental concepts to determine the pattern of the data in the segmentation data. The advantages of fuzzy clustering gives a fuzzy clustering partition data, stronger, broader, and more realistic than crisp partition. In this research, conducted an empirical analysis with fuzzy clustering method with short time series distance. The reason behind it, because of capturing time interval information from sample data. Analysis of empirical data is used time series data, customers loads sample Yogyakarta's State Electricity Enterprise.

Keywords: *short time series distance, fuzzy clustering, fuzzy clustering short time series, customers segmentation, loads sample Yogyakarta's State Electricity Enterprise*

PENDAHULUAN

Tenaga listrik tidak dapat disimpan dalam skala besar, karenanya tenaga ini harus disediakan pada saat dibutuhkan. Akibatnya timbul persoalan dalam menghadapi kebutuhan daya listrik yang tidak tetap dari waktu ke waktu, bagaimana mengoperasikan suatu sistem tenaga listrik yang selalu dapat memenuhi permintaan daya pada setiap saat, dengan kualitas baik dan harga yang murah. Apabila daya yang dikirim dari bus-bus pembangkit jauh lebih besar daripada permintaan daya pada bus-bus beban, maka akan timbul persoalan pemborosan energi pada perusahaan listrik, terutama untuk pembangkit termal. Sedangkan apabila daya yang dibangkitkan dan dikirimkan lebih rendah atau tidak memenuhi kebutuhan beban konsumen maka akan terjadi pemadaman lokal pada bus-bus beban, yang akibatnya merugikan pihak konsumen. Oleh karena itu diperlukan penyesuaian antara pembangkitan dengan permintaan daya.

Masalah yang unik dalam operasi sistem adalah bahwa: "Daya yang dibangkitkan atau diproduksi harus selalu sama dengan daya yang dikonsumsi oleh para pemakai tenaga listrik yang secara teknis umumnya dikatakan sebagai beban sistem"[Marsudi,1990]. Realisasinya tidak harus selalu sama, pada kasus-kasus tertentu apabila ada permintaan khusus dari pelanggan, pihak PLN harus dapat mencukupi kebutuhan listrik tak terduga tersebut. Timbul permasalahan bahwa beban masing-masing pengguna jasa listrik berbeda-beda. Beban listrik yang berbeda menyebabkan *overload* sehingga menimbulkan terjadinya pemadaman lokal. Pemadaman lokal menyebabkan efisiensi dan efektifitas kerja menurun. Untuk mengatur kestabilan pasokan listrik pelanggan, diperlukan klustering data berdasarkan pola beban untuk segmentasi pelanggan. Informasi yang diambil dari hasil klustering digunakan pihak PLN untuk pemeriksaan (*inspection*) apabila terdapat keanehan data historical sehingga tindak pencurian listrik dapat terdeteksi, mengetahui tipikal pola beban pelanggan guna menentukan tarif langganan perbulan berdasarkan pemakaian listrik dan masukan bagi tim marketing untuk menganalisis perilaku pelanggan (*Customer Relationships Management*). Untuk melakukan analisis time series, didefinisikan ukuran relevan dari jarak antara time series dalam kumpulan data. Ukuran yang digunakan dalam analisis time series pada kasus ini adalah ukuran jarak (*distance*) short time series. Kemudian digabungkan dengan prosedur FCM dan lebih dikenal dengan Fuzzy Short Time series (FSTS) yang dikembangkan oleh [Levet et al, 2003] dikenal juga sebagai modifikasi jarak euclidean yang digunakan dalam FCM.

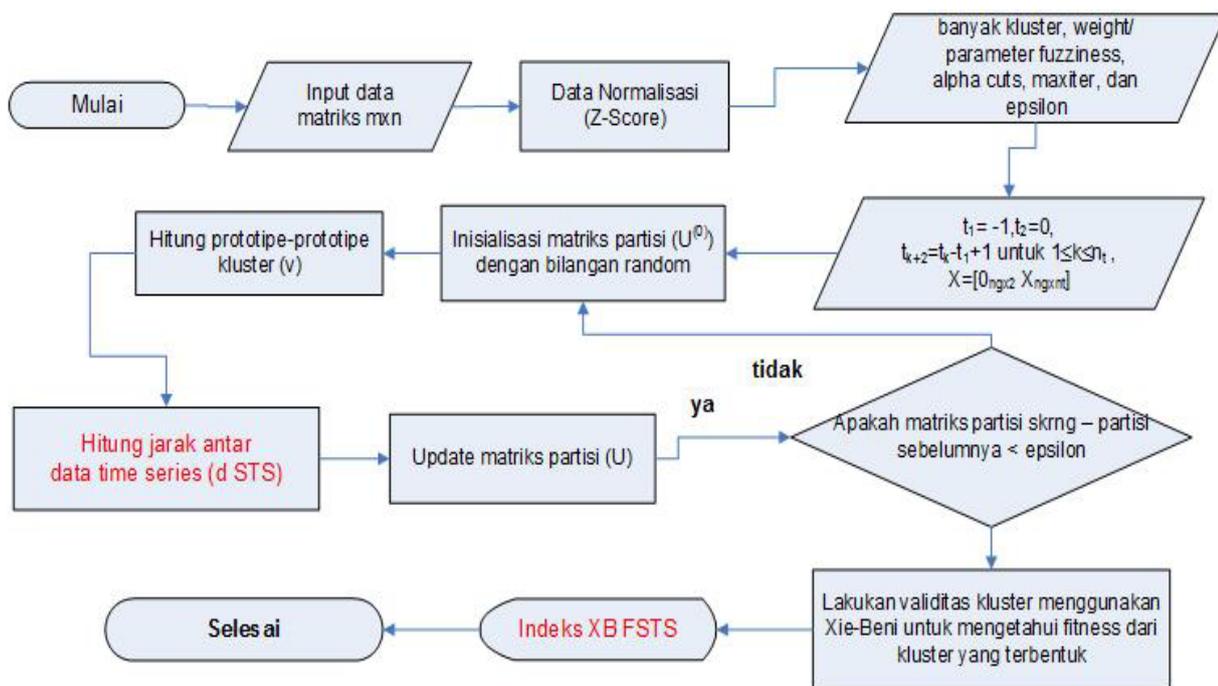
Dari uraian latar belakang permasalahan diatas, secara umum permasalahan yang dibahas adalah bagaimana mendapatkan fuzzy klustering short time series yang optimal dengan tingkat validitas tinggi. Penelitian yang dilakukan dalam rangka menjawab pertanyaan berikut: Bagaimana langkah-langkah pengklusteran data short time series menggunakan FSTS untuk menghasilkan tingkat validitas pengklusteran yang lebih baik. Penerapan algoritma fuzzy short time series dalam berbagai aplikasi dalam *soft-computing fuzzy* telah banyak pula menjadi perhatian banyak peneliti, antara lain

dapat dilihat pada Moller-Levet (2003) diterapkan pada data gen (*microarray*). Referensi yang berkaitan dengan konsep dan bentuk dari model fuzzy klustering secara umum dapat ditemukan di Sato-Ilic (2006), Olievera (2007), Miyamoto dkk (2008).

Penentuan validitas pengklusteran menggunakan indeks Xie-Beni, ditemukan oleh Xie-Beni (1991). Program yang digunakan untuk aplikasi FC-STTS adalah MATLAB. Kode matlab untuk jarak STS diperoleh dari www.sbi.uni-rostock.de/ yang diunduh tanggal 4 Oktober 2011, dimodifikasi dengan code matlab FCM kemudian dihasilkan FC-STTS yang ditampilkan dalam GUI Matlab beserta nilai indeks Xie-Beni terkait kluster yang terbentuk.

METODE PENELITIAN

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

PEMBAHASAN

Prosedur Fuzzy Clustering Short Time Series

Ringkasan prosedur FC-STTS seperti yang diuraikan di atas adalah sebagai berikut dan dapat dilihat pula flowchart yang ditampilkan pada Gambar 1 untuk membantu pembentukan prosedur FC-STTS (Hussain, 2011):

Langkah 1: Inisialisasi

n_g = banyaknya sampel loads/ beban pelanggan = 15

n_t = banyaknya titik waktu = 50 *time points*

X = matriks load profile $[n_g \times n_t] = [15 \times 50]$

n_c = banyaknya kluster dimulai dari 2 sampai 4

w = bobot/ *weight fuzziness*, $w = 1,6$

α = alpha cuts, $\alpha = 0,3$

ϵ = epsilon, digunakan nilai $\epsilon = 0,0001$

Langkah 2: Penambahan dua titik waktu tetap dan fuzzifikasi

$t_1 = -1$

$$t_2 = 0$$

$$t_{k+2} = t_k - t_1 + 1, \text{ untuk } 1 \leq k \leq n_t$$

$$X_{[n_g \times (n_t+2)]} = \begin{bmatrix} 0_{[n_g \times 2]} & X_{[n_g \times n_t]} \end{bmatrix}$$

Langkah 3: Inisialisasi matriks partisi awal

Inisialisasi matriks awal yang dibangkitkan dengan bilangan random $U^{(0)} [n_c \times n_g]$

Langkah 4: ulangi untuk $l = 1, 2, \dots$

Perhitungan jarak short time series atau dSTS menggunakan persamaan

$$d_{STS}^2(x, v) = \sum_{k=0}^{n_t-1} \left(\frac{v_{(k+1)} - v_k}{t_{(k+1)} - t_k} - \frac{x_{(k+1)} - x_k}{t_{(k+1)} - t_k} \right)^2 \dots\dots (1)$$

dengan $1 \leq i \leq n_c$ dan $3 \leq n \leq n_t$. Perhitungan prototipe kluster: $v(i,1)^{(l)} = 0$ dan $v(i,2)^{(l)} = 0$ untuk perhitungan $v(i,n)^{(l)}$ digunakan persamaan

$$v(i,n) = \sum_{r=2}^{n-3} \left[m_{ir} \prod_{q=1}^{r-1} c_q \left(\prod_{q=r+1}^{n-1} a_q + \prod_{q=r+1}^{n-1} c_q + \sum_{p=r+3}^n \prod_{j=p-1}^{n-1} c_j \prod_{j=r+1}^{p-2} a_j \right) / \prod_{q=2}^{n-1} c_q \right] + \dots\dots\dots (2)$$

$$\left[m_{i(n-1)} \prod_{q=1}^{n-2} c_q + m_{i(n-2)} \prod_{q=1}^{n-3} c_q (a_{(n-1)} + c_{(n-1)}) \right] / \prod_{q=2}^{n-1} c_q$$

,dengan untuk $1 \leq i \leq n_c$ dan $3 \leq n \leq n_t$

Update matriks partisi menggunakan persamaan

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{q=1}^{n_c} \left(\frac{d_{STS}(x_i, v_j)}{d_{STS}(x_i, v_q)} \right)^{\frac{1}{w-1}}} \dots\dots\dots (3)$$

jika $d_{STS_{ij}}^2 > 0$ untuk $1 \leq i \leq n_c$ dan $3 \leq n \leq n_t$, sebaliknya $u_{ij}^{(l)} = 0$ jika $d_{STS_{ij}}^2 > 0$ dan $u_{ij}^{(l)} \in [0,1]$

dengan $\sum_{i=1}^{n_c} u_{ij}^{(l)} = 1$ sampai $U^{(l)} - U^{(l-1)} < \epsilon$

Langkah 5: Perhitungan indeks Xie-Beni untuk mengetahui performansi hasil klustering terbaik, dengan menggunakan persamaan

$$XB(c) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (u_{ik})^w d_{ik}^2(x_k, v_i)}{N \min_{i,j} \|v_i - v_j\|^2} \dots\dots\dots (4)$$

dan dipilih indeks yang paling minimum dan terbaik, diantara kluster yang terbentuk.

Pada pembahasan ini akan diujikan data Fuzzy Short Time Series yang terdiri dari:

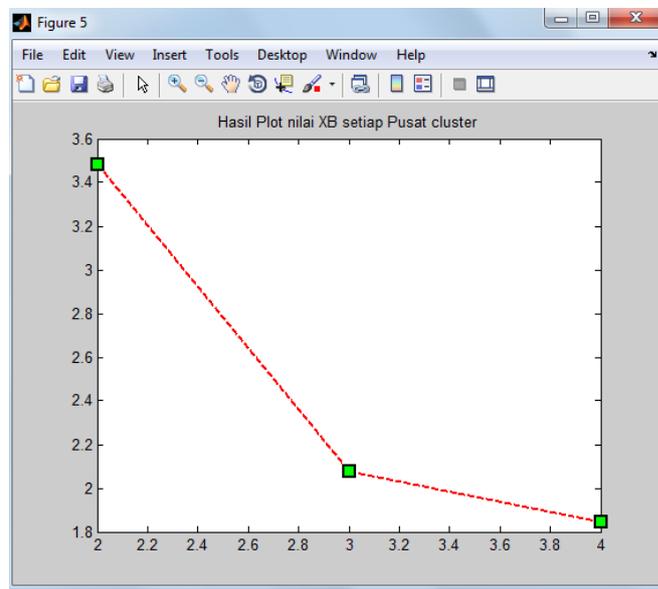
1. Pengujian pada data STS dengan ukuran 15x50 dengan alpha cuts yang berbeda-beda yakni: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, dan 0,6 untuk mengetahui jumlah pusat kluster yang optimal dengan melihat nilai indeks XB yang terkecil.
2. Pengujian pada jumlah kluster yang optimal untuk mengidentifikasi pola (*pattern*) data yang terdistribusi untuk setiap kluster.

Hasil pengujian pada data STS dengan ukuran 15x50 dengan alpha cuts yang berbeda-beda yakni: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, dan 0,6. Jumlah kluster yang diujikan secara iteratif pada 2, 3, 4, sedangkan variabel fuzzy 1.6 dan kriteria stopping dengan epsilon 0.0001 dan maksimum iterasi 50 sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil FSTS pada setiap alpha cut yang berbeda

Nilai alpha cuts	Nilai indeks XB setiap jumlah kluster		
	2	3	4
0,1	3,2594	2,0765	1,8466
0,2	3,2175	2,0764	1,8526
0.3	3,4833	2.0764	1.8466
0.4	3,4657	2.0764	1.8466
0.5	3,6338	2.0765	1.8466
0.6	3,2020	2.0764	1.8466

Berdasarkan Tabel1 terlihat bahwa nilai indeks XB cenderung menurun dengan bertambahnya jumlah kluster yang didefinisikan. Nilai indeks XB yang terbaik adalah pada jumlah kluster 4. Grafik nilai XB pada setiap nilai alpha cuts ditunjukkan pada Gambar 2. Selanjutnya ditinjau berdasarkan nilai alpha cuts yang berbeda-beda, pada setiap jumlah klustering cenderung tidak berubah atau konstan.



Gambar 2.Grafik nilai indeks XB

Hasil pengujian selanjutnya adalah menggunakan data STS yang sama dengan ukuran 15x50. Berdasarkan nilai alpha cuts yang berbeda-beda yakni: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, dan 0,6. Jumlah kluster yang diujikan diambil dari kluster dengan nilai indeks XB terbaik dalam hal ini terkecil. Variabel lainnya adalah variabel fuzzy 1,6 dan kriteria stopping dengan epsilon 0.0001 dan maksimum iterasi 50, sebagai berikut:

Berdasarkan Tabel 2 pada setiap nilai alpha cuts yang berbeda, menghasilkan nilai indeks XB terbaik pada jumlah kluster yang sama. Setelah diuji jumlah kluster terbaik menghasilkan pola data yang bervariasi. Jumlah data yang semula 15 loads time series setelah dilakukan fuzzy klustering menghasilkan pola data yang berbeda dari data awal.

Tabel 2. Hasil FSTS pada indeks XB terbaik

Nilai alpha cuts	Jumlah kluster terbaik	Indeks XB terbaik	Banyak data yang terkluster	Data yang hilang	Data yang <i>overlapping</i>
0,1	4	1,8466	15	0	12
0,2	4	1,8526	15	0	6
0,3	4	1.8466	15	0	1
0,4	4	1.8466	14	1	1
0,5	4	1.8466	12	3	0
0,6	4	1.8526	12	3	0

Data yang hilang disebabkan oleh pembangkitan bilangan random untuk menghasilkan derajat keanggotaan fuzzy setiap data dan pemilihan alpha cuts. Derajat bilangan fuzzy (*degree of membership*) dengan jangkauan antara 0 sampai 1 akan dipotong dengan menggunakan alpha cuts. Pola-pola data yang derajat keanggotaan yang lebih kecil alpha cuts dipotong sebagai data yang hilang. Sedangkan pola data yang muncul, lebih dari satu kluster (*overlapping*), karena nilai derajat keanggotaan lebih besar dari alpha cuts.

Pada Tabel 3 ditunjukkan pola data pada setiap kluster. Data yang digunakan sama dengan data pada Tabel 4.2 dengan nilai potongan alpha 0.3 dihasilkan pola data sebagai berikut :

1. Pada kluster 1 berisi data 2, 8, 9, 10, 12 (rsud panembahan, pasar niten, pengadilan tinggi Yogyakarta, RRI Yogyakarta, Sindunegaran)
2. Pada kluster 2 berisi data 1,4,5,7,11, 12,13,15 (BNI 1946, arcade, id gar, palace, sahid, Sindunegaran, teknik UNY, duta wacana)
3. Pada kluster 3 berisi data 6 (inter)
4. Pada kluster 4 berisi data 3, 14 (Aquila, ternas)

Tidak ada data yang hilang pada proses FSTS pembentukan 4 kluster pada data sampel PLN. Data yang mengalami *overlapping* adalah data 12 (sindunegaran) pada kluster 1 dan 2, dapat diartikan bahwa data 12 bisa masuk kategori pelanggan kluster 1 atau kluster 2.

Tabel 3. Pola Sebaran Data Hasil Bentuk 4 Kluster

DataClust =							
Columns 1 through 8							
2	8	9	10	12	0	0	0
1	4	5	7	11	12	13	15
6	0	0	0	0	0	0	0
3	14	0	0	0	0	0	0

KESIMPULAN

Dari hasil penulisan yang telah dikemukakan sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pengklusteran data 15 ID loads pelanggan PLN menggunakan FC-STC dihasilkan 4 kluster, pada kluster 1 berisi data 2, 8, 9, 10, 12 (rsud panembahan, pasar niten, pengadilan tinggi Yogyakarta, RRI Yogyakarta, Sindunegaran); pada kluster 2 berisi data 1,4,5,7,11, 12,13,15 (BNI 1946, arcade, id gar, palace, sahid, Sindunegaran, teknik UNY, duta wacana); pada kluster 3 berisi data 6 (inter) ; pada kluster 4 berisi data 3, 14 (Aquila, ternas).
2. Tidak ada data yang hilang pada proses FC-STC pembentukan 4 kluster pada data sampel PLN. Data yang mengalami *overlapping* adalah data 12 (sindunegaran) pada kluster 1 dan 2, dapat diartikan bahwa data 12 bisa masuk kategori pelanggan kluster 1 atau kluster 2.
3. Nilai validitas indeks Xie-Beni untuk data di atas dengan terbentuknya 4 kluster, yaitu: 1.8466. Nilai ini dipilih dari hasil masing-masing pembentukan kluster dari 2 sampai dengan 4 yang paling minimum dan yang terbaik.
4. Pemilihan alpha cuts 0,3 yang digunakan dalam penelitian ini, dengan pertimbangan diperoleh kluster yang paling optimal (tidak ada data yang hilang dan data yang *overlapping* hanya satu).

DAFTAR PUSTAKA

- Hussain, Sadiq (2011), A Fuzzy Approach for Clustering Gene Expression Time Series Data, *International Journal Computer Science and Information Technology (IJCSIT) Vol 3, No 4*, Dibrugarh University.
- Levet, Moller, Carla., Klawonn, Frank., (2003), *Clustering of Unevenly Sampled Gene Expression Time-Series Data*, UMIST, Manchester, U.K, code matlab (diunduh tanggal 04 Oktober 2011)
- Marsudi, Djiteng (1990). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Balai Penerbit dan HUMAS ISTN.
- Miyamoto, Sadaaki., Ichihashi, Hidetomo., Honda, Katsuhiro (2008) *Algorithms for Fuzzy Clustering Methods in c-Means Clustering with Applications*, Studies in Fuzziness and Soft Computing, Volume 229 Springer.
- Oliveira, Jose Valente de., Pedrycz, Witold.,(2007). *Advances in Fuzzy Clustering and Its Applications*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- Sato-Ilic,Mika., Jain, Lakhmi C. (2006) *Innovations in Fuzzy Clustering Theory and Applications* Studies in Fuzziness and Soft Computing Vol. 205. Springer ISBN 3-540-34356-3.
- Xie, Xuanli Lisa., Beni, Gerardo., (1991), A Validity Measure for Fuzzy Clustering, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(8): 841-847, University of California, Santa Barbara.

VISUALISASI GRAF DAN ALGORITMA-ALGORITMA DALAM TEORI GRAF MENGUNAKAN BEBERAPA PAKET SOFTWARE

Yudi Setyawan¹

¹Jurusan Matematika Fakultas Sains Terapan IST AKPRIND YOGYAKARTA
e-mail : ¹yudista2003@yahoo.com

ABSTRACT

Graph theory is a branch of mathematics frequently used to solve real problems because they can be understood, formulated and solved easier when stated as graph forms. The development of graph theory is done by scientist from diverse area along with their needs. As a result, there are new terminologies and concepts where they often use different terms for the same meaning and vice versa. Basically problems in graph theory relate to the existence of a certain property or extreme value of a graph. Graph properties are easier to study if it is drawn or visualized. To find extreme values of a graph, usually one makes use of a certain algorithm and both of them mostly are not easy to do. This research serves the use of softwares to visualize graphs and generate algorithms related to graph theory. Open source or shareware softwares such as Graph Magics, Gephi dan Graphviz are used. Research concludes that those softwares are very useful to visualize graphs and generate graph algorithms as well and noted that each of them has advantages and disadvantages. Graph Magics can be used to draw and edit graphs easily and it is equipped with various algorithms. Gephi is a suitable software to visualize big graphs fast and its results are nice and beautiful. Graphviz can be used to visualize various graphs, however the understanding of programming is required.

Keywords: *graph visualization and algorithm, Graph Magics, Gephi, Graphviz*

PENDAHULUAN

Teori graf merupakan cabang ilmu yang relatif baru, karena baru mulai dikembangkan pada awal abad ke delapan belas. Namun demikian, perkembangan cabang ilmu ini sangat pesat. Hal ini disebabkan oleh manfaat teori graf yang sangat luas, dapat dikatakan bahwa semua cabang ilmu lain dapat memanfaatkannya. Bidang kedokteran dan biologi, teori graf dapat digunakan untuk menjelaskan pola kode genetika makhluk hidup (Seffens, W., 2002). Di bidang elektronika dan komputer, graf banyak sekali dimanfaatkan seperti untuk pengembangan jaringan berjalan (*mobile ad-hoc networks-MANETs*). Konsep-konsep graf seperti ketersambungan (*connectivity*), kesebandingan (*scalability*), penentuan jalur dan topologi (*routing and topology*) banyak dimanfaatkan untuk pengembangan jaringan *mobile ad hoc* yang ekonomis dan tangguh (M. A. Rajan et al., 2008 dan Shrinivas, S., G. et. al., 2010). Konsep tentang struktur pohon (*tree*) dalam graf sering digunakan dalam analisis data biologi dan arkeologi guna merepresentasikan pembagian satu spesies menjadi dua atau lebih spesies, atau pemecahan satu artefak menjadi beberapa artefak. Dalam bidang manajemen, masalah penjadwalan skala besar juga dapat diselesaikan secara lebih mudah dengan graf.

Di lain pihak, teori graf berkembang melalui pendefinisian konsep-konsep baru yang diturunkan berdasarkan konsep-konsep yang sudah ada serta kebutuhan praktis sehingga keterkaitan antar konsep-konsep tersebut semakin kompleks dan muncullah teorema-teorema. Beberapa teorema mungkin dapat dibuktikan dengan cara sederhana, namun banyak juga teorema yang pembuktiannya memerlukan algoritma tertentu yang seringkali tidak mudah dipahami, apalagi oleh pengguna berlatar belakang matematika kurang kuat. Melalui visualisasi dengan software komputer, pemahaman konsep dan algoritma teori graf dapat menjadi lebih mudah.

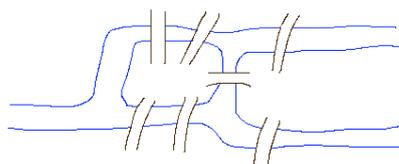
Mengingat pentingnya teori graf bagi bidang ilmu lain, maka sudah seharusnya pemahaman tentang konsep-konsep dan algoritma-algoritma dalam teori graf dibuat lebih mudah dan praktis. Masalah ini dapat diatasi dengan penyediaan software komputer atau paket program yang sesuai dengan kebutuhannya. Meskipun terdapat banyak software komputer yang bersifat umum seperti Matlab, Maple (Ebrahimi, M.A. et al., 2006), yang dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan dalam teori graf, hal ini kurang praktis dan memerlukan biaya karena software tersebut

bersifat *proprietary*. Oleh karena itu perlu dicari software berukuran kecil, bersifat *open source* atau *shareware* namun sesuai dengan kebutuhan. Beberapa software *open source* khusus untuk teori graf dapat ditemukan dengan mudah di internet seperti *Graph Magics*, *Graphviz*, *Gephi*, *GraphTea*, *Graphalg*, *Gograph*, *Connectivity* dan sebagainya, sedangkan software *open source* umum yang dapat digunakan adalah seperti *Scilab* dan *Maxima*. Beberapa software teori graf tersebut dapat dimanfaatkan untuk mempermudah pemahaman konsep-konsep teori graf, menggambarkan/memvisualisasikan sebuah graf, menentukan sifat-sifat graf, maupun melakukan algoritma-algoritma dalam teori graf.

Berdasarkan alasan tersebut, dipilih beberapa software komputer yang cocok digunakan untuk membantu pemahaman konsep dan algoritma dalam teori graf dan selanjutnya dikaji pemanfaatannya untuk membantu menyelesaikan beberapa permasalahan dalam teori graf terutama yang berkaitan dengan visualisasi dan algoritma graf. Dengan demikian diharapkan penyampaian pemahaman konsep dan algoritma dalam teori graf dapat dilakukan dengan lebih mudah melalui pemberian contoh-contoh nyata. Selain itu, software tersebut dapat dimanfaatkan untuk membantu penyelesaian permasalahan nyata yang sering dihadapi sehingga dapat memberikan kontribusi nyata dalam pembelajaran dan penelitian teori graf serta lebih memperkenalkan software-software yang dapat digunakan dalam pembelajaran dan penelitian teori graf.

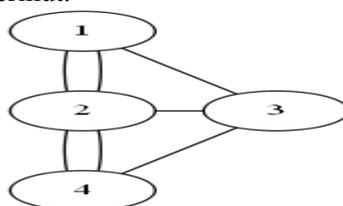
PEMBAHASAN

Graf terdiri atas himpunan simpul V dan himpunan sisi E dengan setiap sisi memiliki ujung-ujung yang berupa simpul. Graf dapat digunakan untuk merepresentasikan berbagai macam sistem nyata, dengan simpul menyatakan unsur dalam sistem tersebut dan unsur-unsur yang saling berhubungan digambarkan dengan adanya sisi yang menghubungkan unsur-unsur itu. Dalam sejarahnya, graf digunakan oleh Euler untuk memecahkan masalah jembatan Königsberg. Masalah jembatan Königsberg merupakan teka-teki yakni dari salah satu tempat tertentu apakah kita dapat berjalan dengan melalui ke tujuh jembatan itu masing-masing tepat satu kali.



Gambar 1. Jembatan Königsberg

Banyak orang sudah mencoba melakukannya dengan berbagai cara namun tidak ada yang berhasil. Hal ini menarik Leonard Euler untuk memecahkan masalah tersebut dengan menggunakan konsep yang sekarang dikenal sebagai teori graf. Jika setiap tempat diwakili oleh simpul dan setiap jembatan diwakili oleh sisi, maka masalah tersebut dapat digambarkan sebagai graf dengan empat simpul dan tujuh sisi seperti Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Representasi masalah jembatan Königsberg sebagai graf

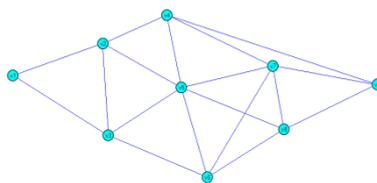
Dalam representasi graf dari masalah jembatan Königsberg ternyata keempat simpul tersebut semuanya memiliki derajat ganjil. Dengan latar belakang matematika yang dimilikinya, Euler membuktikan bahwa kita tidak mungkin pergi dari suatu simpul tertentu dengan melalui ke tujuh sisi dari graf itu masing-masing tepat satu kali dan kembali ke simpul awal. Euler membuktikan bahwa ini dilakukan jika sebanyak-banyaknya ada dua simpul dengan derajat ganjil, yakni simpul awal dan simpul akhir. Dalam perkembangan teori graf, konsep ini dikenal dengan trail Euler (*Eulerian trail*).

Sebagai cabang matematika terapan yang banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah nyata dalam berbagai bidang, konsep-konsep dalam teori graf biasanya muncul sesuai dengan kebutuhan dan kenyataan yang terjadi pada bidang tersebut. Seiring perkembangan kebutuhan masing-masing bidang ilmu, dikembangkan konsep-konsep atau istilah baru. Hal pertama yang perlu diperhatikan adalah masalah pendefinisian dari konsep-konsep tersebut karena definisi yang tepat dapat menjelaskan secara lebih dalam tentang apa yang dimaksudkannya. Hal ini perlu ditekankan karena di lapangan sering ditemukan dua istilah berbeda untuk menyatakan satu konsep. Istilah yang paling pokok dalam graf yakni *vertex* dan *edge*. Beberapa padanan atau terjemahan yang sering digunakan untuk vertex adalah *node* yang biasa diterjemahkan menjadi simpul, titik, atau tujung. Sedangkan edge sering disebut dengan *arc* dan diterjemahkan sebagai sisi, tepi, atau garis.

Graf $G = G(V,E) = G(V(G),E(G))$ adalah sistem yang terdiri atas himpunan simpul $V = V(G)$ dan himpunan sisi $E=E(G)$, dengan $E \subseteq V \times V$. Graf dibedakan menjadi graf tak berarah dan graf berarah. Dalam graf tak berarah, sisi $e=(v_i,v_j)$ dapat ditulis secara singkat dengan $e=v_i v_j$ saja. Dalam pembahasan ini seluruh graf diasumsikan tak berarah, kecuali apabila dinyatakan khusus. Dua buah simpul v_i dan v_j dikatakan adjacent (bertetangga) jika $v_i v_j = e \in E$. Dalam hal ini dikatakan bahwa e berinsiden dengan v_i dan v_j . Untuk suatu $v \in V$, himpunan tetangga v didefinisikan dengan $N(v) = \{w \in V : vw \in E\}$ dan derajat v didefinisikan dengan $d(v) = |N(v)|$. Maksimum dan minimum derajat simpul-simpul dalam G berturut-turut disimbolkan dengan $\Delta(G)$ dan $\delta(G)$. Graf G disebut regular dengan derajat r atau dikatakan r -regular jika $\Delta(G) = \delta(G) = r$. Graf H disebut subgraf dari graf G jika $V(H) \subseteq V(G)$ dan $E(H) \subseteq E(G)$. Graf $F = F(V_2, E_2)$ disebut *induced subgraph* (subgraf yang dibangkitkan oleh) $G = G(V, E)$ jika $V_2 \subseteq V$ dan memenuhi: $\forall v_1, v_2 \in V_2, v_1 v_2 \in E \Rightarrow v_1 v_2 \in E_2$. Dalam suatu graf $G = G(V, E)$ selalu berlaku *handshaking lemma* yakni $\sum_{v \in V} d(v) = 2|E|$. Akibatnya jumlah semua derajat dari simpul-simpulnya selalu genap. Jadi banyak simpul berderajat ganjil juga selalu genap. Lebih lanjut lagi, jika G regular dan $|V| = n$, maka $|E| = nr/2$. Graf G disebut lengkap jika setiap simpul selalu adjacent dengan simpul-simpul lainnya, sehingga jumlah sisi dari graf lengkap berukuran n adalah $n(n-1)/2$. Graf $G = G(V, E)$ disebut bipartit jika V dapat dipartisi menjadi dua himpunan tak kosong dan saling asing V_1 dan V_2 sedemikian hingga setiap sisi e dari G dapat dinyatakan dengan $e = v_1 v_2$ dengan $v_1 \in V_1$ dan $v_2 \in V_2$. Dalam hal ini V_1 dan V_2 disebut partisi dari V . Jika dalam graf bipartit G setiap simpul dalam suatu partisi adjacent dengan setiap simpul dalam partisi lainnya maka G disebut bipartit lengkap dan disimbolkan dengan $K_{m,n}$, dimana m dan n berturut-turut adalah banyak anggota dari V_1 dan V_2 . Jika sisi-sisi dari graf diberikan bobot maka disebut graf berbobot. Pada prakteknya bobot dapat mewakili jarak atau waktu tempuh dari kedua simpul.

Graf $G(V,E)$, *walk* atau langkah merupakan pasangan berurutan yang berselang-seling antara simpul-simpul v di V dan sisi-sisi e di E , yang dimulai dan diakhiri dengan simpul, dimana setiap sisi berinsiden dengan simpul-simpul di depan dan dibelakangnya dan simpul serta sisi boleh muncul lebih dari satu kali. Apabila dalam suatu walk tidak ada sisi yang muncul lebih dari dua kali, maka walk itu disebut *trail* atau jejak. Suatu trail yang simpul awalnya sama dengan simpul akhir disebut sirkuit atau *tour* atau kalang. Suatu trail yang memiliki semua simpul berbeda disebut *path* atau lintasan. Suatu kalang yang semua simpulnya berbeda kecuali simpul awal dan simpul akhirnya disebut *cycle* atau daur. Suatu trail yang melewati seluruh sisi dalam graf G tepat satu kali disebut trail Euler. Lintasan Hamilton adalah lintasan dalam graf G yang melalui semua simpul dari G . Menentukan eksistensi dari trail Euler dan lintasan Hamilton dari graf G merupakan suatu hal yang menarik. Dalam graf yang sederhana (tidak berarah, tanpa loop dan tidak *multiple edges*), hanya ada satu sisi yang menghubungkan dua simpul yang berinsiden. Karena itu, untuk menyatakan suatu langkah, trail, sirkuit, lintasan, atau daur, hanya perlu dituliskan simpul-simpul yang dilewatinya secara terurut. Graf G dikatakan tersambung (*connected*) jika untuk setiap pasang simpul v dan w dari $V(G)$ terdapat lintasan yang ujung-ujungnya adalah simpul v dan w . Jika tidak demikian, maka G disebut tak tersambung. Suatu graf tak tersambung terdiri dari beberapa graf tersambung maksimal yang disebut komponen. Suatu graf tersambung dan tidak memiliki daur disebut pohon (*tree*).

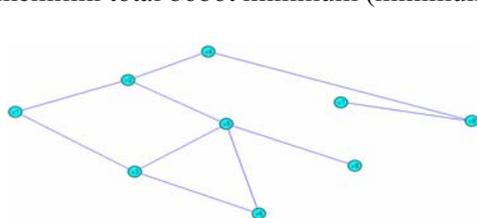
Berikut ini adalah contoh dari Walk, trail, sirkuit, path, dan cycle dalam graf G . Misal G adalah graf seperti di bawah ini:



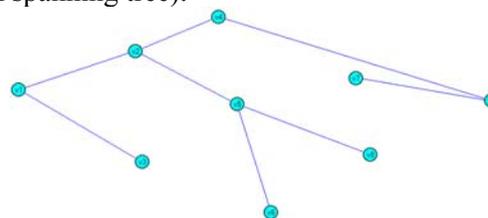
Gambar 3. Graf G terhubung dengan sembilan simpul

Berdasarkan graf G di atas, maka himpunan terurut simpul-simpul $(v_1, v_2, v_4, v_5, v_2, v_5)$ adalah suatu walk. Himpunan terurut simpul-simpul $(v_1, v_2, v_4, v_5, v_2, v_3)$ adalah suatu trail. Himpunan terurut simpul-simpul $(v_1, v_2, v_4, v_5, v_2, v_3, v_1)$ adalah suatu kalang. Himpunan terurut simpul-simpul $(v_1, v_2, v_4, v_5, v_3)$ adalah suatu lintasan. Himpunan terurut simpul-simpul $(v_1, v_2, v_4, v_5, v_3, v_2)$ adalah suatu daur. Himpunan terurut simpul-simpul $(v_7, v_4, v_9, v_7, v_5, v_4, v_2, v_5, v_3, v_2, v_1, v_3, v_6, v_5, v_8, v_7, v_6, v_8, v_9)$ adalah suatu trail Euler. Lintasan $(v_1, v_2, v_4, v_9, v_7, v_8, v_6, v_5, v_3)$ adalah suatu lintasan Hamilton.

Subgraf H dari graf G disebut subgraf penjangkau atau perentang (*spanning subgraph*) jika H memuat semua simpul dari G. Tree atau pohon T disebut pohon penjangkau atau perentang (*spanning tree*) dari graf terhubung G jika T suatu subgraf perentang dari G. Jika G graf terhubung yang terbobot, yakni graf dimana sisi-sisinya diberikan bobot tertentu, maka dapat dicari pohon penjangkau yang memiliki total bobot minimum (*minimum spanning tree*).



Gambar 4. Graf penjangkau dari G



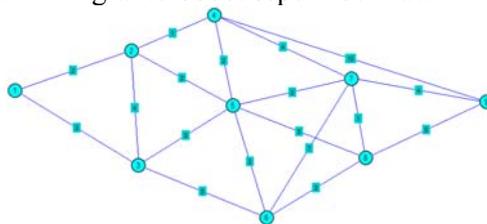
Gambar 5. Pohon penjangkau dari G

Pemanfaatan teori graf di dunia nyata banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan eksistensi, non eksistensi dan ekstremalitas dari yang sederhana sampai yang kompleks dan bersifat terbuka. Beberapa permasalahan yang berkaitan dengan eksistensi misalnya masalah eksistensi trail Euler dan daur Hamilton, pelabelan simpul atau sisi dengan sifat tertentu, dekomposisi dan packing suatu graf tertentu atas daur dan pohon. Masalah ekstremalitas dalam teori graf banyak menarik minat para praktisi karena biasanya berkaitan dengan persoalan optimasi dari permasalahan nyata, misalnya tentang bilangan warna pada bidang, maksimum ukuran graf lengkap dengan bilangan warna p , *matching* (penjodohan) dan himpunan independen maksimum dari suatu graf dan sebagainya. Banyak masalah *open problems* terkait eksistensi dan ekstremalitas dalam teori graf. Dengan demikian penelitian dalam teori graf terus dikembangkan dengan berbagai cara baik analitis maupun numeris dengan bantuan komputer melalui algoritma yang diciptakan. Dalam teori graf dikenal banyak algoritma untuk menjawab permasalahan terkait ekstremalitas atau untuk menunjukkan eksistensi suatu sifat.

Beberapa algoritma yang ditemui dalam teori graf misalnya algoritma Brent (Brent, R.P., 1980) dan Floyd (Knuth, D., E., 1969), untuk menentukan adanya daur dalam graf. Algoritma untuk penjodohan maksimum misalnya algoritma Hopcroft-Karp (Hopcroft, J., E., 1973), dan algoritma Hungaria untuk penjodohan sempurna. Dalam masalah pewarnaan, digunakan coloring algorithm. Untuk menentukan pohon penjangkau minimum dapat digunakan algoritma Boruvka, Kruskal (Kruskal, J., 1956, Proceeding of AMS pp 48-50), Prim atau algoritma balik-hapus (*reverse-delete algorithm*). Untuk masalah jaringan berkapasitas ada algoritma Ford-Fulkerson, Edmons-Karp, Dinic, Karger dan *push-relabel algorithm*. Untuk menemukan lintasan terpendek digunakan algoritma Bellman-Ford, Dijkstra, Floyd-Warshall atau Johnson. Untuk menyelesaikan masalah penjaja keliling (*traveling salesman problem*) tersedia algoritma tetangga terdekat (*nearest neighbor*) dan algoritma Christofides.

Algoritma ini muncul dari masalah praktis untuk menentukan jarak terpendek dari tempat A ke tempat B dimana ada beberapa alternatif ruas jalan yang dapat ditempuh. Masalah ini dapat

direpresentasikan dengan penentuan lintasan terpendek antara dua buah simpul dalam suatu graf terbobot. Sebagai contoh, apabila dimiliki graf terbobot seperti berikut:



Gambar 6 Graf terbobot G dengan 9 simpul

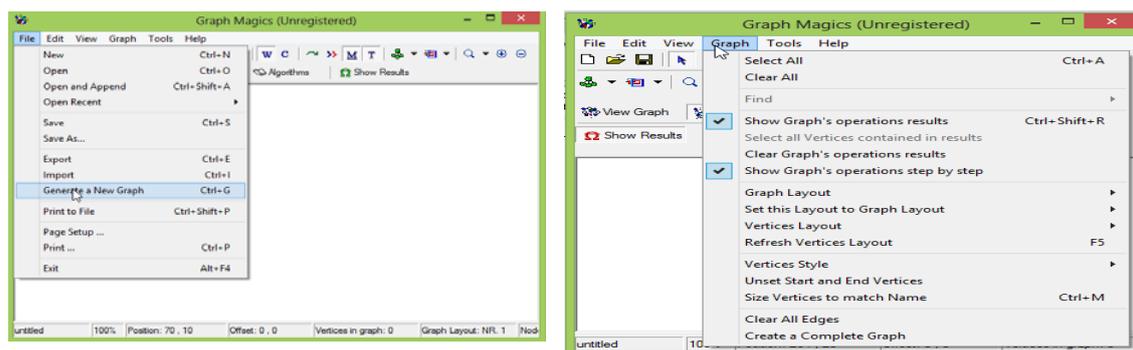
Bagaimana menentukan lintasan terpendek dari simpul 1 ke simpul 9? Untuk itu dapat digunakan beberapa algoritma seperti algoritma Dijkstra. Simpul 1 disebut simpul sumber dan simpul 9 disebut simpul tujuan. Langkahnya adalah:

1. Setel jarak ke simpul sumber sama dengan nol dan jarak ke simpul-simpul lainnya sama dengan tak hingga.
2. Di antara semua simpul yang belum diproses, temukan satu simpul yang memiliki jarak minimum dan namakan sebagai i . Jika i merupakan simpul tujuan, maka jarak minimum/lintasan terpendek simpul sumber ke simpul tujuan sudah ditemukan dan selesai. Jika bukan, maka tandai simpul tersebut dan lanjutkan ke langkah 3. (jika jarak ke semua simpul yang belum diproses sama dengan tak hingga maka tidak ada lintasan dari simpul sumber ke simpul tujuan)
3. Periksa semua simpul j yang belum terproses dan berinsiden dengan simpul i . Jika jarak terpendek ke simpul j lebih besar dari jarak terpendek ke i ditambah bobot sisi antara ke dua simpul tersebut, maka jarak/lintasan terpendek ke j diperbarui dengan nilai tersebut dan tandai bahwa simpul itu telah dicapai dari i .
4. Kembali ke langkah 2.

Algoritma dalam graf dapat dimanfaatkan untuk penyelesaian masalah praktis sehari-hari di berbagai bidang. Agar pemakai teori graf dapat memanfaatkan algoritma dengan mudah, perlu disediakan paket program yang bersifat *user friendly*. Banyak paket program untuk menyelesaikan permasalahan dalam teori graf baik yang bersifat *proprietary* maupun *open source*. Paket tersebut ada yang merupakan bagian dari paket software umum seperti paket atau *toolbox* seperti *Networks* dan *GraphTheory* yang merupakan salah satu *toolbox* dari software Maple. Dalam software Matlab dapat digunakan *toolbox Matgraph* atau *Bioinformatics*. Namun demikian ada beberapa paket program berukuran kecil yang khusus dibuat untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam graf. Paket-paket tersebut antara lain Graph Magics, Gephi, Graphviz, Graphalg, Connectivity, dan Gograph. Berikut ini dibahas beberapa paket program yang tersedia untuk penyelesaian masalah graf serta contoh penggunaannya.

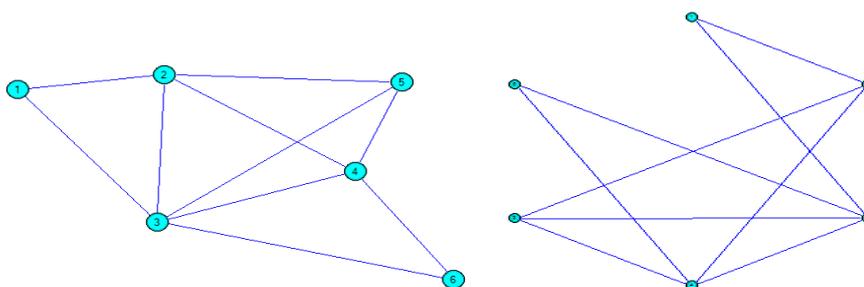
Graph Magics merupakan software teori graf yang bersifat *shareware* dan dikembangkan oleh Dumitru Ciubatii. Software ini dapat didownload di www.graph-magics.com. Graph Magics dapat menyusun, memodifikasi dan melakukan operasi dan algoritma graf. Tersedia tool graph generator dan algoritma-algoritma seperti lintasan terpendek, pohon penjangkau minimum, max flow-min cut, lintasan Euler dan Hamilton. Software ini cocok digunakan dalam belajar teori graf. Visualisasi graf yang bagus dapat disimpan dalam file atau dicetak.

Untuk membuat suatu graf baru dimulai dengan membuat file baru (pilih menu File → New), menambahkan simpul baru (klik icon “+”), serta menambah/menghapus sisi-sisi sesuai keinginan kita. Untuk menambah/menghapus sisi antara dua simpul atau lebih, lakukan ctrl+klik simpul-simpul tersebut, klik kanan, dan pilih opsi yang sesuai. Apabila diperlukan dapat juga ditambahkan bobot atau kapasitas dari sisi-sisinya.

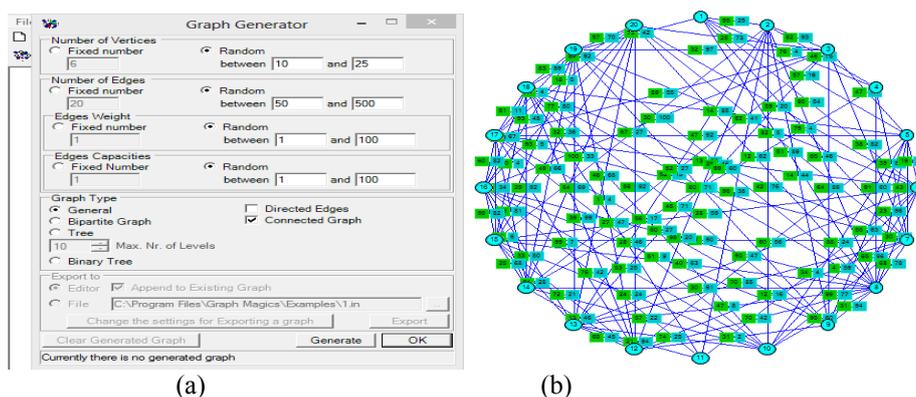


Gambar 7 Tampilan program Graph Magics dengan menu dan sub menunya

Hasil yang diperoleh dapat diedit simpul, sisi, bobot dan kapasitas sisi, serta layoutnya. Pilihan layout yang tersedia adalah free, circle, bipartit, tree dan grid dilakukan dengan perintah Graph → Vertices Layout → pilihan layout. Graf yang baru juga dapat dibuat dengan menggunakan fasilitas Generate. Untuk menggenerate graf, klik File → Generate a New Graph → isi jumlah simpul, jumlah sisi, jenis graf dan pilihannya → Generate → pilih editor dan append to existing graph → klik export → klik OK. Proses pengeditan simpul, sisi, bobot dan kapasitas sisi dapat dilakukan melalui data grafnya dengan memilih menu View Data atau Graph-Data, kemudian ubah nilainya dan refresh grafnya.

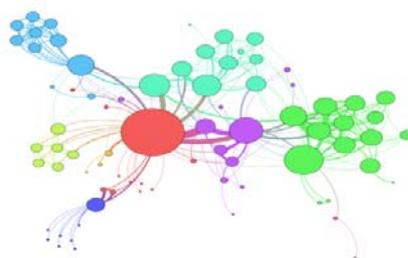


Gambar 8 Graf yang dibuat dengan menempatkan simpul secara bebas dan layout circle



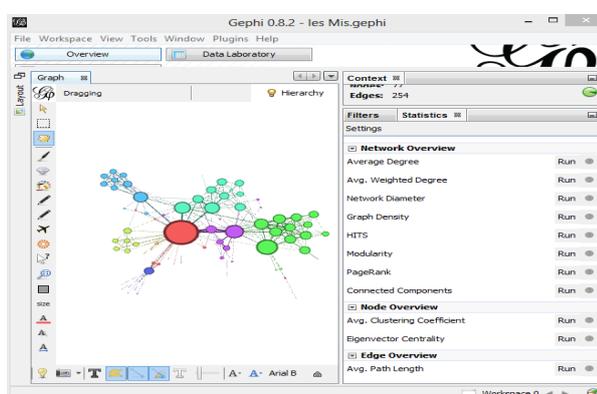
Gambar 9 (a) Pilihan jumlah simpul dan sisi, bobot dan kapasitas sisi, serta jenis graf
(b) Graf yang dibuat dengan menggunakan fasilitas Generate dengan pilihan (a)

Gephi merupakan software yang dapat digunakan untuk memvisualisasikan graf atau jaringan yang berukuran besar. Software ini cocok untuk pengguna graf di bidang manajemen dan pemasaran (Walia, L and Bhatia, P.S., 2012). Software ini bersifat *open source* dan *user friendly*. Tersedia menu-menu File, Workspace, View, Tool, Window, Plugins dan Help yang mudah digunakan. Graf yang dibuat dengan Gephi dapat direkayasa sehingga memiliki tampilan bentuk dan warna yang menarik dan hasilnya dapat diekspor dalam file pdf, PNG atau SVG. Gephi dapat membuka contoh graf yang ada, mengimpor graf atau mengenerate graf sendiri. Contoh Graf Les Miserables yang menggambarkan hubungan tokoh-tokoh dalam novel les Miserables:



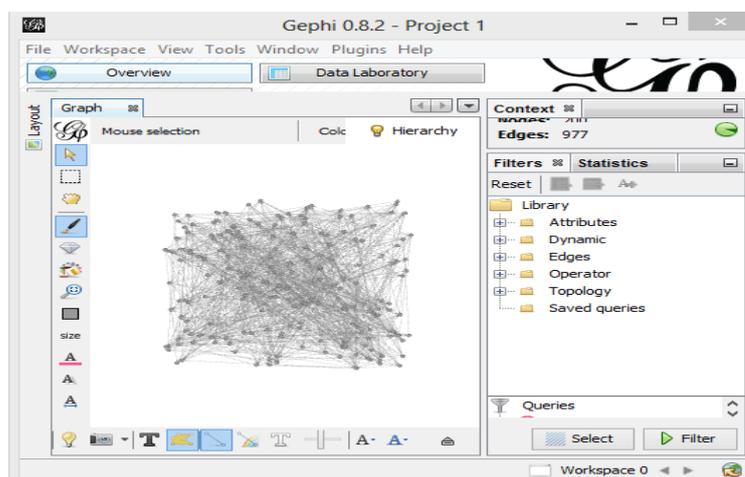
Gambar 10 Graf Les Miserables

Untuk melihat beberapa karakteristik dari graf, pilih sub menu Statistics dari menu Window dan klik Run. Statistik yang tersedia adalah average degree, average weighted degree, network diameter, graph density, dan sebagainya.



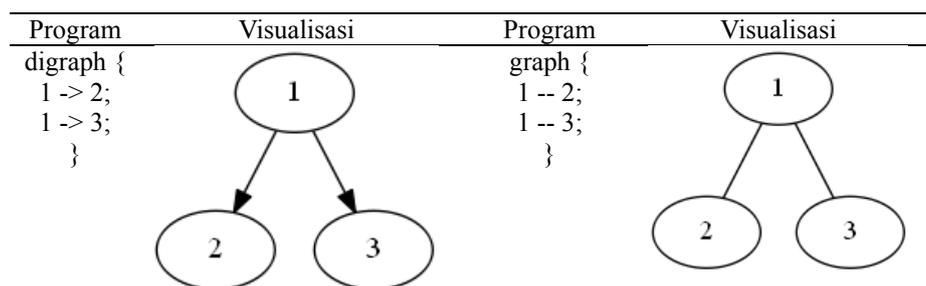
Gambar 11 Beberapa pilihan untuk melihat karakteristik dari graf dengan Gephi.

Gephi dapat mengimport graf dari spigot atau database. Untuk generate graf dengan sifat tertentu, klik menu File → generate → pilihan graf (random atau dinamic graf). Berikut ini contohnya:



Gambar 12 Graf random dengan 200 simpul yang digenerate dengan Gephi

Graphviz merupakan software open source yang baik untuk memvisualisasikan masalah jaringan dengan ukuran sampai satu juta simpul. Karena itu cocok digunakan di bidang jaringan, basis data, bioinformatika, rekayasa perangkat lunak, bahasa dan alat pemrograman, dan machine learning. Graphviz dapat didownload di [www. Graphviz.org](http://www.Graphviz.org). Graphviz dapat menggambarkan dan mengedit graf sesuai keinginan. Untuk keperluan itu perlu dipelajari pemrogramannya karena Graphviz menggunakan pemrograman berbasis text. Berikut contohnya:



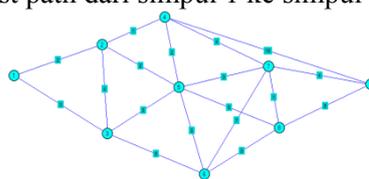
Gambar 13 kode program dan visualisasi graf berarah dan tak berarah dengan 3 simpul

Untuk menggambarkan graf yang lebih detail, dapat dilakukan dengan menuliskan programnya berdasar panduan penggunaan (user guide) yang dapat kita peroleh di website Graphviz.

Algoritma graf dengan menggunakan Software

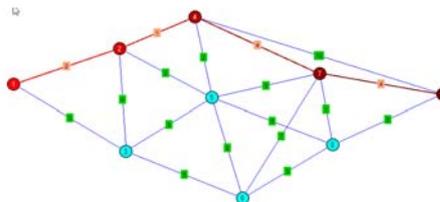
Graph Magics merupakan software yang dilengkapi dengan banyak algoritma. Dengan Graph Magics dapat ditentukan nilai tertentu dari graf dengan memilih algoritma yang sesuai. Beberapa algoritma yang dapat dilakukan dengan menggunakan Graph Magics adalah Shortest path algorithm, Minimal Spanning tree, Trail Euler, Lintasan Hamilton, dan Chinese Postman Problem.

Misal ingin ditentukan shortest path dari simpul 1 ke simpul 9 dalam graph G berikut.



Gambar 14 Graf terbobot G dengan 9 simpul, simpul 1 : simpul sumber dan simpul 2 : simpul tujuan

Setelah graf G digambarkan, simpul sumber dan simpul tujuan harus ditandai terlebih dahulu dengan mengklik kanan simpulnya dan memilih set/unset as start vertex (untuk simpul sumber) atau set/unset as end vertex (untuk simpul tujuan). Selanjutnya tinggal dipilih algoritmanya dengan mengklik Graph → Find → Shortest Path (From start to end vertex). Hasilnya akan ditunjukkan seperti berikut:



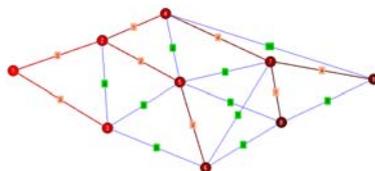
Gambar 15 lintasan terpendek dari simpul 1 ke simpul 9.

Terlihat bahwa lintasan (1,2,4,7,9) merupakan lintasan terpendek dari simpul 1 ke simpul 9 dengan total jarak/bobot $2+1+4+4=11$. Nilai ini juga dapat dilihat jika diklik pilihan View Data:



Gambar 16 Tampilan data dari lintasan terpendek dalam G

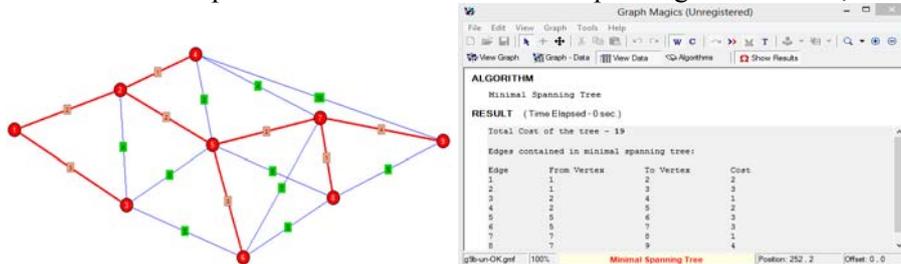
Jika ingin dicari semua lintasan terpendek dari simpul 1 ke simpul-simpul lainnya, maka dapat dilakukan dengan menset simpul 1 sebagai start vertex dan dipilih algoritmanya: Graph → Find → All Shortest paths: Data panjang lintasan terpendek dari simpul 1 ke simpul-simpul lainnya juga dapat ditampilkan



Gambar 17 Lintasan terpendek dari simpul 1 ke simpul-simpul lainnya

Minimal Spanning tree

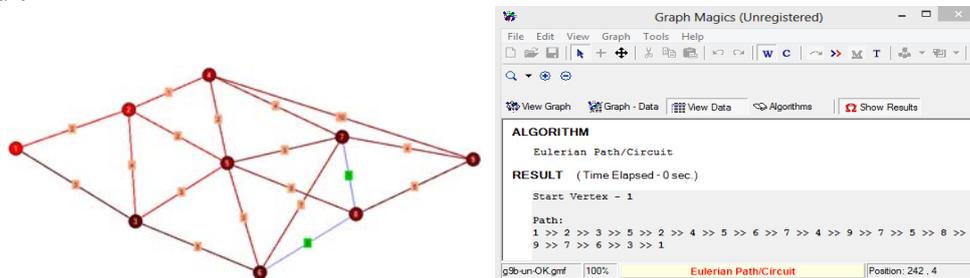
Graph magics juga memiliki algoritma untuk menentukan minimal spanning tree dari suatu graf. Untuk mencari minimal spanning tree dari graf G di atas, pilih menu Graf → Find → Minimal Spanning Tree. Untuk menampilkan data bobot dari minimal spanning tree tersebut, klik Graph Data.



Gambar 18 minimal spanning tree dari graf G dan data bobotnya

Trail Euler

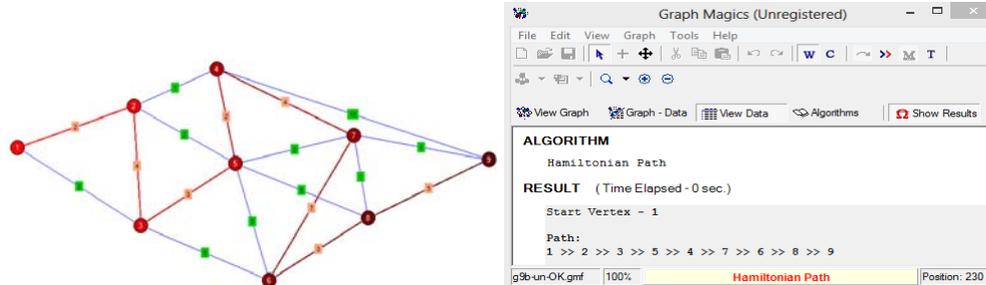
Dalam Graph Magics, istilah trail Euler disamakan dengan lintasan Euler. Untuk mencari trail Euler dengan Graph Magics, caranya juga mudah. Pilih menu Graph → Find → Eulerian Path/Circuit



Gambar 19 Trail Euler dari dan data sisi-sisi dari trail Euler G

Lintasan Hamilton

Untuk mencari lintasan Hamilton, pilih menu Graph → Find → Hamitonian Path. Hasilnya adalah seperti berikut:

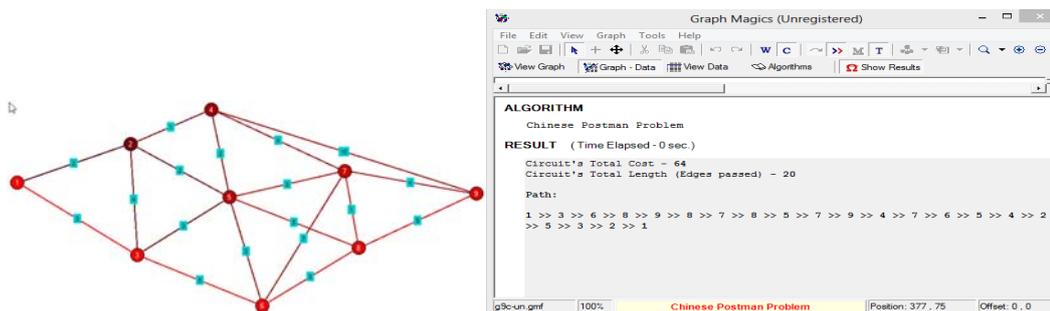


Gambar 20 Lintasan Hamilton beserta data lintasan Hamilton dari G

Chinese Postman Problem

Salah satu permasalahan nyata yang sangat terkenal adalah Chinese Postman Problem, yakni masalah tentang bagaimana seorang tukang pos menemukan jalur (kalang) terpendek yang harus dilewati berawal dari kantor pos menuju ke semua alamat tujuan dan kembali ke kantor pos lagi (atau langsung ke rumahnya). Dengan menggunakan Graph Magics, pilih menu Graph → Find → Chinese

Postman Problem. Untuk melihat jalur mana yang harus dilewati dapat dilihat dengan klik Graph Data.



Gambar 21 Jalur (kalang) terpendek dari simpul 1 ke simpul-simpul lainnya dan kembali ke simpul 1 beserta data urutan simpul-simpul yang dilewati

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan. Teori graf perlu dipelajari dan dikembangkan karena dapat digunakan untuk menyelesaikan beberapa permasalahan nyata dalam berbagai bidang. Untuk mempermudah dalam memahami istilah, konsep, teorema dalam teori graf dibutuhkan software yang dapat digunakan untuk memvisualisasikan graf serta melakukan algoritma dalam graf dengan mudah. Ada berbagai software open source yang dapat digunakan untuk visualisasi dan algoritma dalam teori graf. Software-software Graph Magics, Gephi dan Graphviz dapat dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bass, D.W., 2002, Hamilton Decompositions and $(n/2)$ -Factorizations of Hypercubes, *Journal of Graph Algorithms and Applications* vol. 6, no. 3, pp. 174–194 (2002)
- Brent, R.P., 1980, An Improved Monte Carlo Factorization Algorithm, *BIT* 20 (1980), pp 176-184.
- Ciubatii, D., 2013, *Graph Magics*, <http://www.graph-magics.com/index.php>, diakses 14 Februari 2013.
- Ebrahimi, M.A. et al., 2006, *A Graph Theory Package for Maple, Part II: Graph Coloring, Graph Drawing, Support Tools, and Networks*, Department of Mathematics, Simon Fraser University Burnaby, BC, Canada, V5A 1S6
- Guerrieri, B., *Solving the Traveling Salesman Problem*, Florida A&M University
- Hopcroft, J. E., and R.M. Karp, An $n^{2.5}$ Algorithm for Maximum Matchings in Bipartite Graphs, *SIAM Journal of Computing*, Vol. 2, No. 4, 1973, 225-231
- Knuth, D. E., 1969, *The Art of Computer Programming*, vol. II: Seminumerical Algorithms, Addison-Wesley.
- Kuskal, J., 1956, *Proceeding of the American Mathematical Society* pp 48-50 (1956).
- Lacey, L.L., 2004, *Max Flow-Min Cut*, Schenectady County Community College, Schenectady, NY, USA.
- Mawata, C., P., *Graph Theory Lessons*, 2013, <http://www.mathcove.net/petersen/lessons>, diakses 18 Februari 2013.
- Rajan, M. A., M. Girish Chandra, Lokanatha C. Reddy, Prakash Hiremath, 2008, Concepts of Graph Theory Relevant to Ad-hoc Networks, *Int. J. of Computers, Communications & Control*, ISSN 1841-9836, E-ISSN 1841-9844 Vol. III (2008)
- Seffens, W., 2002, Graph Theory Patterns in the Genetic Codes, *Forma*, 17, 309–320, 2002
- Shrinivas, S., G. et.al., 2010, Applications of Graph Theory in Computer Science an Overview, *International Journal of Engineering Science and Technology* Vol. 2(9), 2010, 4610-4621.
- Walia, L and Bhatia, P.S., 2012, *Data Visualization with Gephi*, Vinot Gupta School of Management, IIT Karagpur
-, 2013, Graphviz -Graph Visualization Software, <http://graphviz.org/>, diakses 14 Februari 2013.

**PACKAGE PLGUN-IN R UNTUK PEMETAAN AUTOKORELASI SPASIAL
PADA KUALITAS AIR**

Heruna Tanty¹, Rokhana Dwi Bakti², Edy Irwansyah³

¹Jurusan Matematika, School of Computer Science, Universitas Bina Nusantara

²Jurusan Statistika, School of Computer Science, Universitas Bina Nusantara

³Jurusan Teknik Informatika, School of Computer Science, Universitas Bina Nusantara
e-mail : ¹herunatanty@yahoo.com, ²groo_jgroo@yahoo.com, ³edirwan@binus.ac.id

ABSTRACT

This study aims to create a plug-in package R to give the user the ease of mapping the spatial auto correlation through LISA test. The spatial auto correlation is one of the spatial analyses to determine the pattern of the relationship or correlation between the locations (observation). Characteristics of groundwater quality in some locations were spatially interconnected. This is shown by the dependency among locations of the water quality. Spatial autocorrelation would be more informative if presented in the form of mapping that is made into the form of an application program. Program evaluation is done using water quality (inorganic compound) in Jakarta. The inorganic compound was Cadmium (Cd). Total samples were 10 locations. The results showed that the application program can generate LISA test and mapping properly. The name of package is Auto correlation Test _1.0.zip which runs in R Deducer. This package is built in R Deducer and R Studio, which is supported by R and Rtools. LISA test results showed that the area of in west, north, and east of Jakarta have a P value smaller than the other area. Therefore, it can be concluded that Cd levels in the region have a dependency relationship between locations. More detail, there are two sample locations that significantly affect other locations at $\alpha=5\%$, the first sample in West Jakarta and East Jakarta seventh sample.

Keywords: Package plug-in R, mapping, Autocorrelation test, LISA test, water quality

PENDAHULUAN

Autokorelasi spasial adalah penilaian korelasi antar pengamatan di setiap lokasi pada suatu variabel. Autokorelasi spasial juga dapat dikatakan sebagai salah satu analisis spasial untuk mengetahui pola hubungan atau korelasi antar lokasi (amatan). Beberapa pengujian dalam spasial autokorelasi spasial adalah Moran's I, Rasio Geary's, dan Local Indicator of Spatial Autocorrelation (LISA). Metode ini sangat penting untuk mendapatkan informasi mengenai pola penyebaran karakteristik suatu wilayah dan keterkaitan antar lokasi didalamnya.

Autokorelasi spasial akan lebih informatif apabila disajikan ke dalam bentuk peta. Pemetaan dapat menunjukkan dan memvisualisasikan analisis spasial. Matthews dan Yang (2012) yang menggunakan GWR model untuk pemetaan hasil model lokal. Mennis (2006) menggunakan t-hitung hasil GWR untuk menunjukkan distribusi signifikansi parameter. Pemetaan-pemetaan tersebut menunjukkan interpretasi yang sangat informatif.

Salah satu software statistik untuk analisis autokorelasi spasial dan pemetaan adalah R Software. R-software merupakan suatu software statistik *open source* dan dibuat pertama kali pada tahun 1992 oleh Ross Ihaka dan Robert Gentleman di Universitas Auckland, New Zealand. Menurut Torgo (2011), R adalah bahasa pemrograman yang baik untuk komputasi statistik. Sumber kode dari setiap komponen R tersedia secara bebas sehingga dapat diadaptasikan dengan baik. Software ini memiliki banyak kelebihan lain, diantaranya selalu update dengan cepat terhadap metode-metode baru dan memberikan fasilitas yang mudah bagi developer untuk membuat *graphical user interface (GUI)* di package Deducer. Fasilitas GUI ini dapat diakses melalui java language (Fellows, 2012). Aplikasi pemetaan yang mudah digunakan dapat dibuat di Deducer ini. Bakti dan Irwansyah (2013) juga telah membuat aplikasi analisis GWR dan kriging di R software. Selain itu juga Andiyono (2012) telah membuat aplikasi untuk GWR.

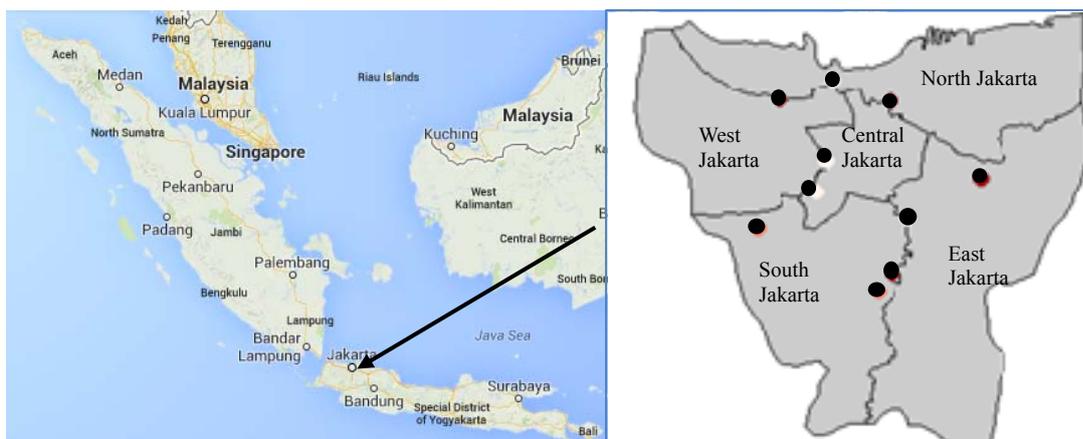
Air tanah merupakan sumber air utama untuk kebutuhan sehari-hari. Karakteristik kualitas air tanah di beberapa lokasi saling berhubungan secara spasial. Hal ini ditunjukkan oleh bergantungnya kualitas air antar lokasi. Apabila salah satu lokasi memiliki air tanah yang tercemar maka lokasi lain

yang berdekatan akan ikut tercemar pula. Untuk menggambarkan pola hubungan kualitas air antar lokasi dapat menggunakan metode spasial, yaitu autokorelasi spasial. Karakteristik autokorelasi kualitas air akan lebih informatif jika dibentuk ke dalam suatu pemetaan. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Arrowiyah (2011) tentang peta penyebaran kejadian penyakit DBD pada periode 2006 sampai 2009 di Kota Surabaya dan Nurhadiyanti (2013) tentang pola spasial kejadian diare melalui SAR dan SEM di Kabupaten Bekasi. Bekt, Andiyono, dan Irwansyah (2014) yang melakukan pemetaan angka buta huruf melalui GWR.

Pemetaan autokorelasi spasial dapat dilakukan di R. Namun masih diperlukan suatu rangkaian aplikasi untuk pemetaan tersebut sehingga memudahkan pengguna dalam mendeskripsikan autokorelasi spasial. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat package *plug-in* R. Software yang dibangun tersebut akan memberi kemudahan pengguna dalam melakukan pemetaan autokorelasi spasial dan analisis kualitas air.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah pembuatan aplikasi program secara umum adalah 1) menganalisis kebutuhan dan pendefinisian tentang autokorelasi spasial, 2) perancangan sistem dan aplikasi program *plug-in*, 3) implementasi dari aplikasi program yang telah dirancang, 4) integrasi dan pengujian sistem menggunakan data kasus, dan 5) pengoperasian hasil aplikasi program. Perancangan sistem dan *plug-in* tersebut dilakukan di R Deducer dan RStudio, yang meliputi pembuatan GUI di Deducer dan pembuatan package di RStudio.



Gambar 1. Lokasi Sampel Penelitian

Data yang digunakan sebagai studi kasus atau evaluasi dalam penelitian ini adalah data sekunder, yaitu dari penelitian Tanty, dkk (2014). Data tersebut adalah tentang kualitas air meliputi kadar senyawa organik air tanah, yaitu Cadmium (Cd), di wilayah DKI Jakarta. Lokasi sampel tersebut disajikan pada Gambar 1.

Metode analisis autokorelasi spasial yang digunakan adalah *Local Indicator of Spatial Autocorrelation* (LISA). Analisis ini melakukan pengidentifikasian koefisien *autocorrelation* secara lokal (*local autocorrelation*) atau korelasi spasial pada setiap daerah. Semakin tinggi nilai lokal Moran's, memberikan informasi bahwa wilayah yang berdekatan memiliki nilai yang hampir sama atau membentuk suatu penyebaran yang mengelompok. Indeksnya dinyatakan dalam seperti pada persamaan berikut (Lee dan Wong, 2001):

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j$$
$$z_i \text{ dan } z_j \text{ adalah } z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma_x} \text{ dan } z_j = \frac{(x_j - \bar{x})}{\sigma_x} \quad (1)$$

σ_x adalah nilai standar deviasi dari variabel x.

Pengujian terhadap parameter I_i dapat dilakukan sebagai berikut :

$H_0 : I_i = 0$ (tidak ada autokorelasi antar lokasi)

$H_1 : I_i \neq 0$ (ada autokorelasi antar lokasi)

Statistik uji :

$$Z_{hitung} = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{var}(I_i)}} \quad (2)$$

Keterangan :

w= matrix pembobot

var (I)= varians Moran's I

E(I) = expected value Moran's I

Pengujian ini akan menolak H_0 jika $|Z_{hitung}| > Z_{\alpha/2}$ atau P value < $\alpha=5\%$. Positif autokorelasi spasial mengindikasikan bahwa antar lokasi pengamatan memiliki keeratan hubungan.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menjelaskan spesifikasi sitem yang digunakan untuk menggunakan package, petunjuk instalasi, dan hasil package dan evaluasinya.

Spesifikasi Sistem

Dalam melakukan implementasi program spesifikasi perangkat keras yang disarankan adalah:

- Processor : Intel Pentium Core i-3 -Memory : 4 GB
- Harddisk : 250 GB -VGA : 256 MB
- Monitor : Resolusi 1366 x 768 -Keyboard : Ya
- Mouse : Ya

Spesifikasi perangkat lunak untuk implementasi program adalah:

- Microsoft Office Excel minimal versi 1997 dan notepad
- R untuk Deducer yang lengkap dengan RJava
- RStudio-0.98.1062
- Rtools

Petunjuk Instalasi

Berikut adalah petunjuk instalasi yang harus dilakukan :

1. Instal dan *runR* untuk Deducer
2. Setelah hasil *plug-in* di Deducer sukses dibentuk maka dilakukan:
 - Instal package 'AutocorrelationTest' di Deducer
 - Load package :
> library(AutocorrelationTest)

R Package

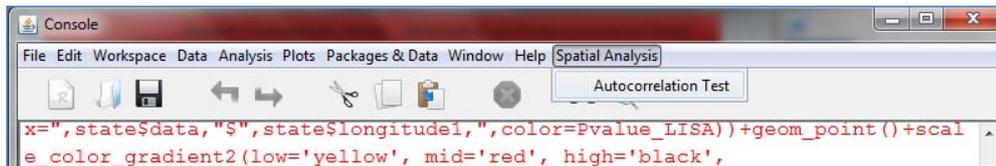
Package R yang dihasilkan adalah AutocorrelationTest_1.0.zip dengan deskripsi sebagai berikut :

```
Package: AutocorrelationTest
Type: Package
Title: Autocorrelation Test for Spatial Analysis
Version: 1.0
Date: 2014-09-25
Author: Rokhana DB, Edy Irwansyah, and Heruna T
Maintainer: Rokhana DB <groo_jgroo@yahoo.com>
depends: AutocorrelationTest1
Description: Autocorrelation Test for Spatial Analysis
License: GPL-2
```

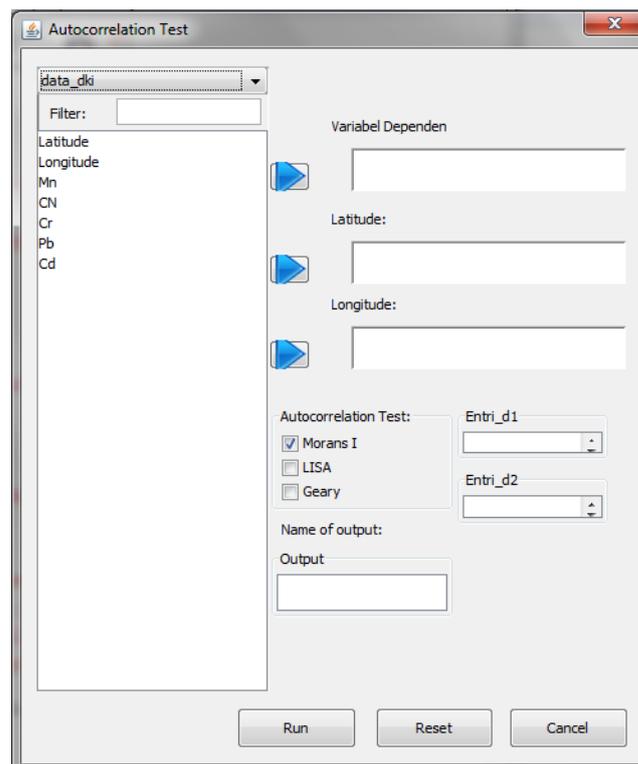
Gambar 2. DESCRIPTION package AutocorrelationTest

Plug-in di R Deducer

Petunjuk pemakaian sistem yang dibuat dimulai setelah menjalankan library(AutocorrelationTest) sehingga akan muncul *Plug-in* Spatial Analysis di Deducer seperti pada Gambar 3. Dialog box untuk Uji Autokorelasi spasial disajikan di Gambar 4.



Gambar 3. Menu Spatial Analysis pada Deducer

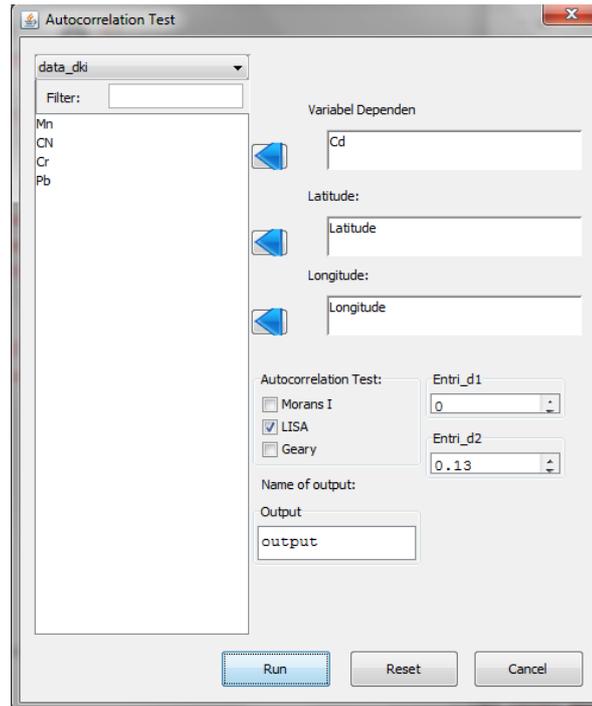


Gambar 4. Dialog Box Uji Autokorelasi Spasial

Evaluasi Program

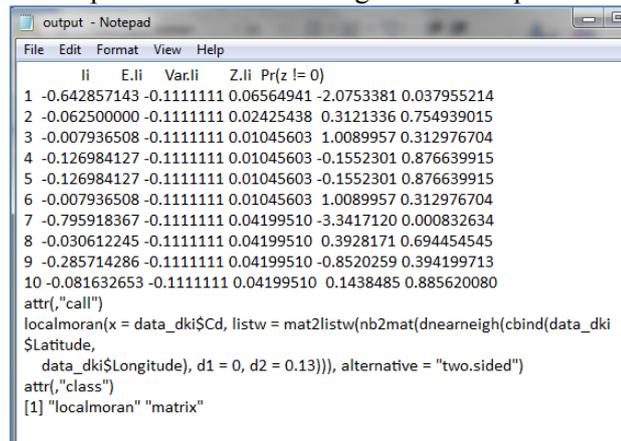
Aplikasi program *plug-in* ini dapat memberikan hasil uji autokorelasi dan pemetaan menggunakan uji LISA. Evaluasi program dilakukan dengan mensimulasikan metode tersebut. Data yang digunakan adalah 10 sampel di DKI Jakarta terhadap variabel Mn. Tujuan dari uji LISA adalah untuk mengetahui apakah ada dependensi spasial atau autokorelasi kadar air tanah Mn antar amatan atau lokasi. Pembobot yang digunakan adalah jenis matrix pembobot *standardize*, dimana lokasi sampel dengan jarak 0° hingga $0,13^\circ$ dikoding 1. Jarak dihitung dengan metode *Euclidean*. Petunjuk penggunaan di *plug-in* R disajikan pada Gambar 5. Output disajikan pada Gambar 6 dan 7.

Dari output Gambar 6, dapat disimpulkan seperti pada Tabel 2. Dapat diketahui bahwa terdapat 2 lokasi sampel yang signifikan mempengaruhi lokasi lain, yaitu sampel pertama di Jakarta Barat dan sampel ketujuh di Jakarta Timur. Hal ini ditunjukkan oleh nilai P value yang kurang dari $\alpha=5\%$. Signifikan mempunyai arti bahwa adanya autokorelasi spasial pada lokasi sampel yang terdekat. Seperti sampel pertama dengan Cd 0,007 yang relative lebih besar dibandingkan yang lain. Sampel tersebut mempengaruhi sampel-sampel terdekat di sekitarnya.



Gambar 5. Dialog Box uji LISA data Cd

Output pengujian tersimpan dalam file .txt dengan nama output.txt seperti di Gambar 6.



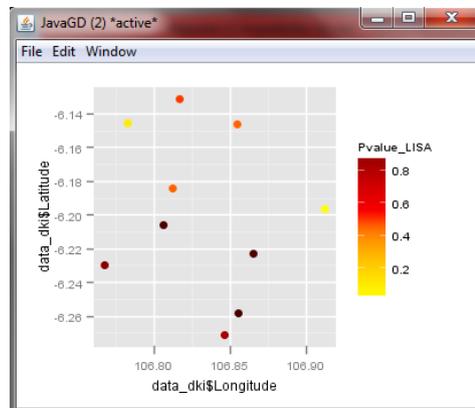
Gambar 6. Output uji LISA data Cd

Tabel 2. Hasil uji LISA Cd di DKI Jakarta

No Sampel	W i l a y a h	Latitude	Longitude	Cd	Ii	Zi	Pvalue
1	Jakarta Barat	-6.14539	106.782909	0.007	-0.6428	-2.07534	0.038*
2	Jakarta Selatan	-6.22945	106.768001	0.006	-0.0625	0.312134	0.755
3	Jakarta Utara	-6.14626	106.854466	0.006	-0.0079	1.008996	0.313
4	Jakarta Timur	-6.22264	106.865716	0.005	-0.1269	-0.15523	0.877
5	Jakarta Pusat	-6.20585	106.806651	0.005	-0.1269	-0.15523	0.877
6	Jakarta Barat	-6.18427	106.812615	0.006	-0.0079	1.008996	0.313
7	Jakarta Tmur	-6.19633	106.912183	0.007	-0.7959	-3.34171	0.000*
8	Jakarta Selatan	-6.27109	106.846428	0.006	-0.0306	0.392817	0.694
9	Jakarta Utara	-6.13137	106.81672	0.005	-0.2857	-0.85203	0.394
10	Jakarta selatan	-6.25791	106.855645	0.005	-0.0816	0.143849	0.887

Ket : *) signifikan pada $\alpha=5\%$.

Hasil pengujian LISA dapat disajikan pada pemetaan Gambar 7. Di wilayah DKI Jakarta bagian barat, utara, dan timur cenderung memiliki P value lebih kecil dibandingkan bagian lainnya. Oleh karena itu dapat dikatakan, kadar Cd di wilayah tersebut memiliki hubungan dependensi antar lokasi.



Gambar 7. Pemetaan Uji LISA (P value) Cd di DKI Jakarta

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil proses perancangan, implementasi dan evaluasi aplikasi program *plug-in* package `AutocorrelationTest` dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Program aplikasi tersebut dapat menghasilkan uji LISA dan pemetaanya .
2. Pada evaluasi kadar zat anorganik Cd melalui aplikasi pemetaan, di wilayah DKI Jakarta bagian barat, utara, dan timur cenderung memiliki P value lebih kecil dibandingkan bagian lainnya. Oleh karena itu dapat dikatakan, kadar Cd di wilayah tersebut memiliki hubungan dependensi antar lokasi

DAFTAR PUSTAKA

- Andiyono, 2012, Analisis Angka Buta Huruf di Jawa Timur Menggunakan *Geographically Weighted Regression* Berbasis Komputer, [Skripsi], Jakarta : Bina Nusantara University.
- Arrowiyah. (2011). *Spatial Pattern Anlysis Kejadian Penyakit Demam Berdarah Dengue untuk Informasi Early Warning Bencana Di Kota Surabaya*. Skripsi S1 diterbitkan. Surabaya: Program Sarjana Universitas Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bekti, R.D and Irwansyah, E. (2013). Perancangan Perangkat Lunak Pemodelan Statistika Spasial dan Kriging Berbasis *R Language*. Hibah Binus 2013.
- Bekti, R.D, Andiyono, and Irwansyah, E. (2014). Mapping of Illiteracy and Information and Communication Technology Indicators using Geographically Weighted Regression. *Journal of Mathematics and Statistics* 10 (2): 130-138.
- Fellows, I. 2012. Deducer: A Data Analysis GUI for R. *Journal of Statistical Software*, Vol 49 : 1-15.
- Lee, J. dan Wong, D. W. S. 2001, *Statistical Analysis with Arcview GIS*, John Wiley and Sons, New York.
- Matthews, S.A, and T.C. Yang, 2012. Mapping the results of local statistics: Using geographically weighted regression. *Demographic Research*, 26: 151-166. DOI: 10.4054/DemRes.2012.26.6
- Mennis, J.L., 2006. Mapping the Results of geographically weighted regression. *The Cartographic Journal*, 43(2): 171-179. DOI:10.1179/000870406X114658.
- Nurhadiyanti, Gita, 2013. Penentuan Pola Spasial Kejadian Diare Melalui Sar Dan Sem Di Kabupaten Bekasi Berbasis Komputer. Skripsi. Jakarta: Universitas Bina Nusantara.
- Tanty, H., Bekti, R.D., Herlina, T., and Nurlelasari. MANOVA Statistical Analysis of Inorganic Compounds in Groundwater Indonesia. *IOSR-JESTFT journal. Volume 8, Issue 4 Ver. 1 (Apr. 2014), PP 41-45*.
- Torgo, L. (2011). *Data Mining with R : Learning with Case Studies*. USA : Taylor and Francis Group, LLC.

APLIKASI METODE K-NEAREST NEIGHBOR DAN ANALISIS DISKRIMINAN UNTUK ANALISIS RESIKO KREDIT PADA KOPERASI SIMPAN PINJAM DI KOPINKRA SUMBER REJEKI

Ririn Dwi Jayanti¹, Noeryanti²

^{1,2}Program Studi Statistika Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

e-mail : ¹ririn.dijey@gmail.com, ²snoeryanti@yahoo.com

ABSTRACT

Credit Union became a major destination for people and businesses in finding sources of financing are "friendly" and easy to reach without the complicated requirements with the principle of kinship. Credit Unions are required to apply the precautionary principle to provide a loan to be able to control the risk of bad credit. This study aims to predict the micro-credit activities by large variable income, loan size, loan term and the guarantee for loan repayment in determining the source KOPINKRA Sumber Rejeki. Objects in this study is a data credit application form and data summary payments on recapitulation data source KOPINKRA Sumber Rejeki in 2009 until 2013. The study was conducted through the stages of preparation, library research, data collection and analysis process. The results of the analysis of the descriptive analysis of 166 borrowers, there are 51 people (30.7%) pay the loan smoothly and 115 people (69.3%) non-current payments. The model resulting from the analysis of credit risk using discriminant analysis is $Y = 1,160 - 0,095x_3 + 1,915x_4$. Credit risk prediction accuracy is analyzed by K-Nearest Neighbor method is equal to 83.13% on the value of k is 3 and 7, while credit risk prediction accuracy is analyzed by discriminant analysis is at 76,5%. The results of credit risk prediction in KOPINKRA Sumber Rejeki by using a K-Nearest Neighbor method showed that the bad loans that may occur is at 25,30% and Discriminant Analysis is at 44,57%.

Keywords : *K-Nearest Neighbor, Discriminant analysis, prediction, classification*

PENDAHULUAN

Keberadaan Koperasi Simpan Pinjam (KSP) di Indonesia tak bisa lepas dari sejarah dan perkembangan koperasi secara umum. Usaha simpan pinjam telah menjadi basis utama kegiatan koperasi yang menjadikan koperasi terus bertahan dan berkembang. KSP bahkan menjadi tujuan utama pelaku usaha mikro dan kecil dalam mencari sumber pembiayaan yang "ramah" dan mudah dijangkau tanpa syarat berbelit dengan asas kekeluargaan "serasa milik sendiri". Hingga saat ini berkembang pameo ketika menyebut koperasi, orang akan dengan mudah tercititakan koperasi sebagai tempat meminjam uang. Koperasi yang bergerak dalam usaha simpan pinjam baik KSP ataupun USP merupakan industri yang penuh dengan resiko. Resiko tersebut adalah resiko kredit sebagai resiko kerugian sehubungan dengan pihak peminjam tidak dapat dan atau tidak mau memenuhi kewajiban untuk membayar kembali dana yang dipinjamkannya secara penuh pada saat jatuh tempo atau sesudahnya.

Penerapan prinsip kehati-hatian dalam memberikan pinjaman akan memperkecil resiko kredit yang mungkin dialami oleh koperasi. Dalam menerapkan prinsip kehati-hatian ini, koperasi perlu melakukan manajemen risiko dengan mengidentifikasi, mengukur, dan mengendalikan bentuk kerugian yang dapat timbul dari risiko kredit. Proses mengidentifikasi dan mengukur potensi resiko kredit ini dapat dibantu oleh teknologi informasi yang memadai sehingga koperasi dapat memberikan evaluasi terhadap riwayat pinjaman peminjam serta memprediksi kelancaran kredit seorang peminjam yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya pinjaman yang akan diberikan kepada peminjam tersebut.

KOPINKRA Sumber Rejeki merupakan koperasi simpan pinjam yang ada di Dusun Bobung, Putat, Pathuk, Gunung Kidul yang telah berdiri sejak tahun 1998. Pengelolaan dan pengarsipan data di KOPINKRA Sumber Rejeki dilakukan secara manual dan belum terkomputerisasi. Data-data yang dimiliki oleh KOPINKRA Sumber Rejeki selama ini diperlakukan hanya sebatas arsip saja. Data-data ini belum diolah dan dipergunakan untuk menentukan kebijakan dan aturan dalam pengelolaan koperasi. Oleh karena itu, potensi kredit macet di KOPINKRA menjadi hal yang sangat perlu

diwaspadai dan perlu dilakukan evaluasi riwayat peminjaman untuk mengurangi resiko kredit macet tersebut.

Metode *K-Nearest Neighbor* dan Analisis Diskriminan merupakan metode dalam ilmu statistika yang dapat digunakan untuk melakukan evaluasi dan menentukan resiko kredit macet. Metode – metode ini dapat diaplikasikan dalam menentukan resiko kredit macet di Koprinkra Sumber Rejeki. Metode *K-Nearest Neighbor* adalah pendekatan untuk mencari kasus dengan menghitung kedekatan antara kasus baru dengan kasus lama, yaitu dengan berdasarkan pada pencocokan bobot dari sejumlah fitur yang ada. (Kusrini, 2009). Selain dengan metode *K-Nearest Neighbor*, dapat juga digunakan Analisis Diskriminan untuk memprediksi kelancaran kredit. Analisis Diskriminan adalah salah satu teknik analisa Statistika dependensi yang memiliki kegunaan untuk mengklasifikasikan objek beberapa kelompok. Pengelompokan dengan analisis diskriminan ini terjadi karena ada pengaruh satu atau lebih variabel lain yang merupakan variabel independen.

Dengan diterapkannya metode *K-Nearest Neighbor* dan Analisis Diskriminan maka diharapkan KSP/KJKS dapat membuat suatu prediksi potensi kredit macet calon peminjam berdasarkan riwayat data transaksi pembayaran kredit sebelumnya serta dapat memanfaatkan data karakteristik peminjam untuk dijadikan sebagai informasi tambahan yang dapat membantu perusahaan dalam membuat analisis kelancaran pinjaman. Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang aplikasi metode *K-Nearest Neighbor* dan Analisis Diskriminan untuk analisis resiko kredit pada koperasi simpan pinjam dengan bantuan software Matlab dan SPSS.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menentukan model yang dihasilkan dari analisis resiko kredit dengan menggunakan Analisis Diskriminan, menerapkan metode *K-Nearest Neighbor* untuk mengklasifikasikan peminjam pada KOPINKRA Sumber Rejeki, membandingkan ketepatan prediksi dengan metode *K-Nearest Neighbor* dan Analisis Diskriminan dan menentukan kelancaran kegiatan simpan pinjam berdasarkan hasil klasifikasi peminjam di KOPINKRA Sumber Rejeki.

METODE PENELITIAN

Objek dalam penelitian ini adalah data yang diperoleh dari KOPINKRA Sumber Rejeki yang terletak di Dusun Bobung, Putat, Pathuk, Gunungkidul. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data formulir pengajuan kredit dan data rekapitulasi pembayaran angsuran pada KOPINKRA Sumber Rejeki pada tahun 2009 sampai dengan tahun 2013. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Sistem operasi : *Windows 7 Ultimate 32-bit (6.1, Build 7600)*
2. Pengolah kata : *Microsoft Office Word 2007*
3. Pengolah data manual : *Microsoft Office Excel 2007*
4. Pengolah data pada metode *K-Nearest Neighbor* : *Matlab 7.8.0*
5. Pengolah data pada Analisis Diskriminan : *SPSS 16*

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil studi literatur dan observasi, antara lain :

1. Data karakteristik peminjam pada formulir pengajuan kredit pada KOPINKRA Sumber Rejeki. Pada formulir pengajuan kredit tercantum nomor anggota, nama anggota, alamat, pekerjaan, jumlah penghasilan, jumlah pinjaman, jaminan serta jangka waktu pengembalian pinjaman. Formulir pengajuan kredit yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 166 buah.
2. Data rekapitulasi pembayaran angsuran peminjam 4 tahun terakhir pada KOPINKRA Sumber Rejeki. Data rekapitulasi pembayaran angsuran merupakan data pembayaran pinjaman setiap bulannya yang dirangkum dalam sebuah tabulasi. Data rekapitulasi ini menunjukkan pembayaran angsuran pinjaman anggota dari waktu ke waktu dalam kurun waktu 4 tahun yakni tahun 2009 – 2013.

Variabel-variabel penelitian yang memiliki pengaruh besar dalam penentuan kelancaran, yaitu variabel tak bebas adalah kelancaran, sedangkan variabel bebas adalah penghasilan, pinjaman, jangka waktu dan jaminan. Penjelasan variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Penghasilan

Dalam penelitian ini, data penghasilan anggota cukup penting karena diasumsikan semakin tinggi penghasilan anggota maka kemampuan untuk mengembalikan pinjaman juga semakin tinggi sehingga kemungkinan pembayaran angsuran

2. Pinjaman

Besar pinjaman diasumsikan sebagai beban yang harus ditanggung oleh peminjam. Semakin besar pinjaman maka diasumsikan semakin tinggi beban peminjam sehingga semakin rendah kemungkinan dalam kelancaran pembayaran pinjaman.

3. Jangka waktu

Jangka waktupengembalian pinjaman berpengaruh terhadap beban angsuran setiap bulannya. Jangka waktu pengembalian pinjaman yang semakin lama diasumsikan bahwa semakin sedikit angsuran pinjaman setiap bulannya sehingga kemungkinan kelancaran pengembalian pinjaman menjadi semakin tinggi.

4. Jaminan

Jaminan dapat digunakan sebagai pertanggungjawaban yang dapat dipergunakan untuk melunasi pinjaman ketika peminjam tidak sanggup mengembalikan pinjaman. Keberadaan pinjaman merupakan bukti kesungguhan dari peminjam dalam mengembalikan pinjaman. Oleh karena itu, dengan adanya jaminan dapat diasumsikan bahwa semakin tinggi kesungguhan peminjam dalam mengembalikan pinjaman.

5. Kelancaran

Kelancaran pengembalian pinjaman merupakan variabel yang bergantung pada besarnya penghasilan, besar pinjaman, jangka waktu pinjaman serta keberadaan jaminan. Kelancaran pinjaman dapat diketahui dari kesesuaian waktu pengembalian pinjaman terhadap jangka waktu pinjaman. Sebuah pinjaman dapat diasumsikan lancar apabila penghasilan tinggi, pinjaman rendah, jangka waktu lama serta adanya jaminan dari peminjam.

Metode *K-Nearest Neighbor* sangat sering digunakan dalam klasifikasi. Tujuan dari algoritma ini adalah untuk mengklasifikasi objek baru berdasarkan atribut dan *training samples* (Larose, 2005). Algoritma *K-Nearest Neighbor* (K-NN atau KNN) adalah sebuah metode untuk melakukan klasifikasi terhadap objek berdasarkan data pembelajaran yang jaraknya paling dekat dengan objek tersebut. Teknik ini sangat sederhana dan mudah diimplementasikan. Dalam hal ini jumlah data/tetangga terdekat ditentukan oleh *user* yang dinyatakan dengan *k*.

Misalkan ditentukan $k=5$, maka setiap *data testing* dihitung jaraknya terhadap *data training* dan dipilih 5 *data training* yang jaraknya paling dekat ke *data testing*. Lalu periksa *output* atau labelnya masing-masing, kemudian tentukan *output* mana yang frekuensinya paling banyak. Lalu masukkan suatu *data testing* ke kelompok dengan *output* paling banyak. Misalkan dalam kasus klasifikasi dengan 3 kelas, lima data tadi terbagi atas tiga data dengan *output* kelas 1, satu data dengan *output* kelas 2 dan satu data dengan *output* kelas 3, maka dapat disimpulkan bahwa *output* dengan label kelas 1 adalah yang paling banyak. Maka data baru tadi dapat dikelompokkan ke dalam kelas 1. Prosedur ini dilakukan untuk semua *data testing* [Santosa, 2007].

Metode K-Nearest Neighbor sangat sederhana tetapi performanya sangat handal. Persoalan terpenting pada metode K-Nearest Neighbor adalah biaya komputasi karena dalam proses klasifikasi, seluruh data dipakai untuk menentukan kelas dari pola tes. Oleh karena itu, diperlukan program komputer untuk melakukannya.

Beberapa macam jarak yang sering digunakan dalam literatur machine learning/data mining:

1. Jarak Euclidean (L_2 - norm)

Jarak dua titik x dan y menurut Euclid dirumuskan sebagai :

$$d(x, y) = \|x - y\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

2. Jarak Manhattan atau Cityblock (L_1 -norm)

Menurut konsep ini jarak dua titik x dan y dirumuskan :

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^n (|x_i - y_i|)$$

3. Jarak Minkowski

$$d(x, y) = \|x - y\|_q = \left(\sum |x - y|^q \right)^{\frac{1}{q}}$$

Dimana $q \geq 1$ adalah parameter yang bisa diseleksi. Apabila $q = 1$, maka jarak tersebut menjadi jarak Manhattan. Sedangkan untuk $q = 2$, jarak tersebut menjadi jarak Euclidean.

4. Jarak Chebyshev (L_∞ - norm)

$$d(x, y) = \|x - y\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq n} \{|x_i - y_i|\}$$

5. Jarak Mahalanobis (energy-norm)

$$d(x, y) = [(x - y)^T \Sigma^{-1} (x - y)]$$

Dimana Σ adalah covariance matrix. Dalam hal $\Sigma = I$, maka jarak ini menjadi Euclidean.[Santosa, 2007].

Tahapan analisis dengan metode K-Nearest neighbor

1. Menentukan kelas

Kelas variabel dependen berupa kategorikal yang merepresentasikan ‘label’ yang terdapat pada objek. Contohnya: resiko penyakit jantung, resiko kredit, customer loyalty, jenis gempa.

2. Predictor

Variabel independen direpresentasikan oleh karakteristik (atribut) data. Contohnya: merokok, minum alkohol, tekanan darah, tabungan, aset, gaji.

3. Training dataset

Satu set data yang berisi nilai dari kedua komponen di atas yang digunakan untuk menentukan kelas yang cocok berdasarkan prediktor.

4. Testing dataset

Berisi data baru yang akan diklasifikasikan oleh model yang telah dibuat dan akurasi klasifikasi dievaluasi.

5. Pengukuran akurasi

Untuk mengukur akurasi algoritma klasifikasi, metode yang dapat digunakan yaitu cross validation, confusion matrix dan kurva ROC (Receiver Operating Characteristic). Untuk mengembangkan aplikasi (development) berdasarkan model yang dibuat, digunakan Rapid Miner. Sedangkan metode validasi yang sering digunakan adalah confusion matrix.

Tabel 1. Pengukuran akurasi metode K-Nearest Neighbor

		Kelas hasil prediksi (j)	
		d Kelas = 1	Kelas = 0
Kelas asli (i)	Kelas = 1	f11	f10
	Kelas = 0	f01	f00

Untuk menghitung akurasinya digunakan formula :

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi secara benar}}{\text{Jumlah prediksi yang dilakukan}} = \frac{f11+f00}{f11+f10+f01+f00}$$

Analisis Diskriminan adalah salah satu teknik analisis Statistika dependensi yang memiliki kegunaan untuk mengklasifikasikan objek beberapa kelompok. Pengelompokan dengan analisis diskriminan ini terjadi karena ada pengaruh satu atau lebih variabel lain yang merupakan variabel independen. Kombinasi linier dari variabel-variabel ini akan membentuk suatu fungsi diskriminan.

Analisis diskriminan adalah teknik multivariate yang termasuk *dependence method*, yakni adanya variabel dependen dan variabel independen. Dengan demikian ada variabel yang hasilnya tergantung dari data variabel independen. Analisis diskriminan mirip regresi linier berganda (*multivariable regression*). Perbedaannya analisis diskriminan digunakan apabila variabel dependennya kategoris (maksudnya kalau menggunakan skala ordinal maupun nominal) dan variabel independennya menggunakan skala metric (interval dan rasio). Sedangkan dalam regresi berganda variabel dependennya harus metric dan jika variabelnya independen, bias metric maupun nonmetrik.

Model dasar analisis diskriminan mirip regresi berganda. Perbedaannya adalah kalau variabel dependen regresi berganda dilambangkan dengan Y, maka dalam analisis diskriminan dilambangkan dengan D. Model analisis diskriminan adalah sebuah persamaan yang menunjukkan suatu kombinasi linier dari berbagai variabel independen yaitu :

$$D = b_0 + b_1X + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_kX_k$$

Dengan :

D = skor diskriminan

b= koefisien diskriminasi atau bobot

X = prediktor atau variabel independent

Yang diestimasi adalah koefisien 'b', sehingga nilai 'D' setiap grup sedapat mungkin berbeda. Ini terjadi pada saat rasio jumlah kuadrat antar grup (*between group sum of squares*) terhadap jumlah kuadrat dalam grup (*within-group sum of square*) untuk skor diskriminan mencapai maksimum. Berdasarkan nilai D itulah keanggotaan suatu objek diprediksi.

Sebelum dilakukan Analisis Diskriminan, data harus memenuhi asumsi sebagai berikut :

1. Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah masing-masing variabel berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas diperlukan karena untuk melakukan pengujian-pengujian variabel lainnya dengan mengasumsikan bahwa nilai residual mengikuti distribusi normal. Jika asumsi ini dilanggar maka uji statistik menjadi tidak valid dan statistik parametrik tidak dapat digunakan.

2. Uji Multikolinieritas

Uji multikolinieritas bertujuan untuk menguji apakah ditemukan adanya korelasi antar variabel bebas (independen). Karena data yang baik seharusnya tidak terjadi korelasi di antara variabel independen. Uji multikolinieritas dilakukan dengan melihat *tolerance value* dan *variance inflation factor* (VIF). Multikolinieritas terjadi bila nilai VIF diatas nilai 10 atau *tolerance value* dibawah 0,10. Multikolinieritas tidak terjadi bila nilai VIF dibawah nilai 10 atau *tolerance value* diatas 0,10.

3. Uji homoskedastisitas

Uji ini bertujuan untuk melihat apakah terdapat ketidaksamaan varians dari residual satu pengamatan ke pengamatan yang lain. Dalam analisis diskriminan diasumsikan bahwa varians bersyarat dari $E(\epsilon_i^2) = \text{Var}(\epsilon_i) = \sigma^2$, apabila varians bersyarat $\epsilon_i = \sigma_i^2$ untuk setiap 1, ini berarti variansnya homogen atau homokedastisitas.

Tahapan analisis diskriminan

1. Pembentukan model diskriminan

Kombinasi linier Fisher adalah kombinasi linier sebagai berikut:

$$Y = \lambda' X = (\mu_1 - \mu_2) \sum^{-1} X \quad [\text{Rosy, 2010}]$$

Dimana :

λ' = vektor yang berisi koefisien-koefisien variabel penjelas

X = variabel-variabel dalam model diskriminan (X_1, X_2, \dots, X_k)

μ_1 = vektor rata-rata tiap variabel X pada kelompok 1

μ_2 = vektor rata-rata tiap variabel X pada kelompok 2

\sum = matriks varian-kovarian

2. Menguji signifikansi dari fungsi diskriminan yang telah terbentuk dengan menggunakan Wilk's Lambda, Pilai, F test dan lainnya.

3. Menguji ketepatan klasifikasi dari fungsi diskriminan, termasuk mengetahui ketepatan klasifikasi secara individual dengan *Casewise Diagnostics*.

4. Melakukan interpretasi terhadap fungsi diskriminan tersebut.

5. Melakukan uji validasi fungsi diskriminan.

Penelitian terkait yang mendukung penelitian ini adalah penelitian Kusri, dkk (2009) dengan judul Perbandingan Metode Nearest Neighbor dan Algoritma C4.5 Untuk Menganalisis Kemungkinan Pengunduran Diri Calon Mahasiswa di STMIK AMIKOM Yogyakarta, penelitian tersebut memberikan kesimpulan bahwa rata-rata keberhasilan K-Nearest Neighbor dalam melakukan klasifikasi data cukup akurat. Hal ini menunjukkan bahwa K-Nearest Neighbor memiliki performa yang handal dalam melakukan klasifikasi.

Maria, dkk (2012) melakukan penelitian yang berjudul Analisis Diskriminan terhadap Perilaku Mahasiswa dalam Mengonsumsi Makanan Cepat Saji menghasilkan kesimpulan bahwa model fungsi diskriminan yang terbentuk mempunyai ketepatan mengklasifikasikan sebesar 73,05% sehingga dapat digunakan untuk mengklasifikasikan konsumen baru termasuk pada kelompok tertentu.

Sumbodo (2010) dalam penelitiannya yang berjudul Perbandingan Model Diskriminan dan Model Logit untuk Memprediksi Financial Distress Perusahaan Manufaktur di BEI memperoleh kesimpulan bahwa model logit memiliki akurasi prediksi sebesar 90% lebih tinggi dibanding dengan model diskriminan yang memiliki akurasi prediksi sebesar 88.6%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini digunakan nilai k yaitu 1,3,5,7,9 dan 11 sehingga hasilnya sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil analisis dengan nilai k=1

		Kelas hasil prediksi	
		Kelas = 1	Kelas = 0
Kelas asli	Kelas = 1	100	15
	Kelas = 0	19	32

Tabel 3. Hasil analisis dengan nilai k=3

		Kelas hasil prediksi	
		Kelas = 1	Kelas = 0
Kelas asli	Kelas = 1	105	10
	Kelas = 0	18	33

Tabel 4. Hasil analisis dengan nilai k=5

		Kelas hasil prediksi	
		Kelas = 1	Kelas = 0
Kelas asli	Kelas = 1	105	10
	Kelas = 0	20	31

Tabel 5. Hasil analisis dengan nilai k=7

		Kelas hasil prediksi	
		Kelas = 1	Kelas = 0
Kelas asli	Kelas = 1	106	9
	Kelas = 0	17	34

Tabel 6. Hasil analisis dengan nilai k=9

		Kelas hasil prediksi	
		Kelas = 1	Kelas = 0
Kelas asli	Kelas = 1	104	11
	Kelas = 0	18	33

Tabel 7. Hasil analisis dengan nilai k=11

		Kelas hasil prediksi	
		Kelas = 1	Kelas = 0
Kelas asli	Kelas = 1	102	12
	Kelas = 0	20	31

Maka dapat dihitung akurasinya adalah :

1. K=1

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi secara benar}}{\text{Jumlah prediksi yang dilakukan}} = \frac{132}{166} = 0,7951$$

2. K=3

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi secara benar}}{\text{Jumlah prediksi yang dilakukan}} = \frac{138}{166} = 0,8313$$

3. K=5

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi secara benar}}{\text{Jumlah prediksi yang dilakukan}} = \frac{136}{166} = 0,8192$$

4. K=7

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi secara benar}}{\text{Jumlah prediksi yang dilakukan}} = \frac{140}{166} = 0,8433$$

5. K=9

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi secara benar}}{\text{Jumlah prediksi yang dilakukan}} = \frac{137}{166} = 0,8253$$

6. K=11

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi secara benar}}{\text{Jumlah prediksi yang dilakukan}} = \frac{133}{166} = 0,8012$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai k yang menghasilkan analisis terbaik adalah 7 dengan kredit macet yang mungkin terjadi adalah sebesar 25,90% dan akurasi 0,8433 atau 84,33%. Karena nilai ketepatan 84,33% > 50% maka metode K-Nearest Neighbor tersebut dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kasus pada pinjaman anggota KOPINKRA Sumber Rejeki.

Analisis Diskriminan

1. Uji asumsi analisis diskriminan

a. Uji normalitas

Hipotesis :

H_0 : Variabel berdistribusi normal

H_1 : Variabel tidak berdistribusi normal

Pada uji normalitas dengan metode Kolmogorof Sminorv, H_0 ditolak jika sig < 0,05

Tabel 8. Uji Normalitas

		penghasilan	pinjaman	jangka_waktu
Normal Parameters ^a	Mean	1084939.76	2.45E6	20.93
	Std. Deviation	452416.739	1.045E6	9.212
Most Extreme Differences	Absolute	.098	.099	.093
	Positive	.098	.089	.093
	Negative	-.082	-.099	-.091
Kolmogorov-Smirnov Z		1.259	1.274	1.196
Asymp. Sig. (2-tailed)		.084	.078	.115

Pada tabel diatas menunjukkan bahwa nilai sig > 0,05 artinya H_0 tidak ditolak sehingga variabel penghasilan, pinjaman dan jangka waktu berdistribusi normal yang berarti bahwa variabel-variabel tersebut telah memenuhi asumsi normalitas.

b. Uji Multikolinieritas

Hipotesis :

H_0 : Variabel-variabel independen tidak terjadi multikolinieritas

H_1 : Variabel-variabel independen terjadi multikolinieritas

Pada uji multikolinieritas tersebut, H_0 ditolak jika nilai VIF > 10

Tabel 9. Uji Multikolinieritas

Model		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF
1	(Constant)		
	penghasilan	.486	2.058
	pinjaman	.121	8.269
	jangka_waktu	.162	6.164
	jaminan	.929	1.076

Pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai VIF < 10 artinya H_0 tidak ditolak sehingga variabel penghasilan, pinjaman, jangka waktu dan jaminan tidak terjadi multikolinieritas yang berarti bahwa variabel-variabel tersebut telah memenuhi asumsi multikolinieritas.

c. Uji Homoskedastisitas

Hipotesis :

H_0 : Matriks varian-kovarian homogen

H_1 : Matriks varian-kovarian tidak homogen

Pada uji multikolinieritas tersebut, H_0 ditolak jika nilai sig < 0,05

Tabel 9. Uji Homokedastisitas

Box's M	20.737
F	Approx. 2.006
	df1 10
	df2 4.562E4
	Sig. .029

Pada tabel diatas menunjukkan bahwa nilai sig < 0,05 artinya H_0 ditolak sehingga matriks varian-kovarian tidak homogen yang berarti bahwa matrik varian-kovarian antar kelompok memang berbeda dan hal ini menyalahi asumsi diskriminan. Namun demikian analisis diskriminan tetap *robust* walaupun asumsi homoskedastisitas tidak terpenuhi dengan syarat data tidak outlier. (Ghozali, 2002).

2. Analisis Diskriminan

a. Uji Signifikansi dari fungsi diskriminan yang terbentuk

Dengan menggunakan level toleransi (α) sebesar 5% untuk uji signifikansi fungsi diskriminan. Untuk mengevaluasi output, dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 10. Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	Df	Sig.
1	0,534	101,722	4	0,000

Dari tabel di atas diperoleh nilai sig < 0,05 maka H_0 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi diskriminan signifikan yang berarti nilai rata-rata scorediskriminan untuk kelompok anggota berdasarkan kelancaran pembayaran angsurannya tidak sama.

b. Uji kekuatan hubungan fungsi driskriminan

Perhitungan dengan SPSS 16 diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 11. Nilai Eigen

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	0,874	100,0	100,0	0,683

Pada tabel di atas, canonical correlation mengukur keeratan hubungan antara discriminan score dengan grup. Angka 0,683 menunjukkan keeratan yang tinggi dengan ukuran skala 0 sampai 1.

c. Fungsi Diskriminan

Perhitungan dengan SPSS 16 diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 12 Koefisien Kanonik Fungsi Diskriminan

	Function 1
penghasilan	0,000
pinjaman	0,000
jangka_waktu	-0,062
jaminan	1,459
(Constant)	0,134

Berdasarkan tabel di atas diperoleh fungsi diskriminan dengan nilai koefisien pada variabel penghasilan dan pinjaman adalah 0,000, sehingga harus dilakukan analisis ulang dengan menghilangkan variabel penghasilan dan pinjaman.

3. Analisis Diskriminan tanpa variabel penghasilan dan pinjaman

a. Uji Signifikansi dari fungsi diskriminan yang terbentuk

Dengan menggunakan level toleransi (α) sebesar 5% untuk uji signifikansi fungsi diskriminan. Untuk mengevaluasi output, dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 13. Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	.655	69.090	2	.000

Dari tabel di atas diperoleh nilai sig < 0,05 maka H_0 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi diskriminan signifikan yang berarti nilai rata-rata scorediskriminan untuk kelompok anggota berdasarkan kelancaran pembayaran angsurannya tidak sama.

- b. Uji kekuatan hubungan fungsi driskriminan
Perhitungan dengan SPSS 16 diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 14. Nilai Eigen

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	.528 ^a	100.0	100.0	.588

Pada tabel di atas, canonical correlation mengukur keeratan hubungan antara discriminan score dengan grup. Angka 0,588 menunjukkan keeratan yang tinggi dengan ukuran skala 0 sampai 1.

- c. Fungsi Diskriminan
Perhitungan dengan SPSS 16 diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 15. Koefisien Kanonik Fungsi Diskriminan

Function	
1	
jangka_waktu	-.095
jaminan	1.915
(Constant)	1.160

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa tidak ada variabel dengan koefisien 0,000, sehingga model yang dihasilkan pada Analisis Diskriminan tersebut adalah :

$$Y = 1,160 - 0,095x_3 + 1,915x_4$$

Model tersebut menyatakan bahwa variabel jangka waktu berkorelasi negatif terhadap kelancaran, yang berarti bahwa semakin tinggi jangka waktu maka tingkat kelancaran semakin rendah, dan sebaliknya. Sedangkan variabel jaminan berkorelasi positif terhadap kelancaran, yang berarti bahwa dengan adanya jaminan maka tingkat kelancaran semakin tinggi, dan sebaliknya.

- d. Pengklasifikasian
Perhitungan dengan SPSS 16 diperoleh hasil sebagai berikut :
Selanjutnya nilai cutting score (nilai batas) dapat dihitung sebagai berikut;

Tabel 16. Koefisien Kanonik Fungsi Diskriminan

Function	
1	
kelancaran	1
tidak lancar	-1.084
lancar	.481

Karena terdapat dua tipe kelancaran, maka disebut two-group discriminant, dimana grup yang satu mempunyai centroid (group means) negatif dan grup lainnya mempunyai centroid (group means) positif. Tabel dapat digunakan untuk perhitungan cutting score (nilai batas) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{cu} &= \frac{n_1 Z_1 + n_2 Z_2}{n_1 + n_2} \\ &= \frac{(51 \times (-1,084)) + (115 \times 0,481)}{51 + 115} = 0,00018 \end{aligned}$$

Pada penggunaan nilai Z_{cu} (Discriminating Z Score), apabila skor kasus disubstitusikan pada fungsi diskriminan nilainya di atas Z_{cu} maka masuk ke dalam grup tidak lancar. Sebaliknya apabila nilainya di bawah Z_{cu} maka masuk ke dalam grup lancar.

e. Penilaian validitas diskriminan

Setelah pembentukan dan klasifikasi dilakukan, maka selanjutnya akan dilihat ketepatan hasil klasifikasi pada proses klasifikasi tersebut.

Tabel 17. Hasil Klasifikasi

		Predicted Group Membership			Total
		kelancaran	tidak lancar	lancar	
Original	Count	tidak lancar	43	8	51
		lancar	31	84	115
	%	tidak lancar	84.3	15.7	100.0
		lancar	27.0	73.0	100.0

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa kredit macet yang mungkin terjadi adalah sebesar 44,57% dengan ketepatan prediksi dari model diskriminan sebesar 76,5%. Karena nilai ketepatan 76,5% > 50% maka model diskriminan tersebut dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kasus pada pinjaman anggota.

KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis resiko kredit dengan metode K-Nearest Neighbor dan Analisis Diskriminan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Model yang dihasilkan dari analisis resiko kredit dengan menggunakan Analisis Diskriminan adalah $Y = 1,160 - 0,095x_3 + 1,915x_4$. Model tersebut menyatakan bahwa variabel jangka waktu berkorelasi negatif terhadap kelancaran, yang berarti bahwa semakin tinggi jangka waktu maka tingkat kelancaran semakin rendah, dan sebaliknya. Sedangkan variabel jaminan berkorelasi positif terhadap kelancaran, yang berarti bahwa dengan adanya jaminan maka tingkat kelancaran semakin tinggi, dan sebaliknya.
2. Ketepatan prediksi resiko kredit yang dianalisis dengan metode K-Nearest Neighbor adalah sebesar 84,33% pada nilai k adalah 7. Sedangkan ketepatan prediksi resiko kredit yang dianalisis dengan Analisis Diskriminan adalah sebesar 76,5%.
3. Hasil prediksi resiko kredit di KOPINKRA Sumber Rejeki dengan menggunakan metode K-Nearest Neighbor menunjukkan bahwa kredit macet yang mungkin terjadi adalah sebesar 25,90% dan Analisis Diskriminan adalah sebesar 44,57%.

DAFTAR PUSTAKA

Ghozali, I. (2002). “Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS”. Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang.

Kusrini, dkk. 2009. *Perbandingan Metode Nearest Neighbor dan Algoritma C4.5 Untuk Menganalisis Kemungkinan Pengunduran Diri Calon Mahasiswa di STMIK AMIKOM Yogyakarta*. STMIK AMIKOM. Yogyakarta

Maria, dkk. 2012. *Analisis Diskriminan terhadap Perilaku Mahasiswa dalam mengkonsumsi Makanan cepat Saji (Studi Kasus : Para Mahasiswa UPI, ITB, UNLA dan UIN Sunan Gunung Djati)*. ‘

Santosa, B. 2007. *Data Mining : Teknik Pemanfaatan Data untuk Keperluan Bisnis*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Sumbodo, J. 2010. *Perbandingan Model Diskriminan dan Model Logit untuk Memprediksi Financial Distress Perusahaan Manufaktur di BEI*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

ESTIMASI PENYESUAIAN LIKUIDITAS TERHADAP VALUE AT RISK DENGAN METODE VARIAN KOVARIAN

Noviana Pratiwi

Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi IST AKPRIND Yogyakarta
e-mail : pratiwi.noviana@gmail.com

ABSTRACT

Value-at-Risk (VaR) is a concept used for measuring both market and credit risk for tradable securities. VaR lacks a rigorous treatment of liquidity risk, market liquidity should be considered in capital market due to be role optimally in supporting economic growth, the market must be liquid. Incorporation of liquidity risk into VaR model is called Liquidity adjusted Value at Risk (LVaR). Last chapter will be give empirical analysis of VaR and LVaR calculation on two portfolio wich separated based on liquidity risk value for comparing the risk level from less liquidity portfolio and high liquidity portfolio.

Keyword : market risk, Value at Risk (VaR), liquidity, Liquidity adjusted Value at Risk (LVaR)

PENDAHULUAN

Pasar Modal merupakan tempat perusahaan mencari dana guna membiayai kegiatan usahanya. Sedangkan bagi investor, pasar modal merupakan alternatif investasi yang memberikan potensi keuntungan dengan resiko yang bisa diperhitungkan. Manajemen risiko digunakan untuk mengolah risiko sehingga suatu perusahaan dapat bertahan. Salah satu risiko dalam dunia portofolio pasar modal yang tidak boleh diabaikan adalah risiko likuiditas. Likuiditas menjadi salah satu sumber risiko yg dihadapi investor jika saham tersebut tidak dapat secara cepat diperjualbelikan.

Risiko investasi dipasar modal pada perinsipnya semata-mata berkaitan dengan kemungkinan terjadinya fluktuasi harga (price volatility). Value at Risk (*VaR*) merupakan salah satu alat untuk mengukur risiko pasar yang ada. *VaR* pada saat ini banyak diterima, diaplikasikan dan dianggap sebagai metode standar dalam mengukur risiko. Secara sederhana, *VaR* ingin menjawab pertanyaan “seberapa besar investor dapat merugi selama waktu tertentu dengan tingkat kepercayaan tertentu”. Investor dapat menggunakan nilai *VaR* sebagai salah satu tolok ukur dan dapat menetapkan seberapa besar target risiko sehingga investor bisa mengelola risiko tersebut.

Perhitungan nilai *VaR* diasumsikan bahwa pasar modal itu sifatnya likuid. Risiko likuiditas tidak boleh diabaikan dalam perhitungan risiko. Tingkat risiko yang disesuaikan dengan tingkat likuiditas ini dinamakan *Liquidity adjusted Value at Risk (LVaR)*. Ukuran risiko likuiditas terbagi menjadi dua macam yaitu likuiditas eksogen dan likuiditas endogen. Dalam tulisan ini akan difokuskan pada pencarian ukuran risiko likuiditas eksogen. Ukuran risiko disini dicari dengan menggunakan bid-ask spread.

Tujuan tulisan ini adalah mempelajari perhitungan *Liquidity adjusted Value at Risk* dalam portofolio dengan membandingkan dua portofolio yang berbeda. Dalam tulisan ini akan diasumsikan bahwa data yang digunakan yaitu data saham berdistribusi normal. Sehingga return dan portofolionya juga berdistribusi normal. Sedangkan Uji yang digunakan untuk menguji keakuratan metode adalah uji kupiec.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam makalah ini meliputi metode studi pustaka, pengambilan data di lapangan, dan melakukan analisa dengan bantuan perhitungan digunakan Excel dan Eviews.

PEMBAHASAN

Value at Risk (VaR)

Value at Risk merupakan estimasi kerugian maksimum yang bisa saja terjadi pada periode waktu tertentu dengan kemungkinan tertentu. *VaR* dihitung pada waktu yang tidak akan melebihi

periode waktu yang ditentukan. Untuk perhitungan VaR dasar, akan digunakan Profit/Loss (P/L) dari aset. Profit/Loss (P/L) ini diasumsikan berdistribusi normal dengan mean $\mu_{P/L}$ dan varian $\sigma_{P/L}^2$. Metode yang akan dibahas untuk mengukur estimasi VaR kali ini adalah metode varian-kovarian.

Metode varian kovarian

Dalam pendekatan ini diasumsikan return berdistribusi normal dan menggunakan matriks yang berisi elemen-elemen volatilitas, korelasi dan bobot aset. Karena return diasumsikan berdistribusi normal, maka return dari portofolio juga berdistribusi normal. Varian dalam metode ini dihitung menggunakan matrik kovarian dari return. Varian tersebut kemudian digunakan untuk menghitung VaR

$$VaR = Z_{\alpha} \sqrt{x' \Sigma x}$$

dengan tingkat kepercayaan $(1 - \alpha)$, x merupakan vektor proporsi dari portofolio pada masing-masing aset. Dan Σ merupakan matrik varian-kovarian dari return. Dalam perhitungan VaR, volatilitas merupakan suatu hal yang sangat penting karena volatilitas dapat menggambarkan seberapa besar penyimpangan yang terjadi antara nilai yang diharapkan dengan nilai sesungguhnya yang terjadi. Alasan tersebut sejalan dengan variansi atau standar deviasi, sehingga alat ukur dalam menghitung VaR digunakan variansi atau standart deviasi.

Equall Weight Volatility

Dalam metode ini volatilitas akan memberikan nilai pembobotan yang sama untuk semua observasi sampai observasi ke T dan tidak ada bobot yang lain. Estimator untuk perhitungan volatilitas secara historis adalah

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T r_{t-i}^2}$$

dimana T merupakan waktu periode.

Jika *extreme event* terjadi pada masa lampau, dengan bobot yang sama maka pengaruhnya akan terus berlangsung dan volatilitasnya akan meningkat meskipun *extreme event* telah kembali pada level awal. Inilah yang dinamakan *ghosting feature*. Maka dari itu estimasi volatilitas dengan periode yang lebih lama akan lebih stabil daripada dengan periode yang lebih kecil.

Exponentially Weight Moving Average (EWMA)

Model EWMA merupakan salah satu model yang digunakan dalam mengestimasi besarnya volatilitas dalam satu periode waktu tertentu baik harian, bulanan maupun tahunan. Metode ini juga merupakan salah satu cara untuk mengatasi masalah *ghosting feature*. Metode ini didasarkan pada bobot yang berbeda, pada return yang terdahulu diberikan bobot yang lebih kecil sesuai dengan posisi masing-masing return dalam satu set data, dan untuk return sekarang menerima bobot yang lebih tinggi. Metode EWMA lebih cepat bereaksi terhadap shock volatilitas daripada dalam kasus estimasi *equally weight*, dan metode ini tidak ada perubahan volatilitas secara mendadak ketika terjadi *extrem event*, seperti bobot pada observasi yang menurun secara eksponensial. Suatu EWMA periode dari deret waktu X_t didefinisikan sebagai berikut:

$$\frac{X_{t-1} + \lambda X_{t-2} + \lambda^2 X_{t-3} + \dots + \lambda^{n-1} X_{t-n}}{1 + \lambda + \lambda^2 + \dots + \lambda^{n-1}}, 0 < \lambda < 1$$

Untuk $n \rightarrow \infty$ penyebut akan konvergen ke $\frac{1}{1-\lambda}$ sehingga EWMA tak hingga dapat ditulis

$$\sigma_t^2 = (1-\lambda) \sum_{i=1}^T \lambda^{i-1} r_{t-i}^2$$

Estimasi volatilitas dari EWMA adalah

$$\sigma_t = \sqrt{(1-\lambda) \sum_{i=1}^T \lambda^{i-1} r_{t-i}^2}$$

Dengan λ adalah decay factor atau faktor perusak yang bernilai konstan besarnya antara 0 dan 1. Untuk $t = 1$ maka λ pangkat 0, $t = 2$ maka λ pangkat 1, jika $t = 3$ maka λ pangkat 2 dan seterusnya, jika t besar, maka pangkatnya juga besar sehingga jika t lebih banyak maka bobotnya akan lebih kecil.

$$\sigma_t^2 = \lambda \sigma_{t-1}^2 + (1-\lambda)r_{t-1}^2$$

Volatilitas dari periode ke t akan diperoleh dari return pada hari sebelumnya dan estimasi volatilitas sebelumnya. Jadi dalam metode EWMA dapat diketahui estimasi volatilitas harian dari data return harian yang diketahui. Jika λ bernilai besar maka bobot akan turun secara pelan pelan dan jika λ bernilai rendah maka bobot akan turun secara cepat. RiskMetrics-Technical Document menyarankan pengambilan λ sebesar 0,94 untuk return harian.

Estimasi Risiko Likuiditas

Likuiditas saham merupakan jumlah transaksi saham di pasar modal dalam periode tertentu. Semakin tinggi frekuensi transaksi maka semakin tinggi likuiditas saham, hal ini berarti saham tersebut semakin diminati para investor dan hal itu akan meningkatkan harga saham yang bersangkutan. Suatu saham dikatakan likuid jika saham tersebut mudah diperjualbelikan dalam pasar modal. Secara sederhana likuiditas menunjukkan kemudahan untuk menjual atau membeli suatu aset pada harga yang wajar. Saham dikatakan tidak likuid jika investor atau agen harus menunggu untuk melakukan transaksi jual beli saham.

Penggabungan risiko likuiditas ke dalam model VaR dibagi menjadi dua kelas karena tingkat likuiditas juga dibedakan menjadi dua, yaitu pengembangan model dari penggabungan risiko likuiditas endogen dan eksogen, dimana dalam penggabungan risiko likuiditas endogen dibahas risiko likuiditas untuk para agen dan menyajikan efek kuantitas likuiditas pada harga aset. Sedangkan pengembangan metode penggabungan risiko likuiditas eksogen disesuaikan dengan *spread* yang ada pada pasar. Karena yang dibahas risiko pasar, maka pembahasan akan difokuskan pada perhitungan VaR dengan penggabungan risiko likuiditas eksogen.

Pengembangan model Value at Risk dengan menggabungkan risiko likuiditas eksogen ke dalam model diperkenalkan oleh Bangia, Diebold, Schuermann dan Stroughair (1999). Ide utama dari model ini adalah bahwa pasar tidaklah likuid secara sempurna dalam posisi likuiditas, harga transaksi yang terjadi bukan diambil dari mid price namun harga disesuaikan dengan nilai penyebaran yang ada.

Harga aset terburuk dan nilai penyebaran (*spread*) terburuk perlu dipertimbangkan dalam perhitungan VaR. Untuk itu perlu dicari harga aset terburuk dengan tingkat kepercayaan tertentu dalam waktu horizon satu hari. Return dari aset satu hari ditentukan sebagai logaritma dari rasio dua harga terbaru dan diasumsikan berdistribusi normal dengan ekspektasi $E(r_t) = \mu_r$ dan varian σ_r^2 :

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \sim N(\mu_r, \sigma_r^2)$$

Selanjutnya kita tentukan r^* oleh

$$Z_{1-\alpha} = \frac{r^* - \mu_r}{\sigma_r}$$

$$r^* = \mu_r + Z_{1-\alpha} \sigma_r$$

$$r^* = \mu_r - \sigma_r z_\alpha$$

gunakan persamaan diatas untuk menentukan nilai terburuk dari aset P^* yaitu nilai P_t yang sesuai dengan kerugian VaR dan kemudian dapat disimpulkan :

Dengan $VaR = P_{t-1} - P^*$ maka

$$P - VaR = P_{t-1} \left[1 - e^{(\mu_r - \sigma_r z_\alpha)} \right]$$

Perhitungan harga terburuk (P^*) dan potensi kerugian ($P - VaR$) diatas hanya memperhatikan volatilitas dari mid price, sedangkan kebanyakan dari kita mengharapkan nilai bid-ask menjadi setengah dari *spread*. Selanjutnya mulai bekerja pada *spread* yang mempengaruhi *Value at Risk*. Nilai

penyebaran (*spread*) tersebut digunakan untuk mencari nilai likuiditas dari risiko eksogen, nilai likuiditas (*COL*) tersebut ditentukan setengah dari *spread* relatif dan dapat dicari dengan rumus

$$COL = \frac{1}{2} \left[P_i (\bar{S} + a\sigma) \right]$$

Dengan \bar{S} merupakan rata-rata penyebaran atau rata-rata *spread*

$$S = \frac{ask - bid}{mid}$$

P_i adalah *mid price* dari aset

σ adalah volatilitas dari *spread*

a adalah faktor skala dengan tingkat kepercayaan 95%

Mencari *spread* relatif sama dengan mencari return relatif. Karena *spread* diasumsikan berdistribusi normal, maka berlaku

$$Z_{1-\alpha} = \frac{S^* - \mu_s}{\sigma_s}$$

$$S^* = \mu_s + Z_{1-\alpha} \sigma_s$$

$$S^* = \bar{S} + Z_{1-\alpha} \sigma_s$$

S^* merupakan *spread* relatif yang digunakan untuk mencari cost of liquidity. Karena *spread* berdistribusi normal maka Z_{95} mempunyai koefisien kurtosis sebesar 3, nah angka 3 inilah yang kemudian digunakan sebagai pengali volatilitas *spread* dalam mencari tingkat likuiditas.

Setelah nilai likuiditas eksogen diketahui, selanjutnya dicari Value at Risk dengan penggabungan likuiditas (LVaR) dengan persamaan :

$$LVaR = VaR + COL$$

$$LVaR = P_{t-1} \left[1 - e^{(\mu_r - \sigma_r z_\alpha)} \right] + \frac{1}{2} \left[P_i (\bar{S} + a\tilde{\sigma}) \right]$$

Semua persamaan diatas diturunkan untuk aset tunggal dalam satu hari waktu horison, jika ingin mencari LVaR untuk portofolio digunakan bentuk dasar pencarian LVaR yaitu dengan menjumlahkan VaR sederhana dengan komponen yang merefleksikan risiko likuiditas eksogen.

Backtesting

Backtesting adalah istilah untuk pengecekan apakah model yang kita gunakan sudah sesuai dengan realitas yang ada. Metode *Backtesting* yang akan digunakan adalah uji kupiec. Hipotesis dari uji kupiec adalah

$$H_0 : P(x) \leq P^*$$

$$H_1 : P(x) > P^*$$

Probabilitas dari banyaknya data yang melebihi nilai VaR akan kurang dari P^* yang merupakan batas toleransi besarnya penyimpangan dari VaR yang nilainya ditentukan atau sebesar 1 dikurangi interval konfidensi. Jumlah x merupakan jumlah data observasi return yang melebihi nilai VaR mengikuti distribusi binomial. Dengan n jumlah observasi statistik hitung adalah

$$\hat{\alpha} = P(X \geq x | P = P^*) = 1 - P(X \leq x | P = P^*)$$

Mengingat $P(X \leq x | P = P^*) = \sum_{i=0}^x \binom{n}{i} (P^*)^i (1 - P^*)^{n-i}$ adalah probabilitas komulatif distribusi binomial,

maka

$$P(X \leq x | P = P^*) = \sum_{i=0}^x \binom{n}{i} (P^*)^i (1 - P^*)^{n-i} = 1 - \hat{\alpha}$$

$$\hat{\alpha} = 1 - \sum_{i=0}^x \binom{n}{i} (P^*)^i (1 - P^*)^{n-i}$$

H_0 ditolak jika $\hat{\alpha}$ kurang dari tingkat signifikan α . Jika $\hat{\alpha}$ lebih dari tingkat signifikan maka H_0 diterima dan dapat dikatakan bahwa model Value at Risk baik digunakan.

Aplikasi numerik

Analisis secara empiris akan dibahas dua portofolio akan disusun untuk mengetahui pengaruh dari penggabungan likuiditas terhadap tingkat kerugian. Portofolio tersebut dibedakan menjadi portofolio dengan tingkat likuiditas yang tinggi dan rendah. Portofolio pertama disusun dari tiga saham yang tergabung dalam LQ45, portofolio selanjutnya diambil diluar LQ45.

Portofolio yang pertama terdiri dari tiga saham yang likuiditasnya tinggi yaitu saham-saham dari perusahaan PT Bank Central Asia Tbk (BBCA.JK), PT Bank Negara Indonesia (Persero) Tbk (BBNI.JK) dan PT Bank Mandiri (Persero) Tbk (BMRI.JK). Sedangkan portofolio yang kedua terdiri dari saham yang tingkat likuiditasnya rendah yaitu saham-saham dari perusahaan PT Bank Cimb Niaga Tbk (BNGA.JK), PT Bank Permata Tbk (BNLI.JK) dan PT Bank Himpunan Saudara 1906 Tbk (SDRA.JK).

Tujuan dari estimasi untuk dua portofolio ini adalah untuk membandingkan antara VaR biasa dengan L-VaR dalam dua kasus. Data yang dianalisis diambil dari www.finance.yahoo.com dan www.idx.com untuk data harian periode 04 januari 2010 sampai dengan 18 agustus 2011.

Metode varian-kovarian

Bobot volatilitas sama

VaR dari dua portofolio dihitung dengan asumsi log return berdistribusi berdistribusi normal. Dengan tingkat kepercayaan $(1 - \alpha) = 95\%$ maka $Z_\alpha = -1,65$ dan $x = (1/3, 1/3, 1/3)$ sedangkan Σ merupakan matrik varian kovarian

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,000007 & 0,000208 & 0,000231 \\ 0,000208 & 0,000485 & 0,000243 \\ 0,000231 & 0,000243 & 0,000477 \end{bmatrix}$$

Maka VaR dan LVaR untuk portofolio dengan tingkat likuiditas tinggi.

$$VaR = Z_\alpha \sqrt{\begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,000007 & 0,000208 & 0,000231 \\ 0,000208 & 0,000485 & 0,000243 \\ 0,000231 & 0,000243 & 0,000477 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{bmatrix}}$$

$$VaR = -1,65 * 0,016099$$

$$VaR = -0,026482$$

Dari hasil diatas, dengan tingkat risiko sederhana (VaR biasa) diketahui bahwa kerugian maksimum yang dapat ditolerir oleh investor sebesar 2,6482%.

Jika risiko likuiditas digabungkan, nilai likuiditasnya

$$\begin{aligned} COL &= \frac{1}{2} (\mu_{spread} + a\sigma_{spread}) \\ &= \frac{1}{2} (0,030286 + 3 * 0,013678) \\ &= 0,03566 \end{aligned}$$

Tingkat likuiditas sebesar 3,566%

$$LVaR = 2,6482\% + 3,566\%$$

$$= 6,2143\%$$

Artinya, kerugian maksimum yang dapat ditolerir dengan adanya pengaruh risiko likuiditas sebesar 6,2143%.

VaR dan LVaR untuk portofolio dengan tingkat likuiditas rendah analog dengan VaR dan LVaR untuk tingkat likuiditas tinggi.

$$VaR = Z_\alpha \sqrt{\begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{bmatrix}}$$

$$VaR = -1,65 * 0,020065$$

$$VaR = -0,033007$$

Dari hasil diatas dapat diketahui jika kerugian maksimum yang bisa ditoleransi oleh investor adalah sebesar 3,3%.

Nilai likuiditas dari portofolio dengan tingkat likuiditas rendah

$$LC = \frac{1}{2}(\mu_{spread} + a\sigma_{spread})$$

$$= \frac{1}{2}(0,036901 + 3 * 0,099012)$$

$$= 0,166968$$

Tingkat likuiditasnya 16,6968% , maka LVaR nya

$$LVaR = 3,3007\% + 16,6968\%$$

$$= 19,9975\%$$

Jadi kerugian maksimum yang bisa ditoleransi adalah 19,9975% dari aset yang diinvestasikan.

Dari hasil yang diperoleh ternyata portofolio dengan likuiditas rendah mempunyai tingkat risiko lebih tinggi (19,9975%) dibandingkan dengan portofolio dengan tingkat likuiditas yang tinggi (tingkat risiko 6,2143%). Hal ini sesuai dengan apa yang diharapkan.

Exponentially weight moving average (EWMA)

Nilai VaR dan LVaR dalam metode ini digunakan volatilitas yang ditentukan dengan metode EWMA, yaitu memberi bobot yang berbeda pada tiap return dari masing masing aset yaitu bobot untuk return hari ini lebih besar daripada return untuk hari sebelumnya. Return yang telah diberi bobot tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan volatilitas dari portofolio dengan likuiditas tinggi. Dengan $\lambda = 0,94$ (diambil dari RiskMetrics) kemudian dihitung volatilitas masing-masing aset

dengan rumus $\sigma_i^2 = (1 - \lambda) \sum_{i=1}^T \lambda^{i-1} r_{i-i}^2$ dan diperoleh nilai volatilitas dari return dengan rumus

$$\sigma(r) = \sqrt{w_1^2 \sigma_1^2 + w_2^2 \sigma_2^2 + w_3^2 \sigma_3^2 + 2w_1w_2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2 + 2w_1w_3\rho_{13}\sigma_1\sigma_3 + 2w_2w_3\rho_{23}\sigma_2\sigma_3}$$

$$\sigma(r) = 0,013103$$

Dari nilai volatilitas 0,13103 dan tingkat keyakinan 95% diperoleh VaR sebesar 6,47%. Selanjutnya mencari volatilitas dari data spread dengan cara yang sama dengan dan menghasilkan volatilitas spread sebesar 0,021198. Maka dengan rumus $COL = \frac{1}{2} [P_i(\bar{S} + a\tilde{\sigma})]$ diperoleh nilai likuiditas 0,0469 dan LVaR sebesar 6,85%.

Cara yang sama digunakan untuk mencari VaR dan LVaR dari portofolio dengan likuiditas rendah dan diperoleh VaR sebesar 2,94% dan LVaR sebesar 9,3118%.

Sama dengan metode sebelumnya, dalam metode ini terlihat jika tingkat risiko untuk portofolio dengan likuiditas rendah lebih beresiko jika dibandingkan dengan potofolio dengan likuiditas tinggi.

Backtesting

Model yang sudah digunakan untuk mencari tingkat risiko diatas perlu di uji validasinya sebelum model tersebut digunakan untuk praktek. Untuk menguji validitas model digunakan backtesting. Backtesting yang akan digunakan disini adalah uji kupiec.

Jumlah penyimpangan dari masing masing metode adalah

Terlihat dari tabel 1 jika sebagian besar LVaR akan mengurangi penyimpangan dari VaR.

Dari jumlah penyimpangan diatas bisa dicari nilai $\hat{\alpha}$ dengan rumus

$$\hat{\alpha} = 1 - \sum_{i=0}^x \binom{n}{i} (P^*)^i (1 - P^*)^{n-i}$$

Jumlah penyimpangan dari masing masing metode adalah

Tabel 1. penyimpangan tiap metode

Metode	liquid	less liquid
	x	x
VaR dengan Varian kovarian bobot sama	20	12
LVaR dengan Varian kovarian bobot sama	1	35
VaR EWMA	33	17
LVaR EWMA	0	0

Hasilnya seperti terlihat dibawah ini

Tabel 1. penyimpangan tiap metode

PORTOFOLIO DENGAN LIKUIDITAS TINGGI				
VCV				
X	equal weight		EWMA	
	VaR	LVaR	VaR	LVaR
Σ	20	1	33	0
alfa topi	0.559112062	2.70958E-08	0.997931117	1.22869E-09
	Diterima	diterima	Ditolak	diterima

Tabel 2. uji kupiec poertofolio dengan likuiditas tinggi

Terlihat bahwa metode EWMA untuk pencarian VaR menolak Ho. Karena tidak memenuhi uji kupiec maka metode ini kurang akurat dalam pencarian nilai VaR. Maka metode pencarian tingkat risiko yang akurat beserta nilai risikonya adalah sebagai berikut :

Tabel 3. VaR dan LVaR dari portofolio dengan likuiditas tinggi

Metode	VaR	LvaR
Varian kovarian bobot sama	2,65 %	6,21 %
EWMA	-	6,85 %

Nilai VaR tertinggi diperoleh dengan metode Varian kovarian bobot sama dan LVaR tertinggi diperoleh dari metode VCV dengan pendekatan EWMA.

Uji kupiec untuk portofolio dengan tingkat likuiditas rendah :

Tabel 4. uji kupiec dari portofolio dengan likuiditasi tingkat rendah

PORTOFOLIO DENGAN LIKUIDITAS RENDAH				
VCV				
X	equal weight		EWMA	
	VaR	LVaR	VaR	LVaR
Σ	12	35	17	0
alfa topi	0.035505904	0.999428318	0.291161439	1.22869E-09
	0.964494096	0.000571682	0.708838561	0.999999999
	diterima	ditolak	diterima	diterima

Terlihat bahwa metode varian kovarian bobot sama untuk pencarian LVaR menolak Ho. Maka metode ini kurang akurat untuk pencarian nilai LVaR.

Maka metode pencarian tingkat risiko yang akurat beserta nilai risikonya adalah sebagai berikut :

Tabel 5. nilai VaR dan LVaR dari portofolio dengan tingkat likuiditas rendah

Metode	VaR	LVaR
Varian kovarian bobot sama	3,30 %	-
EWMA	2,94 %	9,3118 %

Nilai VaR tertinggi diperoleh dengan metode Varian kovarian bobot sama dan LVaR tertinggi diperoleh dari metode Varian kovarian dengan pendekatan EWMA. Hasil ini sama persis dengan portofolio dengan tingkat likuiditas tinggi. Dari hasil menyebutkan portofolio dengan risiko likuiditas yang rendah mempunyai tingkat risiko yang lebih tinggi daripada portofolio dengan tingkat likuiditas tinggi. Metode terbaik adalah metode yang mempunyai pengurangan penyimpangan terbesar dari VaR ke LVaR yaitu metode varian kovarian bobot sama untuk portofolio dengan tingkat likuiditas tinggi sebanyak 19 penyimpangan.

KESIMPULAN

Value at Risk (VaR) adalah salah satu alat ukur untuk menghitung risiko pasar. VaR menjadi alat ukur paling penting dalam manajemen risiko. Namun demikian ada hal yang tidak kalah penting dibanding VaR dalam perhitungan risiko yaitu tingkat risiko likuiditas pasar. Risiko likuiditas digabungkan ke dalam perhitungan VaR menjadi *Liquidity adjusted Value at Risk* (LVaR) yang akan menghasilkan pengurangan penyimpangan. LVaR tersebutlah yang telah dibahas dalam makalah ini. Setelah mempelajari LVaR maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Ada tiga metode utama dalam perhitungan VaR yaitu metode varian kovarian dengan pembobotan yang sama dan dengan pendekatan EWMA, simulasi historis dengan pembobotan yang sama dan dengan pendekatan hybrid, metode yang terakhir adalah pendekatan monte carlo.
2. Tingkat likuiditas dapat dicari lewat spread, yaitu setengah dari rata-rata spread relatif.
3. Cara menghitung risiko yang disesuaikan dengan risiko likuiditas adalah dengan menggabungkan tingkat risiko dengan tingkat likuiditas yaitu dengan menjumlahkan tingkat risiko keduanya.
4. Analisis yang diaplikasikan adalah portofolio dengan tingkat likuiditas yang tinggi dan portofolio dengan likuiditas yang rendah, hal ini dimaksudkan untuk membandingkan tingkat risiko likuiditas dari dua portofolio tersebut. Dari hasil menyebutkan portofolio dengan risiko likuiditas yang rendah mempunyai tingkat risiko yang lebih tinggi daripada portofolio dengan tingkat likuiditas tinggi. Namun tidak semua metode akurat dalam perhitungan VaR. Untuk portofolio tinggi, metode EWMA. Dalam perhitungan LvaR, metode Varian kovarian dengan bobot sama yang tidak akurat pada portofolio tingkat likuiditas rendah. Metode terbaik adalah metode yang mempunyai pengurangan penyimpangan terbesar dari VaR ke LVaR yaitu metode varian kovarian bobot sama untuk portofolio dengan tingkat likuiditas tinggi sebanyak 19 pengurangan dan metode simulasi historis untuk portofolio dengan tingkat likuiditas rendah dengan 19 penyimpangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahumud, Y., and Mendelson, H., December 1986, "Asset Pricing and the Bid-Ask Spread." *Journal Financial Economic* 17: 223-249
- Bungia, A., Diebold, F.X., Schuermann, T., and Stroughair, J.D., 1999, "Modeling Liquidity risk with implication for traditional market risk measurement and management *Working paper, The Wharton Financial Institutions Center*
- Chordia, T., Roll, Richard and Subrahmanyam, A., April 2000, "Comonality in Liquidity." *J. Financial Econ.* 56: 3-28
- Chordia, T., Roll, Richard and Subrahmanyam, A., April 2001 "Market Liquidity and Trading Activity." *J. Financial Econ* 56: 501-530
- Gujarati, D., 2006, *Dasar-Dasar Ekonometrika*, Edisi 3, ERLANGGA, Jakarta.
- Hanafi, M.M., 2006, "*manajemen Risiko*", UPP STIM YKPN, Yogyakarta
- Morgan, J.P., and Reuters, 1995, "*RiskMetrics Technical Document*", Morgan Guaranty Trust Company, New York
- Orlova, E. (september 2008), "Estimation liquidity Adjusted VaR from Historical Data", *Thesis*, Master of Economic and Management Science, Humboldt-University Berlin
- Stambaugh, R., Jun 2003, "Liquidity and Expected Stock Returns," *Journal of Political Economy* 642-685
- Sunaryo, T., 2007, *Manajemen Risiko Finansial*, Salemba Empat, Jakarta
- Sumodiningrat, G., 2007, *Ekonometrika Pengantar* BPFE-YOGYAKARTA, Yogyakarta

PEMAKAIAN BIODIESEL PADA TRANSPORTASI DAN INDUSTRI MENGURANGI DAMPAK EMISINYA TERHADAP LINGKUNGAN

Agung Wijono¹

Balai Rekayasa Disain dan Sistem Teknologi – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung 480, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, 15314 Telp. 021-7563213
e-mail: agung.wijono@gmail.com

ABSTRACT

Minimum obligations on the use of biodiesel blended on transportation and industry will have an impact on the increase in the volume and frequency blending biodiesel into diesel fuel. Required guarantee certainty of biodiesel volume is added to the diesel fuel and the assurance quality of the fuel blending results (B-XX), so that required a special study of the blending of biodiesel and diesel fuel with the properties and characteristics as well as influence the emission produced on the environmental impact incurred. Environmental impact assessment carried out using the method of Life Cycle Assessment (LCA) Cradle to Wheel, which starts from land clearing, plantation (palm oil), production of raw materials (crude palm oil), the production of biodiesel (fatty acid methyl ester), biodiesel blending, the distribution at the gas stations, and the use of biodiesel blends on vehicles transportation and industrial. The purpose of this study was to determine the advantages of the use of biodiesel blends on vehicles transportation and industrial, as well as know how far biodiesel blends can reduce emissions to suppress influence of impact on the environment. The results of this study show any effect of the biodiesel blend quality on the engine performance, exhaust emissions, combustion engines, as well as lubrication. The higher the biodiesel blend, the lower the emissions up to reduce the influence of the environment impact that occurred. Various scenarios of biodiesel blends showed a significant reduction in environmental impacts ranging from B20 to B50. The optimum of biodiesel blends in terms of the economic, technical, and environmental are on B30. The use of B30 to transport without required modifications to the engine.

Keywords: *Biodiesel blends, transport emissions, environmental impact, alternative fuels, environmentally friendly and sustainable.*

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan kebijakan tentang Program Pengembangan Energi Nasional pada tahun 2006, dimana ditargetkan pemanfaatan Bahan Bakar Nabati sebesar 5% dalam bauran energi nasional pada tahun 2025. Kementerian ESDM telah mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM No.25 Tahun 2013 tentang Perubahan atas PerMen ESDM No.32 Tahun 2008 tentang Penyediaan Pemanfaatan & Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) Sebagai Bahan Bakar Lain. Didalamnya dijelaskan percepatan target pentahapan kewajiban minimal dalam pemanfaatan biodiesel. Tujuan kajian ini adalah untuk mengetahui keuntungan dari pemakaian campuran biodiesel pada kendaraan transportasi dan industri, serta mengetahui sampai sejauh mana campuran biodiesel bisa mengurangi emisinya untuk menekan pengaruh dampak terhadap lingkungan.

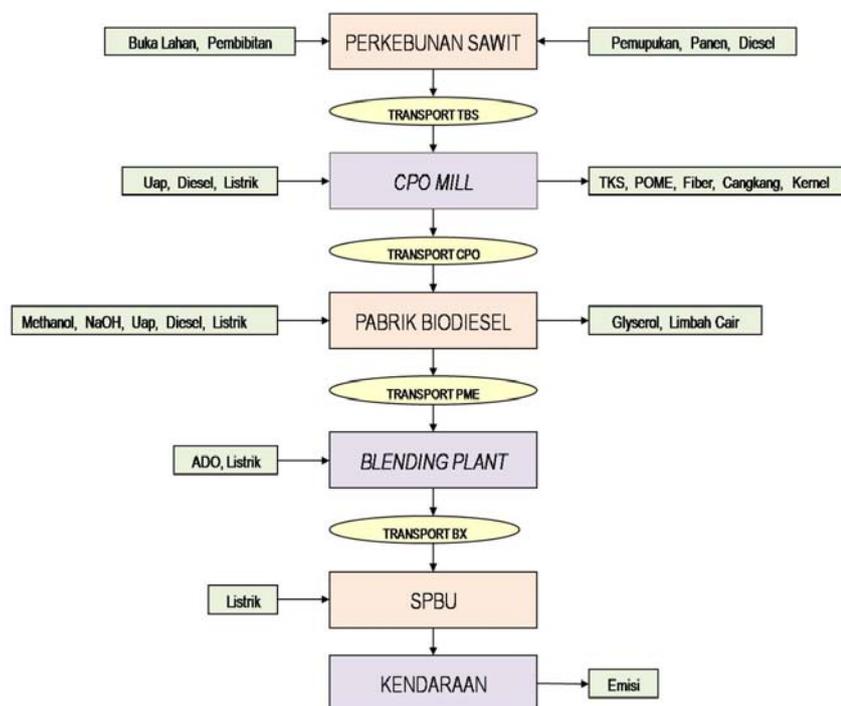
Biodiesel (*methyl ester*) adalah bahan bakar nabati untuk mesin ataupun motor diesel. Biodiesel dapat disintesa dengan mereaksikan 80-90% minyak nabati, 10-20% alkohol dan 0,35-1,5% katalis. Reaksi pembuatan biodiesel tersebut dinamakan transesterifikasi dan bertujuan untuk menurunkan viskositas dari minyak. Sifat dan karakteristik biodiesel sangat bergantung pada sumber dan jenis bahan bakunya, dimana tiap jenis bahan baku memiliki komposisi senyawa asam lemak jenuh dan tidak jenuh yang berbeda. Kecenderungan sifat dan karakteristik biodiesel dengan kandungan mayoritas senyawa jenuh dan senyawa tidak jenuh tunggal menyebabkan biodiesel mempunyai angka setana yang tinggi, viskositas yang tinggi, titik tuang dan titik kabut yang tinggi dan stabilitas oksidasi yang tinggi. Standar dan mutu Biodiesel yang dipasarkan di dalam negeri diatur berdasarkan Keputusan Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (DJ-EBTKE) Nomor 723 K/10/DJE/2013 yang mengacu pada SNI 7182:2012 tentang Biodiesel, yang merupakan revisi dari SNI 7182:2006.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang stabil, bersifat mengurangi tingkat emisi gas buang, bercampur secara sempurna dengan minyak diesel mineral (solar) dan bekerja dengan baik pada semua jenis mesin diesel. Selain mengurangi emisi keunggulan biodiesel yang utama adalah tidak diperlukan modifikasi mesin untuk menjalankan mesin diesel. Biodiesel dapat dituang langsung kedalam tangki bahan bakar kendaraan. Biodiesel biasanya digunakan dalam bentuk campuran dengan minyak diesel. Biodiesel campuran atau BXX merupakan bahan bakar yang terdiri dari XX% biodiesel dan (100-XX)% minyak diesel (solar). Contohnya adalah B100 merupakan biodiesel murni, sedangkan B20 merupakan campuran 20% biodiesel dan 80% minyak diesel (solar). Biodiesel murni maupun campuran dapat digunakan pada semua jenis mesin diesel seperti pada kendaraan diesel untuk penumpang, truk, kereta, kapal, serta peralatan traktor, genset dan mesin industri lainnya.

Salah satu keunggulan biodiesel dibanding dengan minyak diesel adalah ramah lingkungan, tidak beracun, dan bebas sulfur. Biodiesel merupakan satu-satunya bahan bakar alternatif yang telah selesai menjalani test *health effect* yang berat dari persyaratan *The Clean Air Act*. Biodiesel (100%) telah diteliti mengurangi emisi dibanding minyak diesel sebagai berikut mengurangi emisi partikulat 40-60%, emisi gas karbonmonoksida (CO) 10-50%, emisi gas hidrokarbon (HC) 10-50%, emisi *aldehyde-aromatic* 13% dan emisi gas beracun *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH, *carcinogenic*) 70-97%. Beberapa sifat kimia fisika biodiesel telah diidentifikasi memiliki korelasi dengan kandungan emisi gas buang, diantaranya bilangan iodine (kandungan rantai tak jenuh), panjang rantai hidrokarbon, densitas, bilangan setana, viskositas, kandungan oksigen.

METODE PENELITIAN

Kajian dilakukan memakai metoda *Life Cycle Assessment - Cradle to Wheel*, yang dimulai dari pembukaan lahan, perkebunan, produksi bahan baku, produksi biodiesel, pencampuran biodiesel, distribusi di SPBU, serta pemakaian campuran biodiesel di kendaraan transportasi dan industri.



Gambar 1. Ruang Lingkup LCA - *Cradle to Wheel* Biodiesel Sawit

1. Rantai pasok industri biodiesel sawit : perkebunan sawit, transport tandan buah segar sawit (FFB) dari perkebunan ke pabrik kelapa sawit (CPO Mill), proses pengolahan CPO, transport CPO dari CPO Mill ke pabrik biodiesel, proses pengolahan biodiesel, transport biodiesel dari pabrik biodiesel ke blending plant, proses pencampuran biodiesel, transport campuran biodiesel dari blending plant

- ke SPBU, proses pengisian campuran biodiesel ke kendaraan, pemakaian campuran biodiesel di kendaraan bermesin diesel sesuai Roadmap Biodiesel Nasional.
2. Asumsi input/ output : Hanya input/ output proses utama saja, mulai dari pembukaan lahan sampai dengan pemakaian biodiesel transportasi.
 3. Sumber input/ output : Data sekunder dari journal/ buku/ publikasi, selanjutnya diambil yang paling sesuai dengan kondisi di Indonesia (melalui verifikasi dan konsultasi).
 4. Emisi Kendaraan Transportasi : Data dari BTMP-BPPT dan data dari disertasi Soni S. Wirawan, keduanya diambil pada nilai maksimum.
 5. Campuran Biodiesel Terhadap Emisi : Simulasi dilakukan pada campuran biodiesel B0, B5, B10, B15, B20, B30, B50, dan B100.
 6. Kajian LCA diasumsikan dalam jangka waktu selama 25 tahun sesuai dengan road map biodiesel.

Kajian diskenarioakan untuk berbagai komposisi campuran biodiesel. Komposisi campuran biodiesel yang digunakan adalah B0, B5, B10, B15, B20, B30, B50 dan B100. Untuk setiap komposisi menghasilkan data pengukuran yang berupa emisi gas seperti SO₂, NO_x, HC, CO, CO₂ dan PM.

PEMBAHASAN

Pengumpulan data dalam metoda LCA dimana sistem produk didefinisikan, bahwa setiap aliran masuk dan keluar dari sistem ditranslasikan menjadi intervensi lingkungan. Ekstraksi dan konsumsi sumber daya alam dan emisi, dan juga proses pertukaran dalam lingkungan pada setiap fase yang relevan dalam siklus hidup produk dikompilasi. Kompilasi dari semua ini disebut *Life Cycle Inventory* (LCI). LCI digunakan untuk dapat menginterpretasikan indikator dari dampak lingkungan yang potensial. Pengumpulan data dilakukan untuk enam unit bisnis yang dibahas pada rantai suplai industri biodiesel ini, yaitu Perkebunan Kelapa Sawit, *CPO Mill*, Pabrik Biodiesel, *Blending Plant*, Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU), dan Transportasi kendaraan pengguna biodiesel. Data merupakan data sekunder yang dikumpulkan dari jurnal, hasil penelitian, serta buku yang berkaitan. Data akan dikumpulkan meliputi LCI pada perkebunan, *CPO Mil*, pabrik Biodiesel, *Blending Plant*, SPBU, dan Transportasi. Data yang dibutuhkan untuk transportasi adalah data kendaraan bermotor pengguna biodiesel, kebutuhan bahan bakar, dan data spesifikasi emisi yang sesuai. Sesuai dengan kebutuhan skenario roadmap biodiesel, maka diperlukan data mulai dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2025. Sumber data diantaranya diperoleh dari BPPT, BPS dan disertasi Soni S. Wirawan untuk Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Diesel

Tipe Kendaraan	liter/100km	km/liter
Passanger car	11,36	8,80
Med/small bus/truck	11,83	8,45
Big bus	16,89	5,92
Big truck	15,82	6,32

(sumber : Soni S. Wirawan, 2009)

Tabel 2. Data Kendaraan di Indonesia

Tahun	Mobil Penumpang	Bus	Truck	Sepeda Motor	Jumlah
2001	3.261.807	687.770	1.759.547	15.492.148	21.201.272
2002	3.403.433	714.222	1.865.398	17.002.140	22.985.193
2003	3.885.228	798.079	2.047.022	19.976.376	26.706.705
2004	4.464.281	933.199	2.315.779	23.055.834	30.769.093
2005	5.494.034	1.184.918	2.920.828	28.556.498	38.156.278
2006	6.615.104	1.511.129	3.541.800	33.413.222	45.081.255
2007	8.864.961	2.103.423	4.845.937	41.955.128	57.769.449
2008	9.859.926	2.583.170	5.146.674	47.683.681	65.273.451

Pertumbuhan (%) 11,49 11,58 10,45 13,33 12,76

(sumber : BPS, 2010)

Pemakaian biodiesel di jenis kendaraan dengan koefisien emisi pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Tabel Koefisien Emisi Tiap Jenis Kendaraan

Tipe Kendaraan	Jenis BB	SO2	NOx	IIC	PM	CO	CO2
Passanger car	B0	0,01109	0,03081	0,00871	0,00467	0,04533	1,22359
	B5	0,01018	0,03072	0,00827	0,00419	0,01381	1,18838
	B10	0,00995	0,03055	0,00775	0,00440	0,04252	1,15317
	B15	0,00912	0,03037	0,00739	0,00423	0,01120	1,14437
	B20	0,00889	0,03011	0,00695	0,00405	0,03979	1,11796
	B30	0,00775	0,02984	0,00634	0,00387	0,03741	1,06514
	B50	0,00555	0,02931	0,00502	0,00352	0,03266	0,95951
	B100	0	0,02799	0,00282	0,00238	0,02350	0,84507
	B0	0,01415	0,01877	0,01396	0,00634	0,01497	1,90194
	B5	0,01378	0,01868	0,01476	0,00634	0,04353	1,85123
Med/small bus/truck	B10	0,01302	0,01860	0,03956	0,00634	0,04210	1,79205
	B15	0,01234	0,01851	0,03753	0,00609	0,04083	1,77515
	B20	0,01158	0,01843	0,03542	0,00575	0,03948	1,74979
	B30	0,01014	0,01826	0,03204	0,00541	0,03711	1,66526
	B50	0,00719	0,01801	0,02519	0,00482	0,03238	1,49620
	B100	0	0,01708	0,01429	0,00330	0,02333	1,31023
	B0	0,01374	0,09236	0,01397	0,00829	0,03126	2,01303
	B5	0,01308	0,09201	0,01326	0,00817	0,03031	1,95974
	B10	0,01231	0,09165	0,01249	0,00799	0,02931	1,90053
	B15	0,01166	0,09136	0,01190	0,00758	0,02836	1,87685
Big bus	B20	0,01095	0,09100	0,01119	0,00716	0,02747	1,84725
	B30	0,00959	0,09005	0,01012	0,00675	0,02581	1,75841
	B50	0,00687	0,08822	0,00799	0,00598	0,02256	1,58674
	B100	0	0,08401	0,00450	0,00456	0,01622	1,38544
	B0	0,01612	0,11188	0,01498	0,00885	0,05310	1,70670
	B5	0,01536	0,11157	0,01416	0,00872	0,05145	1,66215
	B10	0,01448	0,11106	0,01334	0,00853	0,04981	1,61188
	B15	0,01378	0,11062	0,01271	0,00815	0,04829	1,59292
	B20	0,01290	0,11018	0,01201	0,00765	0,04665	1,56764
	B30	0,01131	0,10904	0,01087	0,00721	0,04387	1,49178
Big truck	B50	0,00809	0,10683	0,00860	0,00638	0,03831	1,34640
	B100	0	0,10177	0,00487	0,00487	0,02756	1,17573

Hasil data input biodiesel/ output emisi sesuai jenis kendaraan diperoleh pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Tabel Input Output Transportasi

Tahun	Biodiesel Blending (BX)	INPUT		OUTPUT - VERSI COLLECTION MAX					
		Biosolar (BX) (ton)	Biosolar (BX) (kilo liter)	Emisi					
				SO ₂ (ton)	NO _x (ton)	IIC (ton)	PM (ton)	CO (ton)	CO ₂ (ton)
2000	B5	4.307.940	5.009.233	76.943,339	558.868,284	209.176,763	43.696,217	257.744,353	9.816.791,729
2001	B5	4.483.473	5.213.341	80.078,500	581.640,131	217.699,954	45.476,679	268.246,496	10.216.790,237
2002	B5	4.713.749	5.481.104	84.191,420	611.513,815	228.881,266	47.812,412	282.023,935	10.741.535,962
2003	B5	5.216.855	6.066.111	93.177,305	676.781,663	253.310,130	52.915,507	312.124,801	11.887.997,282
2004	B5	5.941.599	6.908.836	106.121,817	770.802,499	288.500,844	60.266,711	355.486,252	13.539.518,745
2005	B10	7.471.073	8.687.294	125.751,601	964.827,785	343.673,169	74.133,040	446.994,773	16.510.487,709
2006	B10	8.117.665	9.439.145	136.634,905	1.048.329,821	373.416,725	80.548,962	485.680,406	17.939.405,240
2007	B10	8.768.637	10.196.089	147.591,933	1.132.397,495	403.361,763	87.008,345	524.628,094	19.378.002,185
2008	B10	9.420.094	10.953.598	158.557,139	1.216.527,919	433.329,152	93.472,549	563.604,853	20.817.672,931
2009	B10	10.073.294	11.713.132	169.551,658	1.300.883,244	463.376,651	99.954,034	602.685,806	22.261.192,256
2010	B10	10.729.725	12.476.424	180.600,575	1.385.655,940	493.572,818	106.467,588	641.960,122	23.711.853,783
2011	B15	11.390.999	13.245.348	182.521,230	1.465.193,363	497.120,415	108.005,682	639.661,560	24.859.534,139
2012	B15	12.058.782	14.021.840	193.221,310	1.551.088,496	526.263,479	114.337,381	677.160,920	26.316.893,310
2013	B15	12.734.736	14.807.832	204.052,299	1.638.034,513	555.763,095	120.746,544	715.119,068	27.792.082,558
2014	B15	13.420.496	15.605.228	215.040,436	1.726.242,035	585.690,721	127.248,699	753.627,951	29.288.675,406
2015	B15	14.117.653	16.415.875	226.211,173	1.815.915,375	616.115,680	133.858,905	792.776,770	30.810.138,396
2016	B20	14.827.748	17.241.567	222.331,205	1.899.623,976	610.669,195	131.872,921	804.315,831	31.849.431,048
2017	B20	15.552.269	18.084.034	233.194,876	1.992.444,454	640.508,051	138.316,569	843.616,757	33.405.675,595
2018	B20	16.292.660	18.944.953	244.296,486	2.087.297,919	671.000,449	144.901,347	883.778,465	34.996.005,542
2019	B20	17.050.318	19.825.951	255.657,017	2.184.363,628	702.204,013	151.639,701	924.876,854	36.623.426,359
2020	B20	17.826.608	20.728.614	267.296,919	2.283.816,321	734.174,917	158.543,761	966.985,912	38.290.867,780
2021	B20	18.622.867	21.654.497	279.236,245	2.385.827,324	766.968,237	165.625,420	1.010.178,179	40.001.202,274
2022	B20	19.440.408	22.605.125	291.494,659	2.490.564,657	800.637,986	172.896,342	1.054.524,795	41.757.246,892
2023	B20	20.280.529	23.582.011	304.091,672	2.598.195,017	835.237,752	180.368,099	1.100.096,341	43.561.796,519
2024	B20	21.144.521	24.586.652	317.046,587	2.708.883,340	870.820,557	188.052,142	1.146.962,653	45.417.616,483
2025	B20	22.033.670	25.620.547	330.378,735	2.822.794,780	907.439,492	195.959,936	1.195.193,659	47.327.475,808
Total		326.038.368	379.114.381	5.125.271,041	41.898.513,795	14.028.913,272	3.024.125,490	18.250.055,607	709.119.316,163

Hasil analisis inventori diklasifikasikan pada kategori dampak yang sesuai. Secara umum klasifikasi dampak input/output hasil inventarisasi adalah diberikan pada Tabel 5 di bawah ini :

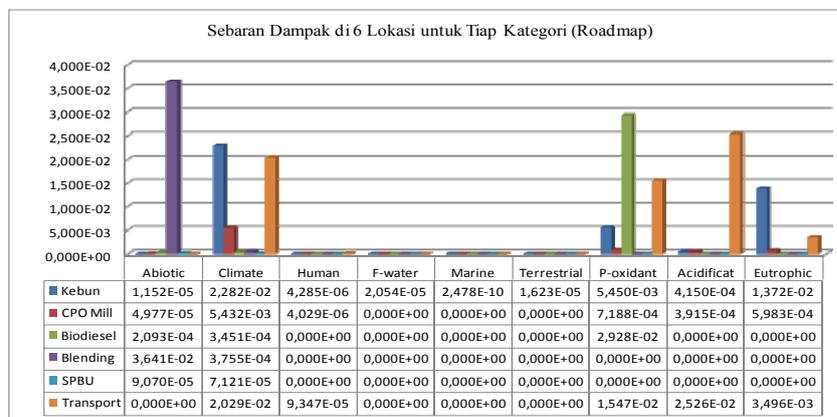
Tabel 5. Tahap Klasifikasi pada Input/ Output dari Transportasi

Input / Output		Dampak Potensial
Transportasi	Input	
	Biosolar	-
	SO ₂	Dampak Bahan Beracun pada Manusia Pembentukan Photo-Oxidant Pengasaman
	NO _x	Dampak Bahan Beracun pada Manusia Pembentukan Photo-Oxidant Pengasaman
	Output	
	HC	Eutrofikasi Perubahan Iklim Pembentukan Photo-Oxidant
	PM	-
CO	Pembentukan Photo-Oxidant	
CO ₂	Perubahan Iklim	

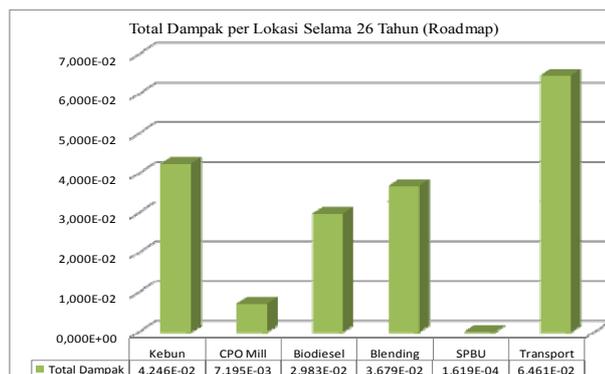
Hasil perhitungan normalisasi ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 2 berikut ini :

Tabel 6. Hasil Normalisasi

Kategori Dampak	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
Abiotic	1,152E-05	4,977E-05	2,093E-04	3,641E-02	9,070E-05	0,000E+00	3,678E-02
Climate	2,282E-02	5,432E-03	3,451E-04	3,755E-04	7,121E-05	2,029E-02	4,934E-02
Human	4,285E-06	4,029E-06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	9,347E-05	1,018E-04
F-water	2,054E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,054E-05
Marine	2,478E-10	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,478E-10
Terrestrial	1,623E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,623E-05
P-oxidant	5,450E-03	7,188E-04	2,928E-02	0,000E+00	0,000E+00	1,547E-02	5,092E-02
Acidificat	4,150E-04	3,915E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,526E-02	2,607E-02
Eutrophic	1,372E-02	5,983E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,496E-03	1,781E-02
Total per Lokasi	4,246E-02	7,195E-03	2,983E-02	3,679E-02	1,619E-04	6,461E-02	1,810E-01
%	23,450	3,974	16,478	20,321	0,089	35,688	100,000

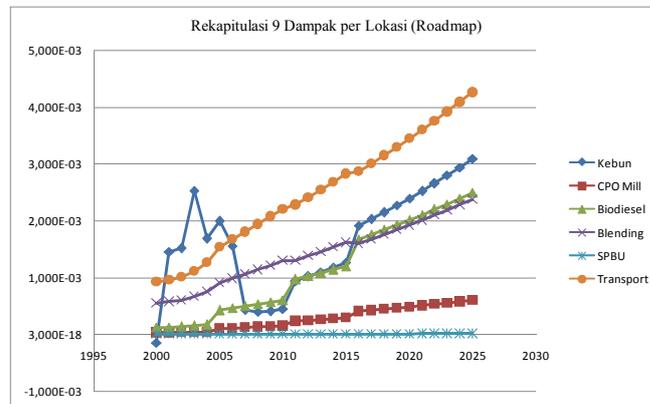


Gambar 2. Diagram dan Tabel Data per Kategori Dampak di 6 Unit Bisnis



Gambar 3. Diagram Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis
Dampak Emisi Pada Transportasi

Merujuk pada Tabel 6 serta Gambar 2 sampai Gambar 4 maka bisa dinyatakan bahwa emisi transportasi ada dalam range 30% sampai dengan 50% dengan rata-rata sekitar 35%, maka hal tersebut menunjukkan adanya permasalahan yang sangat signifikan. Tiga dampak terbesar di transportasi adalah pada kategori pengasaman, perubahan iklim, dan pembentukan *photo-oxidant*.

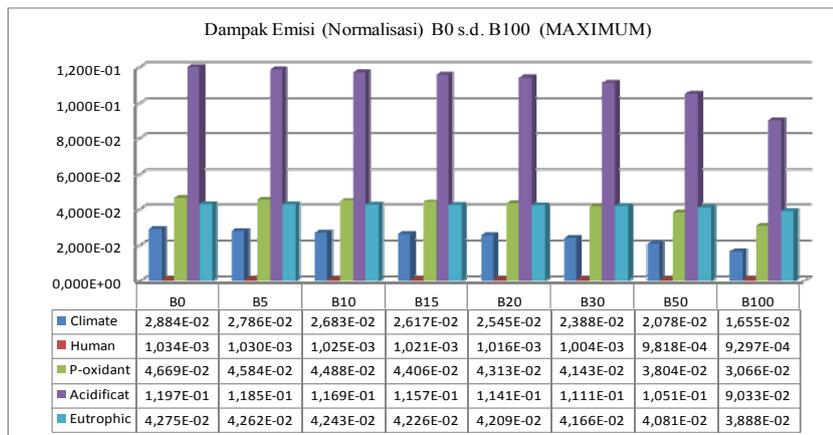


Gambar 4. Grafik Rekapitulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis

Semua dampak di transportasi berasal dari bahan bakar kendaraan yang berupa campuran biodiesel. Besar kecilnya emisi bergantung pada berapa persen campuran biodiesel, semakin besar campuran biodiesel semakin mengecil dampaknya. Selain itu ada faktor lain lagi yang mempengaruhi besarnya emisi, yaitu jenis mesin kendaraan yang dipakainya. Dampak pengasaman berasal dari emisi SO_2 dan NO_x , dampak perubahan iklim dari emisi CO_2 dan HC, serta pembentukan *photo-oxidant* berasal dari emisi SO_2 , NO_x , Hydro Carbon (HC), dan CO. Ada juga emisi *Particulat Material* (PM) namun belum didapat referensinya, padahal PM sangat besar bahayanya bagi kesehatan manusia. Dampak bahan beracun pada manusia diakibatkan oleh emisi SO_2 , NO_x , serta emisi PM.

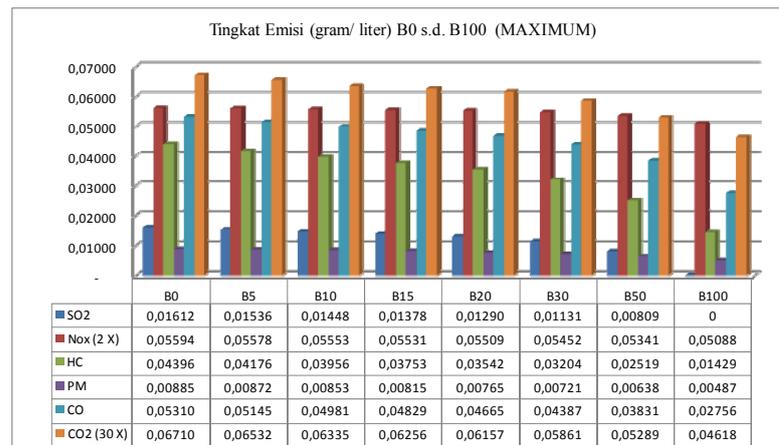
Pengaruh Campuran Biodiesel Terhadap Emisi

Pada Gambar 5 menunjukkan adanya pengaruh setiap penambahan persentase campuran biodiesel (B-XX) akan berdampak pada penurunan dampak lingkungan yang ada. Semakin tinggi tingkat campuran biodiesel, maka akan semakin rendah dampak emisi terhadap kategori dampak lingkungan yang ditimbulkannya (pengasaman, perubahan iklim, dan pembentukan *photo-oxidant*).



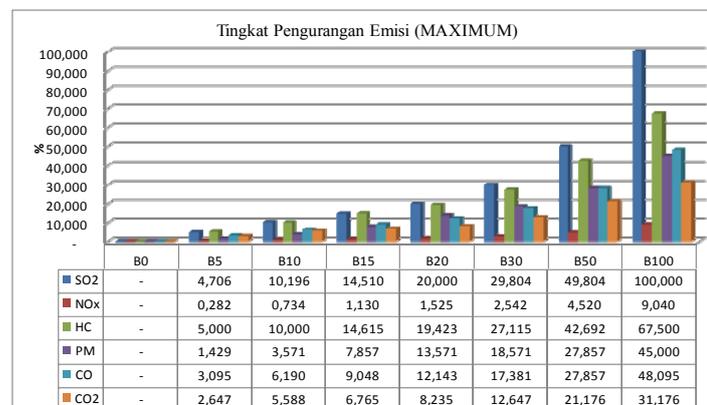
Gambar 5. Diagram Dampak Emisi Campuran Biodiesel

Pada Gambar 6 dengan pola yang sama juga menunjukkan adanya pengaruh setiap penambahan persentase campuran biodiesel (B-XX) akan berdampak pada penurunan dampak terhadap emisi gas buang dari transportasi. Seperti emisi SO_2 , NO_x , HC, PM, CO, dan CO_2 .



Gambar 6. Diagram Tingkat Emisi Campuran Biodiesel

Gambar 7 menunjukkan pola penurunan emisi dalam prosentase, yang menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kandungan biodiesel dalam bahan bakar, maka emisi transportasi yang ditimbulkannya semakin berkurang. Pada grafik dan tabel ini tampak jelas, bahwa pada range antara B20 sampai B50 dampaknya sangat signifikan. Untuk pemakaian B100 (100% biodiesel) tidak ada emisi SO₂, karena dalam biodiesel murni tidak mengandung sulfur (S). Campuran biodiesel dalam range B10 sampai dengan B100, besaran dampak terhadap penurunan emisi adalah sebagai berikut: SO₂ (10–100)%; NO_x (1–9)%; HC (10–68)%; PM (4–45)%; CO (6–48)%; CO₂ (6–31)%.



Gambar 7. Diagram Pengurangan Emisi Campuran Biodiesel

KESIMPULAN

Berdasar kajian pemakaian campuran biodiesel untuk transportasi diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tiga dampak terbesar di transportasi adalah pada kategori pengasaman, perubahan iklim, dan pembentukan *photo-oxidant*. Dampak pengasaman berasal dari emisi SO₂ dan NO_x, dampak perubahan iklim dari emisi CO₂ dan HC, serta pembentukan *photo-oxidant* berasal dari emisi SO₂, NO_x, Hydro Carbon (HC), dan CO.
2. Perbedaan koefisien emisi jenis kendaraan transportasi menunjukkan bahwa sangat tergantungnya dampak lingkungan dari faktor teknologi sistem pembakaran yang digunakan pada mesin kendaraan bermotor, sehingga dibutuhkan mesin otomotif dengan standar pembakaran yang prima agar bisa menekan emisi.
3. Campuran biodiesel menunjukkan adanya penurunan dampak lingkungan yang signifikan mulai dari B20 sampai B50. Diperkirakan campuran yang paling optimal dari segi keekonomian, teknis, dan lingkungan adalah pada campuran biodiesel B30. Campuran biodiesel B30 paling optimal,

yaitu karena ekonomis dari segi harga bahan baku, secara teknis menguntungkan karena tidak membutuhkan modifikasi mesin kendaraan dan tidak perlu mengganti karet/ gasket, serta dari segi lingkungan penekanan dampaknya sudah cukup signifikan yaitu penurunan dampak sekitar 30% untuk emisi SO₂ dan HC, penurunan dampak 20% untuk emisi PM dan CO, penurunan dampak 13% untuk CO₂, serta penurunan dampak 3% untuk NO_x.

DAFTAR PUSTAKA

- Abedin, M.J., et al. "Performance, emission, and heat losses of palm and jatropha biodiesel blends in adiesel engine". *Industrial Crops and Products, Volume 59, 2014, Pages 96-104*.
- Beatrice, Carlo, et al. "Assessment of biodiesel blending detection capability of the on-board diagnostic of the last generation automotive diesel engines". *Journal Fuel, Volume 90, 2011, Pages 2039-2044*.
- Departemen Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan, "Statistik Perkebunan Kelapa Sawit 2012-2014". Jakarta, Januari 2014.
- Fajar, Rizqon, et al. "Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi dan unjuk Kerja Kendaraan Diesel". BTMP-BPPT, Serpong, Januari 2007.
- Gill, S.S., et al. "Diesel emissions improvements through the use of biodiesel or oxygenated blending components". *Journal Fuel, Volume 95, 2012, Pages 578-586*.
- Guinée, Jeroen B. "Handbook on Life Cycle Assessment: Operational guide to the ISO standards". *Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2002*.
- Hoekman, S. Kent, et al. "Review of biodiesel composition, properties, and specification". *Renewable and Sustainable Energy Review, Volume 16, 2012, Pages 143-169*.
- Hoekman, S. Kent, et al. "Review of the effect of biodiesel on NO_x emission". *Fuel Processing Technology, Volume 96, 2012, Pages 237-249*.
- Johnston, Matt, et al. "Impacts of biodiesel blending on freight emissions in the Midwestern United States". *Transportations Research Part D, Volume 17, 2012, Pages 457-465*.
- Lisiecki, Piotr, et al. "Biodegradation of diesel/ biodiesel blend in saturated sand microcosms". *Journal Fuel, Volume 116, 2014, Pages 321-327*.
- Pahan, Iyung. "Panduan Lengkap Kelapa Sawit; Managemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir". Jakarta, Penebar Swadaya, 2008.
- Palas, S.M., et al. "Impacts of biodiesel combustion on NO_x emissions and their reduction approaches". *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 23, 2013, pages 473-490*.
- Pleanjai, Somporn. "Full Chain Energy Analysis of Biodiesel Production from Palm Oil in Thailand". *Applied Energy, Volume 86, Supplement 1, November 2009, Pages S209-S214*.
- Tan, Raymon. "Life Cycle Assessment of Conventional and Alternative Fuels for Road Vehicles". *Mechanical Engineering Department, De La Salle University, Manila, June 2004*.
- Wirawan, Soni S. "The Effect of Biodiesel Utilization in Transportation Sector to Pollutant Emission and External Cost: Case Study Jakarta. The Graduate School Bogor Agricultural University (IPB), Bogor, 2009.
- Zhuang, Jian, et al. "Effect of diesel from direct coal liquefaction-biodiesel blends on combustion, performance and emission characteristics of a turbocharged DI diesel engine". *Fuel Processing Technology, Volume 123, 2014, Pages 82-91*.

PENGARUH SUSUNAN BAHAN TERHADAP WAKTU PENGOMPOSAN SAMPAH PASAR PADA KOMPOSTER BERAERASI

TA. Bambang Irawan¹, Padmawati M.²

^{1,2}Akademi Kimia Industri St. Paulus Semarang
e-mail : ¹bambangir10@gmail.com, ²paulpadma@gmail.com

ABSTRACT

Traditional markets generating organic waste such as leaves, stems of plants that can be cultivated in aerobic and anaerobic composter produces organic fertilizer called compost. This study used a method of mixing the ingredients in aerated tub because the composting process occurs in aerobic and anaerobic. This research studied the effect of the variation of goat manure material consisting of straw, bran using EM microbe 4 as activator. These results indicate that the effect of goat dung accelerate the composting process is indicated by a color change and the results of C / N ratio is high on the 14th day of. Materials containing high organic C also affects the speed of the composting process.

Keywords : organic waste, composter, microbe, compos

PENDAHULUAN

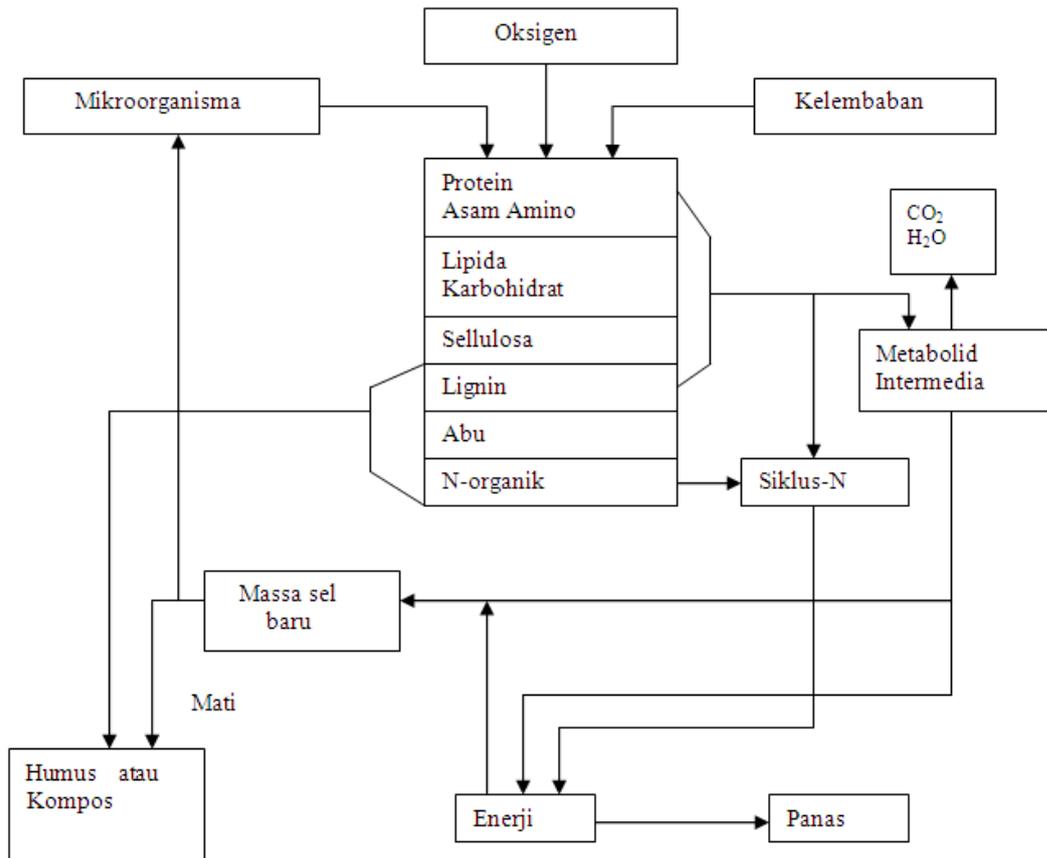
Pengomposan, merupakan salah satu contoh proses pengolahan buangan (sampah) secara aerobic dan anaerobic, dimana kedua proses tersebut akan berjalan saling menunjang dan menghasilkan pupuk organik yang disebut kompos. Berjuta-juta ton senyawa organik dihasilkan oleh tanaman dari proses fotosintesa dalam bentuk daun, batang, biji, buah-buahan, umbi-umbian dan sebagainya, dan kemudian didegradasi oleh mikroba. Hasil degradasi kemudian tersimpan di dalam tanah dalam bentuk humus. Proses degradasi berjalan lambat secara aerobic dan anaerobic dengan memerlukan persyaratan lingkungan tertentu, dan secara keseluruhan proses disebut “dekomposisi”.

Proses dikomposisi senyawa organik oleh mikroba merupakan proses berantai. Senyawa organik yang bersifat heterogen, bercampur dengan kumpulan jasad hidup yang berasal dari udara, tanah, air atau sumber lainnya, dan di dalamnya akan terjadi proses mikrobiologis. Beberapa persyaratan yang diperlukan agar proses tersebut berjalan lancar, menyangkut masalah bandingan sumber nitrogen dan karbon (C/N-rasio) di dalam bahan, kadar air bahan, bentuk dan jenis bahan, temperature, pH dan jenis mikroba yang berperan di dalamnya.

Seperti pula di dalam proses pengolahan air buangan yang mengandung senyawa organik, maka di dalam sampahpun kehadiran dan aktivitas mikroba di dalamnya akan menggunakan senyawa tersebut untuk keperluan aktivitasnya. Hasil lainnya akan berbentuk buangan, yang secara keseluruhan dinamakan kompos, dengan komposisi lengkap.

Karena proses dekomposisi senyawa organik berjalan pada temperature di atas 37°C serta perubahan pH yang berbeda, maka kandungan mikroba di dalamnya akan tersusun oleh sejumlah bacteria, aktinomiset, jamur, mikroalge serta jasad-jasad lain seperti protozoa, nematode, cacing, virus dan sebagainya. Pada umumnya baik sebagai pengurai ataupun sebagai penghuni kompos jadi, bacteria, aktinomiset dan jamur yang terdapat di dalamnya, banyak yang bersifat termofilik, yang kadang-kadang masih dapat hidup pada temperature 65-85°C.

Bila sampah disembarkan di atas permukaan tanah, maka selain proses dekomposisi akan berjalan sangat lambat, juga kelompok mikroba yang aktif di dalamnya hanya psikhofilik dan mesofilik saja. Tetapi berbeda kalau sampah tersebut ditumpukkan atau dimasukkan ke dalam lubang, maka kelompok mikroba yang aktif di dalamnya termasuk kelompok mesofilik dan termofilik, sehingga dengan cepat akan terjadi perubahan pH dan temperature.

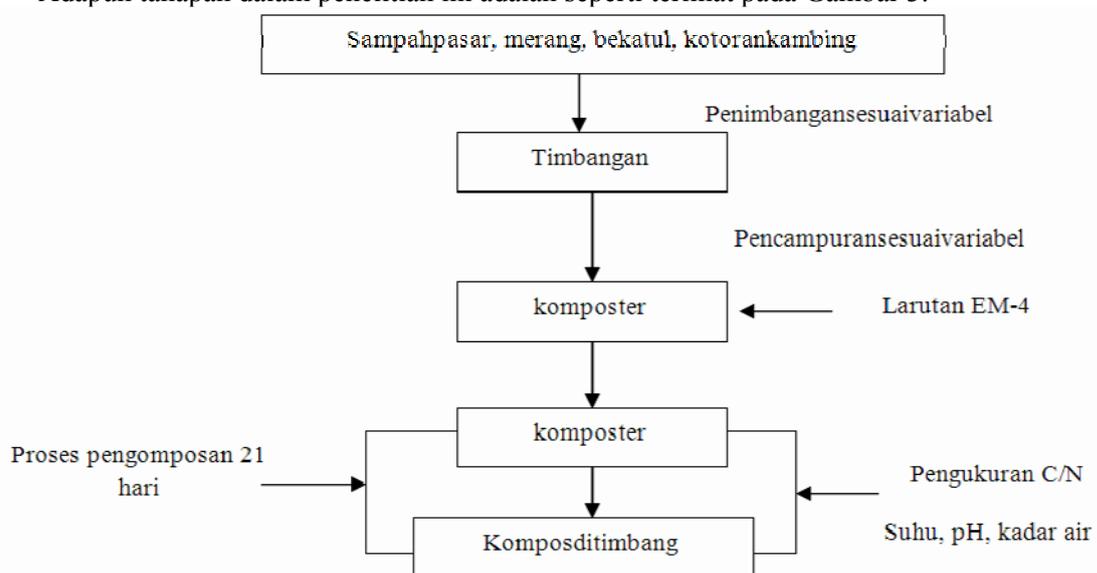


Gambar 1. Rantai-Proses degradasi senyawa organik menjadi kompos

Indikator yang jelas tampak bahwa proses dekomposisi senyawa organik berjalan lancar, ditandai oleh adanya perubahan nilai pH dan temperature, yaitu bahwa proses dekomposisi (atau secara umum dikenal dengan nama proses pengomposan), akan berjalan dalam empat fasa, yaitu fasa mesofilik, fasa termofilik, fasa pendinginan dan fasa masak.

METODE PENELITIAN

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Tahap Pengomposan

PEMBAHASAN

Karakteristik bahan yang dikomposkan dilakukan uji pendahuluan terhadap sampah pasar, merang, bekatul dan kotoran kambing. Hasilnya sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik Bahan Kompos

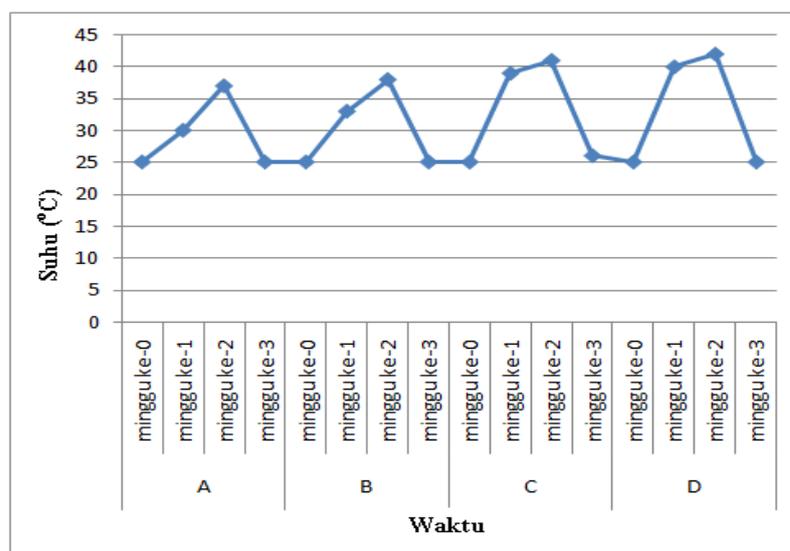
BahanKompos	Kadar Air (%)	% C	% N	C/N	temperatur	pH
Sampah pasar	85	42.2	0.65	64.92	25	6
Kotoran kambing	15.5	39.5	2	19.75	28	7
Merang	10	13.5	0.4	33.75	28	7
Bekatul	9.5	40	0.6	66.67	30	7

Tabel 2. Kandungan Awal tiap Variasi

Variasi	C organik	N total	Rasio C/N	Kadar air	Temperatur	pH
A	28.4	0.9	31.5	18	28	7
B	20.2	0.5	40.4	51	31	7
C	40.2	1.8	22.3	55	30	6
D	30.2	1.2	25.2	43	31	7

Keterangan :

- A : bekatul, kotoran kambing, merang + 10 ml EM-4
- B : sampah pasar + bekatul, merang + 10 ml EM-4
- C : sampah pasar + kotoran kambing, merang + 10 ml EM-4
- D : sampah pasar + bekatul, kotoran kambing, merang + 10 ml EM-4



Gambar 3. Grafik Suhu (°C) vs Waktu

Berdasarkan grafik pengukuran temperatur tiap kompos telah mengalami 3 tahap proses pengomposan. Pada tahap pertama yaitu tahap penghangatan. Mikroorganismenya hadir dalam bahan kompos secara cepat karena pengaruh udara dan senyawa organik sehingga menyebabkan suhu meningkat. Mikroorganismenya Mesofilik hidup pada suhu 10 – 40 C dan bertugas memperkecil ukuran partikel bahan organik sehingga luas permukaan bertambah dan mempercepat proses pengomposan.

Pada tahap kedua yaitu tahap termophilik. Mikroba hadir dalam tumpukan kompos ini ditunjukkan dari kenaikan suhu, mikroba hidup pada suhu 45 – 60 C dan bertugas mengkonsumsi karbohidrat dan protein sehingga bahan kompos dapat terdegradasi dengan cepat. Mikroorganisme berupa jamur termofilik mampu merombak selulosa dan hemicelulosa, kemudian proses dekomposisi mulai melambat dan temperature puncak tercapai. Setelah temperature puncak tercapai tumpukan mencapai kestabilan dimana bahan lebih mudah terdekomposisikan.

Tahap ketiga pendinginan dan pematangan. Jumlah mikroorganisme termofilik berkurang karena bahan makanan juga berkurang, hal ini menyebabkan mikroorganisme Mesofilik mulai beraktifitas kembali. Mikroorganisme akan merombak selulosa dan hemiselulosa yang tersisa dari proses sebelumnya menjadi gula yang lebih sederhana. Bahan yang didekomposisi menurun jumlahnya dan panas yang dilepaskan relative kecil.

Pada penelitian ini kondisi kompos varian A,B,C,D telah mengalami proses penghangatan , suhu puncak serta pendinginan dan pematangan. Pada awalnya suhu ke 4 varian bergerak naik dengan cepat sehingga mencapai puncak. Pada variasi D suhu puncak terjadi pada minggu ke 2 atau 14 hari ini terjadi karena memiliki C/N paling tinggi. Nitrogen dibutuhkan oleh mikroorganisme sebagai sumber makanan untuk pembentukan sel-sel tubuh dan karbon sebagai sumber tenaga untuk berkembang biak dengan baik dan menghasilkan energy. Penambahan EM4 menyebabkan aktivitas mikroorganisme akan semakin cepat dalam mendekomposisi bahan kompos sehingga terjadi penyusutan. Kematangan kompos terjadi pada suhu 25 – 28 C pada hari ke 21. Setelah kompos matang pada hari ke-21 kemudian dilakukan uji lab. untuk mengetahui karakteristik kompos matang.

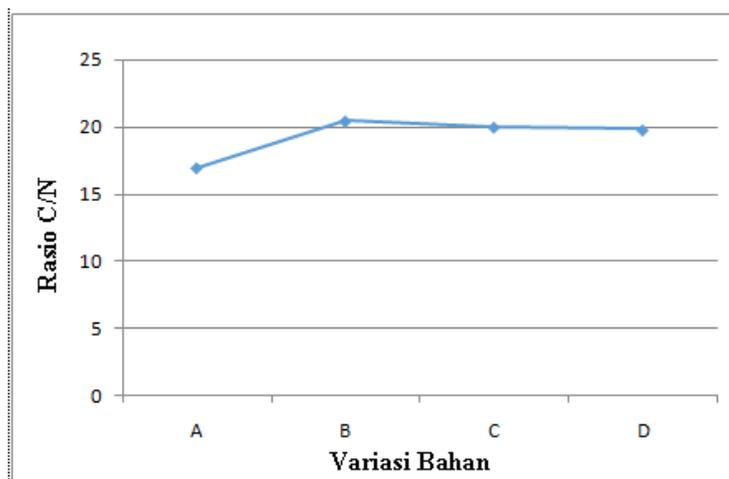
Tabel 3. Karakteristik Kimia Kompos Matang

Parameter	Satuan	VariasiBahan			
		A	B	C	D
C organik	%	42.4	22.5	28	58.7
N total	%	2.5	1.1	1.4	3.45
Rasio C/N	-	16.96	20.45	20	17.01
Kadar air	%	45.2	42.4	41.5	42.5
Temperatur	°C	27	28	27	26
pH	-	7	7	7	7

Tabel 4. Karakteristik menurut SNI-19-7030-2004

Batas	C org (%)	N total (%)	Rasio C/N	Kadar air (%)	Suhu	pH
min	9.8	0.4	10	-	-	6.8
max	32	-	20	50	±30	7.5

Analisa kandungan fisik kompos matang dilakukan dengan mengukur berat akhir kompos. Berat bahan yang dikomposkan mengalami penyusutan yang berarti kompos telah matang. Penyusutan dapat dilihat pada Tabel 5. Kompos yang dihasilkan adalah kompos yang lolos pada ayakan 1,2 mm sedangkan yang tertinggal merupakan sisa bahan yang tidak terkomposkan misal merang, batang dari sampah pasar dan sisa kotoran kambing yang tidak terkomposisikan. Berat badan yang hilang adalah gas-gas hasil penguraian oleh mikroba yang terbang ke udara, misal amoniak dan uap air sehingga menyebabkan sisa bahan akan menjadi berkurang.



Gambar 4. Grafik Rasio C/N dengan Variasi Bahan

Tabel 5. Berat Awal dan Akhir Kompos

Variasi	Berat awal (gr)	Berat kompos yang terbentuk (gr)	Berat bahan yang tak menjadi kompos (gr)	Berat bahan yang hilang (gr)
A	3000	600	900	1500
B	3000	100	650	2250
C	3000	400	1000	1600
D	3000	200	500	2300

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian "Pengaruh susunan bahan terhadap waktu pengomposan sampah pasar pada komposter beraerasi terhadap parameter yang diamati kotoran kambing dan rasio C/N ternyata susunan bahan yang mengandung kotoran kambing lebih cepat untuk diolah menjadi kompos, hal ini karena kotoran kambing mengandung Posfor yang berguna bagi berkembang biaknya mikroorganisme sehingga mempercepat terjadinya kompos dan rasio C/N yang besar sebagai bahan makanan bagi mikroorganisme.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Suprihatin, S. Pd; Ir. Dwi Prihanto; Dr. Michel Gelbert. 1996. Pengelolaan Sampah. Malang : PPPGT / VEDC Malang.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2008, Petunjuk Teknis Teknologi Pendukung Pengembangan Agribisnis di Desa P4MI, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Tengah: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- I Wayan Suarna, 2008, Model Penanggulangan Masalah Sampah Perkotaan Dan Perdesaan, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Udayana, Pertemuan Ilmiah Dies Natalis Universitas Udayana, 3-6 September 2008.
- IPPTP, 2000, Pemanfaatan Limbah Pertanian Sebagai Pupuk Organik, Jakarta: Instalasi Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian.
- Lilis Sulistyorini, 2005, "Pengelolaan Sampah dengan Cara Menjadikannya Kompos", Jurnal Kesehatan Lingkungan, Vol. 2, No. 1, pp. 77-84.
- Mikroorganisme di Desa Sibetan Karangasem", Media Udayana Mengabdikan Volume 7 Nomor 2.
- Mohamad Yamin, Dita Satyadarma, Pulungan Naipospos, 2008, " Perancangan Mesin Pencacah Sampah Type Crusher", Proceeding Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen

(KOMMIT 2008), 20-21 Agustus 2008.

Sri Hartutik, Sriatun, Taslimah, 2008, pembuatan Pupuk Kompos Dari Limbah Bunga Kenangadan Pengaruh Persentase Zeolit Terhadap Ketersediaan Nitrogen Tanah. Tugas Akhir S1 Jurusan Kimia FMIPA UNDIP, Jurusan Kimia UNDIP. (Unpublished)

Sutjana, I.D.P., 2008, "Desain Produk dan Resikonya", *Mediae-Journal of Biomedics*, Volume2, No.1, pp. 33-42.

Wayan Gunam, I.B., I.P. Wrsiati, I M.D. Mahaputra wijaya, I W. Arnata dan I W.G. Sedana Yoga, 2008, "Pemanfaatan Sampah Organik Menjadi Pupuk Kompos dengan Bantuan

ADSORPSI RADIONUKLIDA Co-60 DAN Sr-90 DENGAN HASIL IMOBILISASI BENTONIT-ASAM HUMAT

Hadi Prasetyo Suseno¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains Terapan, IST AKPRIND Yogyakarta

e-mail: hadiprasetyosuseno@yahoo.co.id

ABSTRACT

Adsorption of Co-60 and Sr-90 radionuclides to bentonite-humic acid immobilized yield have been done. The aims of this study to (1) making of adsorbent materials from resulted immobilization humic acid into bentonite mineral, and it's characterization with spectroscopy infrared and X-ray diffractometer and (2) adsorption of Co-60 and Sr-90 radionuclides into bentonite mineral as adsorbent at various pH. Experiments showed that result of immobilization of bentonite-humic acid were optimum at 100 g bentonite, 60 g humic acid, 0.1 M NaNO₃ ionic strength, and 2.5 pH. At the optimum condition bentonite could be bind the functional COOH from humic acid maximum equal to 75.2 %. Base on infra red spectroscopy and X-ray diffractometer showed that humic acid can immobilized into bentonite to form of bentonite-humic acid alloy. Application of adsorbent bentonite-humic acid immobilized yield to adsorp radionuclides of Co-60 and of Sr-90, showed that can adsorp at the range of pH 3 until 10. The phenomenon adsorption as species radionuclides was predicted by "Visual minteq" soft were. By each the feeds of radionuclide 0.001 mMol /L, 0.1 M NaNO₃ ionic strength and pH 5 showed that bentonite-humic acid can adsorp radionuclides 98.50 – 99.1% of Co-60 and Sr-90

Keywords: immobilisation, adsorption, infra red spectroscopy, X-ray diffractometer

PENDAHULUAN

Terlepasnya radionuklida kedalam lingkungan merupakan salah satu indeks dari keberhasilan suatu instalasi nuklir. Selanjutnya terlepasnya radionuklida kedalam lingkungan dari instalasi nuklir merupakan masalah yang serius bagi keselamatan lingkungan, sehingga cepat atau lambat akan berdampak terhadap manusia. Konvensional remediasi dari terkontaminasinya sedimen oleh radionuklida, biasanya dilakukan dengan cara mengambil, dimasukan kedalam container dan dipindahkan ke lain tempat. Cara ini tidak hanya merusak lingkungan dan memerlukan biaya besar, juga mengakibatkan terkontaminasinya para pekerja melalui sistim pernapasan .

Untuk itu dibutuhkan strategi alternatif remediasi radionuklida yang aman bagi lingkungan dan para pekerja. Proses remediasi tersebut salah satunya adalah dengan cara penaburan bahan adsorben selektif pada sedimen atau tanah yang tercemar. Banyak faktor yang mempengaruhi mobilitas dan keberadaan radionuklida didalam sedimen. Beberapa radionuklida hasil fisi, akan teradsorpsi ke dalam mineral dengan rendah organik seperti kaolinit tetapi akan segera terdesorpsi. Beberapa radionuklida juga dapat teradsorpsi kedalam mineral *mica*, *illite*, *vermiculite* dan *smectite* tetapi tidak segera terdesorpsi jika mineral tersebut mengandung fraksi tanah liat ("Clay") dari tanah atau sedimen dengan jenis dan komposisi tertentu.

Berdasarkan Carver (2007), perlakuan terhadap sedimen yang terkontaminasi Cs-137 dan ditambahkan campuran mineral "*illite-clay*", ternyata dapat menurunkan derajat kontaminan 29% terhadap tanaman jagung dan 42% pada kedelai. Kandungan tanah liat ("Clay") 20-30% didominasi oleh senyawaan humat yang berupa makromolekul mengandung gugus fungsional karboksil dan hidroksil. Dengan sifat hidrofobik, pengkelat, penukar ion dan kaya akan gugus oksigen donor diantara molekul senyawa humat, senyawa ini segera membentuk senyawa kompleks yang stabil dengan beberapa unsur "Actinida" seperti Am-241 . Berdasarkan Kumar (2008) faktor transfer radionuklida dari tanah ke dalam tanaman (FT_{SP}) tidak hanya dipengaruhi oleh proses metabolisme tanaman itu sendiri tetapi, lebih didominasi oleh karakterisasi tanah disekitarnya seperti pH dan kandungan material organik seperti senyawa humat. Sebagai makromolekul senyawa humat terdiri dari beberapa fraksi berat molekul dan terdistribusi sebagai koloid dengan 1000 - 50.000 Dalton. Dengan perbedaan fraksi tersebut, kemampuan dalam mengadsorpsi terhadap radioisotop Co-60, Sr-90, sangat berbeda-beda. Berdasarkan Bunzi (2000) , radionuklida yang dikeluarkan oleh ledakan

reaktor "Chernobyl" dan diadsorpsi dengan tanah organik jenis "saddy podzolic", didapat bahwa % adsorpsinya berturut-turut Cs-137 < Am-241 < Pu-240 < Sr-90, tetapi didalam tanah gambut Cs-137 = Am-241 < Pu-240 < Sr-90. Penelitian adsorben untuk mengadsorpsi ini radionuklida Co-60 dan Sr-90 hingga saat ini masih jarang, maka tujuan dari penelitian ini adalah, (1) melakukan pembuatan bahan adsorben dari hasil imobilisasi asam humat kedalam mineral bentonit, (2) karakteristik bentonit-asam humat dengan spektroskopi infra merah dan difraktometer sinar-X, dan ke (3) aplikasi adsorpsi Co-60, dan Sr-90 pada berbagai pH. Mineral bentonit dipilih karena banyak tersebar dalam jumlah besar di pulau Jawa, sedangkan asam humat mudah di isolasi dari tanah gambut Sumatra atau Kalimantan. Peneliti tertarik dengan radionuklida Co-60 dan Sr-90, karena umur paro yang lama dan berbahaya bagi manusia. Tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan pembuatan bahan adsorben dari hasil imobilisasi asam humat kedalam mineral bentonit,
2. Karakteristik bentonit-asam humat dengan spektroskopi infra merah dan difraktometer sinar-X
3. Aplikasi adsorpsi Co-60 dan Sr-90 pada berbagai pH.

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam humat (koloid lignit), bentonit asal Pacitan, HCl dan HNO₃ pekat, NaNO₃, Am(NO₃), Cs(NO₃), dan Sr(NO₃), kalsium asetat, NaOH masing-masing buatan E Merck dan gas Nitrogen. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah seperangkat alat spektrometer γ dan β yang masing-masing dilengkapi detektor NaI(Tl) dan "Geiger Muller", beserta MCA buatan EG dan G ORTEG 700 buatan Canberra, seperangkat alat penyaring vakum yang dilengkapi kertas saring Whatman 40, seperangkat alat spektrometri infra merah (FTIR) dan difraktometer sinar-X, pengaduk magnet dan wadah polietilen kapasitas 50 mL dan perangkat lunak "Visual MINTEQ ver 2.3" (Tan, 1996).

Adapun tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tahap imobilisasi asam humat kedalam bentonit. Ke dalam gelas beker kapasitas 100 ml dimasukan berturut turut 60 g asam humat dan 40 ml NaOH 0,1 M kemudian diaduk diatas pegaduk magnet. Kemudian kedalam gelas beker dimasukan 100 g bentonit dan 10 mL NaNO₃ 0,1 M dan selanjutnya diaduk selama 1 jam dan dibiarkan semalam. Disaring dengan kertas saring Whatman 40, endapan yang diperoleh dibilas dengan air suling dan dikeringkan pada suhu 60°C didalam oven selama \pm 3 hari. Setelah endapan kering dianalisis dengan spektrometri infra merah (FTIR) dan difraktometer sinar-X untuk mengetahui karakteristiknya.
2. Tahapan penentuan gugus COOH. Sebanyak \pm 20 mg hasil imobilisasi bentonit-asam humat dimasukkan kedalam erlenmayer 125 mL, ditambahkan kedalamnya sebanyak 10 mL Kalsium asetat 0,2 N dan ditambahkan 40 ml air suling bebas CO₂ (air yang telah dialiri gas nitrogen selama 2 jam) di kocok selama 24 jam. Endapan disaring dan dicuci dengan 20 ml air bebas CO₂. Di pipet sebanyak 10 mL filtrat ke dalam gelas beker 50 mL dan dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N memakai alat potensiometer memakai elektroda glass. Titrasi dihentikan setelah pH 9 (= T mL). Dilakukan pengulangan terhadap blanko (= B mL). Jumlah gugus karboksil dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{COOH /gam asam humat} = (T-B) \times N \times (1000 / \text{berat asam humat}) \quad (1)$$

dengan:

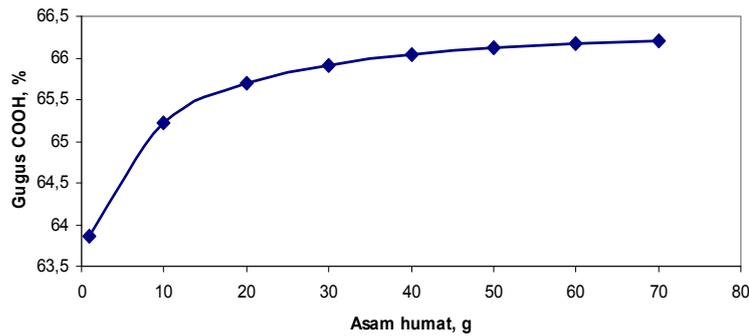
B = volume blangko, mL; T = volume titran, mL; N = normalitas NaOH

3. Proses adsorpsi Co-60 dan Sr-90 dalam bentonit-asam humat. Ke dalam wadah polietilen kapasitas 50 mL dimasukan bentonit-asam humat dengan sebanyak 0,01 g lalu dimasukkan berturut-turut ke dalamnya 2 mL larutan HNO₃ 0,0001 M, 0,8 mL larutan NaNO₃ 0,01 M, 13,2 mL aquades, larutan Co-60 atau Sr-90 dengan konsentrasi 0,001 mMol masing-masing sebanyak 4 mL, sebelum wadah ditutup rapat pH di atur 4. Masing-masing campuran dikocok selama satu jam dan didiamkan semalam. Selanjutnya masing-masing filtratnya dipisahkan dengan kertas saring Whatman 40 dan selanjutnya filtrat dicacah dengan spektrometer- γ untuk Co-60 sedangkan Sr-90 dengan spektrometer- β .

PEMBAHASAN

Optimasi Imobilisasi Asam Humat ke dalam Bentonit

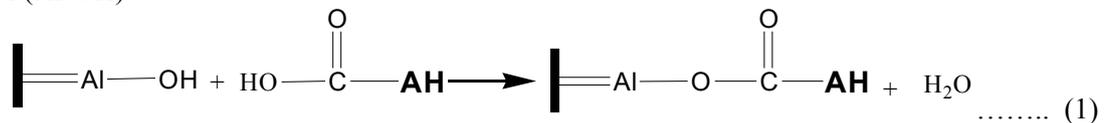
Asam humat sering disebut asam polikarboksilat, karena kaya akan gugus fungsional karboksilat(R-COOH) sedangkan bentonit berupa padatan memiliki gugus aktif silanol (S-OH). Mekanisme reaksi pengikatan atau imobilisasi asam humat ke dalam mineral bentonit diperkirakan dapat terjadi melalui adsorpsi spesifik melalui pertukaran ligan dengan terprotonasinya permukaan gugus COOH pada asam humat. Untuk mengetahui keberhasilan imobilisasi tersebut, dapat dilakukan dengan menentukan jumlah gugus COOH yang telah terikat pada bentonit dengan cara titrasi potensiometri memakai NaOH sebagai titran dengan metoda kalsium asetat.



Gambar 1. Pengaruh Berat terhadap Imobilisasi Asam Humat dalam Bentonit

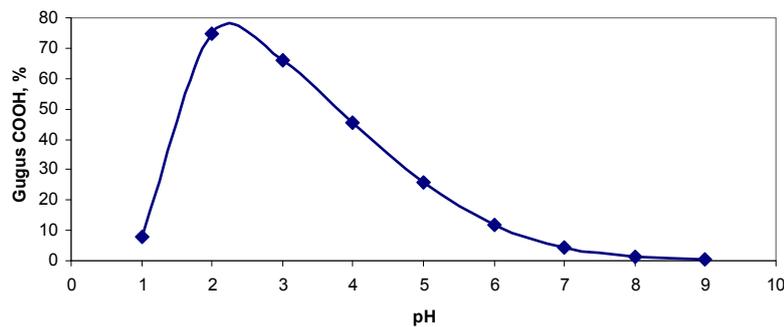
Pada Gambar 1 dapat diperlihatkan bahwa semakin banyak asam humat yang ditambahkan kedalam bentonit, akan mengakibatkan peningkatan gugus COOH kedalam bentonit. Peningkatan persen gugus COOH tersebut akan relatif konstan pada berat asam humat sebanyak 60 g. Jadi pada proses imobilisasi tersebut dengan umpan 100 g bentonit, pH 2,5 dan kuat ion 0,0001 M NaNO₃, ternyata akan mengikat asam humat sebanyak 60 g. Dari bentuk pola pada Gambar 1 tersebut, kemungkinan besar fenomena imobilisasi asam humat ke dalam bentonit tersebut berupa adsorpsi isotherm. Asumsi ini ternyata tidak bertentangan dengan penelitian sebelumnya Kretzschmar (1997) pada adsorpsi asam humat kedalam kaolinite dan Muzakky (2007) terhadap adsorpsi asam humat pada permukaan γ -Al₂O₃, ternyata sorpsi asam humat kedalam beberapa permukaan mineral atau oksida berdasarkan adsorpsi isotherm Langmuir. Mekanisme pengikatan asam humat ke dalam beberapa mineral tersebut dapat melalui beberapa cara seperti ikatan elektrostatis, spesifik adsorpsi melalui pertukaran ligan hidroksil, jembatan kation dan adsorpsi hidrofobik pada muatan netral dari beberapa bagian makromolekul asam humat.

Berikut salah satu reaksi yang kemungkinan terjadi antara asam humat (AH) dengan gugus aktif hidroksil (C=OH) dengan bentonit dengan asumsi bahwa permukaannya didominasi oleh gugus aluminol (Al-OH).



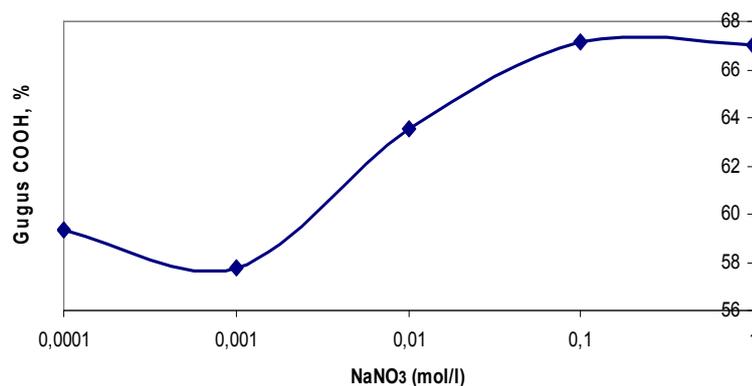
Menurut Tombacz interaksi antara asam humat dengan beberapa mineral oksida akan dipengaruhi oleh pH dan kekuatan ion. Pada Gambar 2, dapat diperlihatkan pengaruh imobilisasi asam humat ke dalam bentonit pada rentang pH 1 sampai 9. Dari gambar 2 tersebut dapat diperlihatkan bahwa gugus hidroksida (COOH) dari asam humat pada permukaan bentonit paling tinggi pada pH 2-2,5. Selanjutnya setelah pH 3 gugus COOH yang dapat terikat mulai menurun, dan pada pH 9 hasil imobilisasi asam humat pada bentonit tidak terdapat gugus COOH.

Jadi pada proses imobilisasi tersebut dengan umpan 100 g bentonit, asam humat 60 g dan kuat ion 0,0001 M NaNO₃, ternyata optimum pada pH 2,5 dan mampu mengikat gugus COOH sebesar 75% dari asam humat.



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap Imobilisasi Asam Humat dalam Bentonit

Kondisi pada pH 2,5 tersebut adsorpsi asam humat pada permukaan bentonit akan diperkirakan optimum, hal ini kemungkinan disebabkan naiknya kekuatan ikatan elektrostatis antara asam humat dengan muatan positif pada permukaan bentonit. Pada pH 2,5 muatan negatif pada asam humat menjadi dominan, sehingga akan lebih mudah teradsorpsi ke dalam permukaan bentonit. Menurut Kretzschmar (1997) pada pH rendah gugus fungsional asam humat akan lebih terprotonasi dan konfigurasi makromolekul akan berubah dari polymer yang fleksibel menjadi konfigurasi tipe coil yang acak, akibatnya adsorpsi ke dalam mineral oksida menjadi naik. Kemudian Pada Gambar 3, dapat diperlihatkan pengaruh imobilisasi asam humat ke dalam bentonit pada berbagai kekuatan ion dalam hal ini adalah konsentrasi NaNO_3 .



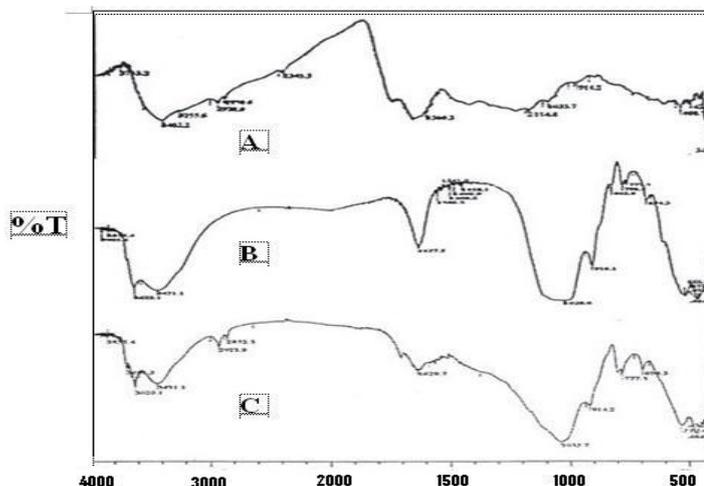
Gambar 3. Pengaruh NaNO_3 terhadap Imobilisasi Asam Humat dalam Bentonit

Dari gambar 3 tersebut dapat diperlihatkan bahwa gugus hidroksida (COOH) dari asam humat pada permukaan bentonit naik dari 0,0001 M menjadi 0,1 M NaNO_3 dan relatif konstan pada 1 M NaNO_3 . Menurut Kretzschmar (1997) pada konsentrasi ion Na^+ tinggi, akan menaikkan jembatan kation dan merubah konfigurasi makromolekul asam humat. Hal ini akan mengakibatkan adsorpsi asam humat ke dalam bentonit menjadi naik. Jadi pada proses imobilisasi tersebut dengan umpan 100 g bentonit, asam humat 60 g, pH 2,5 ternyata optimum pada kuat ion 0,1 NaNO_3 dan mampu mengikat gugus COOH sebesar 67,1% bagian dari asam humat.

Karakterisasi Bentonit-Asam Humat

Setelah melalui tahapan pengeringan untuk menghilangkan sebagian besar kadar air, hasil imobilisasi bentonit-asam humat dilakukan perbandingan karakteristik gugus fungsionalnya dengan asam humat dan bentonit memakai alat spektroskopi infra merah dan difraktometer sinar-X. Dari data spektrum infra merah dalam Gambar 4 ternyata asam humat (A) dapat diindikasikan memiliki gugus-gugus fungsi yang memungkinkan untuk dapat berinteraksi dengan beberapa mineral oksida secara kimiawi. Gugus-gugus fungsi tersebut seperti munculnya pita serapan pada $3402,2 \text{ cm}^{-1}$ yang tajam dan melebar menunjukkan adanya gugus $-\text{OH}$ asam karboksilat, serapan pada bilangan gelombang $3255,6 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi OH fenol, pita $2920,0 \text{ cm}^{-1}$ vibrasi alur C-H alifatik, dan $2850,6 \text{ cm}^{-1}$

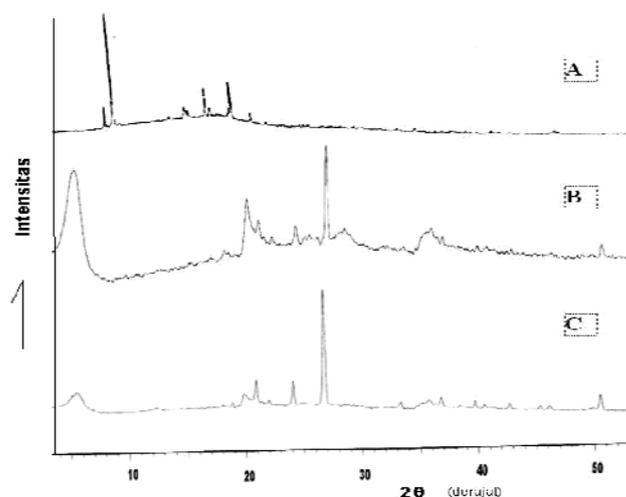
adalah menunjukkan gugus metilen. Vibrasi tekuk OH dan C-O dari COOH ternyata diperkuat serapan pada bilangan gelombang $1114,8\text{ cm}^{-1}$ dan $2345,3\text{ cm}^{-1}$. Spektra-spektra serapan pada bilangan gelombang di atas ternyata sesuai dengan hasil dari Tan (1996) tentang karakteristik infra merah asam humat.



Gambar4. Spektra Infra Merah Asam Humat (A), Bentonit (B), dan Bentonit-Asam Humat (C)

Spektra inframerah dari bentonit (B) dapat dilihat pada Gambar 4, terlihat pita serapan yang lebar pada bilangan gelombang $3431,1\text{ cm}^{-1}$, pita tajam pada $1637,5\text{ cm}^{-1}$, pita lebar pada $1028,0\text{ cm}^{-1}$, dan pita tajam pada $3622,1\text{ cm}^{-1}$ dan $916,1\text{ cm}^{-1}$. Spektra-spektra serapan bilangan gelombang tersebut ternyata sesuai dengan hasil spectra infra merah dari mineral montmorilonite oleh Tan [1996] yang menunjukkan pita daerah sekitar 3420 cm^{-1} untuk vibrasi OH dan pita lebar pada 1050 cm^{-1} untuk vibrasi Si-O, pita tajam pada bilangan gelombang 3622 cm^{-1} untuk vibrasi ulur OH bebas dan pita tajam pada bilangan gelombang $1637,5$ merupakan vibrasi lentur OH dari molekul air serta pita tajam pada bilangan gelombang $910 - 920\text{ cm}^{-1}$ untuk getaran Al-O. Sedangkan untuk spektra inframerah hasil imobilisasi bentonit-asam humat (C), terlihat pita serapan yang sedikit berbeda dengan spektra infra merah bentonit (B). Hal ini terlihat dengan munculnya serapan pada panjang gelombang $2923,9\text{ cm}^{-1}$ sebagai vibrasi alur C-O alifatik dan $2852,4\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan karakteristik dari vibrasi gugus metilen. Hasil ini memperkuat bahwa asam humat teradsorpsi kedalam mineral bentonit, selanjutnya dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang $1035,7$ yang melebar dapat diartikan telah terjadinya perubahan struktur bentonit akibat mengadsorpsi asam humat.

Karakterisasi asam humat, bentonit dan hasil imobilisasi asam humat dalam bentonit dengan alat difraktometer Sinar-X dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5 diperlihatkan difraktometer Sinar-X untuk asam humat (A) dengan puncak tertinggi pada sudut difraksi 2θ sebesar $11,64^\circ$ dengan intensitas puncak sangat signifikan. Data ini mengindikasikan kedudukan detektor pada posisi sudut difraksi 2θ sebesar $11,64^\circ$ menerima pancaran sinar-X hasil difraksi oleh padatan asam humat dengan frekuensi sinar-X yang didefraksi relative sangat tinggi. Intensitas puncak ini terjadi disebabkan oleh banyaknya “*Systematically Absent Reflection (SAR)*” pada padatan asam humat yang terkena sinar-X pada kedudukan detector menempati posisi sudut difraksi 2θ sebesar $11,64^\circ$.



Gambar 5. Difraktogram XRD Asam Humat (A), Bentonit (B), dan Bentonit-Asam Humat (C)

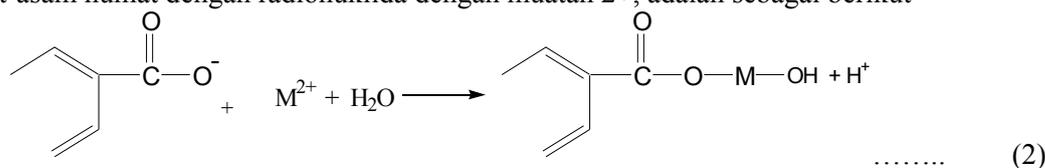
Kemudian pada Gambar (A), juga dapat diperlihatkan difraktogram asam humat (A) memperlihatkan puncak-puncak difraksi yang berekor, hal ini menunjukkan bahwa padatan asam humat cenderung berbentuk amorf atau tingkat kristalinitas padatannya cenderung rendah. Fenomena ini kemungkinan karena ikatan hidrogen antar gugus fungsi yang terdapat pada struktur senyawa asam humat, terbukti dengan puncak difraksinya yang memiliki resolusi relatif tinggi.

Difraktogram bentonit (B) pada Gambar 5 terdapat puncak-puncak tertinggi pada sudut difraksi 2θ sebesar $26,65A^0$ dengan intensitas puncak yang cukup, hal ini berarti detektor menerima difraksi sinar-X dari bentonit paling kuat intensitasnya. Berdasarkan table "Mineral Powder Diffraction File (MPDF)" difraksi tersebut menunjukkan adanya mineral kuarsa. Demikian pula pada sudut difraksi 2θ sebesar $5,1023 A^0$ yang setara dengan kisi kristal (d) sebesar $17,30 A^0$ yang mengindikasikan adanya mineral monmorillonit. Walaupun tidak kecil juga terlihat intensitas difraksi 2θ sebesar $19,89 A^0$ yang setara dengan $d = 4,466 A^0$, yang merupakan penciri mineral kaolin. Berdasarkan difraktogram tersebut dapat menunjukkan bahwa padatan bentonit cenderung berbentuk amorf.

Selanjutnya hasil difraktogram hasil imobilisasi asam humat kedalam bentonit (bentonit-asam humat, C) pada Gambar 5, menunjukkan adanya puncak tertinggi pada sudut 2θ sebesar $26,65A^0$ yang identik dengan sudut difraksi pada difraktogram bentonit. Pada sudut 2θ sebesar $26,65A^0$ tersebut bentonit-asam humat intensitasnya lebih kuat, hal ini kemungkinan telah terjadinya adsorpsi asam humat pada mineral kuarsa, pada mineral Dikit ($2\theta = 20,80$), dan pada mineral paligorskit ($2\theta = 23,97$). Pada Gambar 5 secara keseluruhan difraktogram bentonit-asam humat (C) terjadi kenaikan intensitas di beberapa sudut difraksi, yang mengindikasikan adanya imobilisasi asam humat ke dalam bentonit cukup baik. Selanjutnya pada gambar tersebut telah terjadi pergeseran sudut difraksi seperti dari $2\theta = 5,10$ menjadi $5,52$. Pergeseran ke arah kanan, kemungkinan disebabkan adanya asam humat yang teradsorpsi pada mineral monmorillonit.

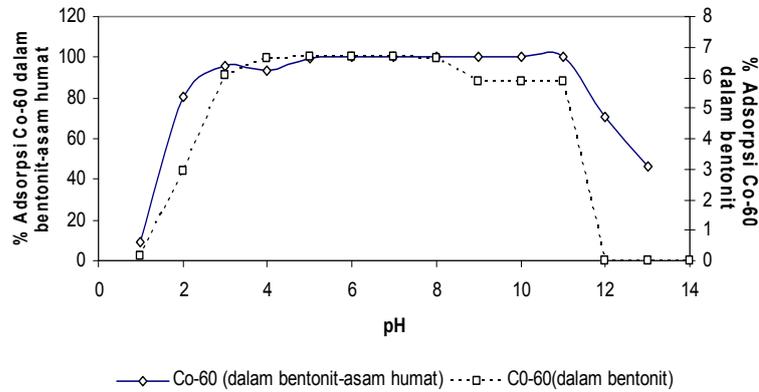
Adsorpsi Co-60 dan Sr-90 dalam Bentonit-Asam Humat

Berdasarkan persamaan reaksi (1) diatas, ikatan yang kemungkinan terjadi antara adsorben bentonit-asam humat dengan radionuklida dengan muatan $2+$, adalah sebagai berikut



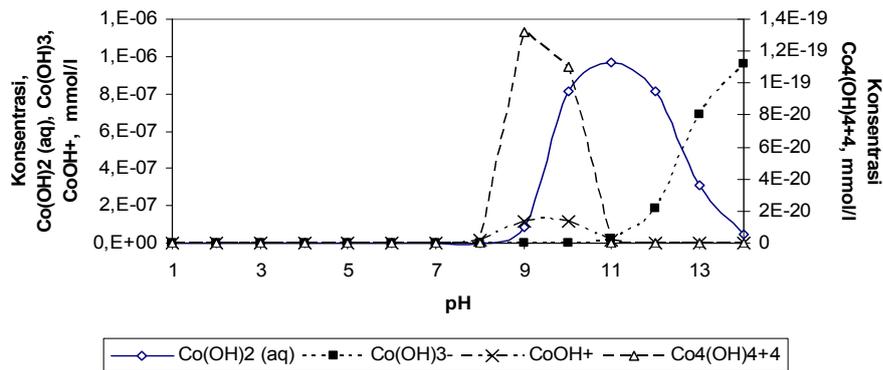
Pada gambar 8 berikut dapat ditampilkan perbandingan hasil imobilisasi bentonit-asam humat dengan bentonit yang diaplikasikan untuk adsorpsi radionuklida Co-60. Selanjutnya pada Gambar 8, dapat ditunjukkan bahwa adsorpsi Co-60 dalam bentonit asam- humat dan bentonit akan terjadi pada pH 3 hingga pH 11, dengan 96,5% - 99,8% adsorpsi untuk Co-60 dalam bentonit-asam humat sedangkan 5,5% - 6,8% adsorpsi dalam bentonit. Selanjutnya setelah pada kondisi pH 12, adsorpsi Co-

60 baik itu dalam bentonit-asam humat atau bentonit akan cenderung turun.



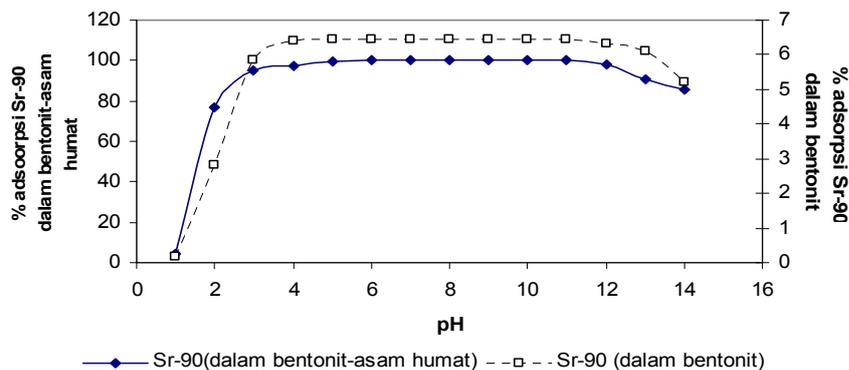
Gambar 8. Aplikasi Imobilisasi Bentonit-Asam Humat dan Betonit pada Adsorpsi Co-60

Fenomena ini ternyata pada kondisi pH tinggi terjadi terbentuknya spesies hidroksida cobal seperti $\text{Co(OH)}_2(\text{aq})$, Co(OH)_3 , CoOH^+ dan $\text{Co}_4(\text{OH})_4^{+4}$ seperti yang terlihat pada Gambar 9. Spesies-spesies tersebut merupakan hasil keluaran simulasi memakai perangkat lunak “Visual minteq” dengan masukan konsentrasi 0,001 mMol Co-60, 0,01 M kuat ion, suhu 25°C.



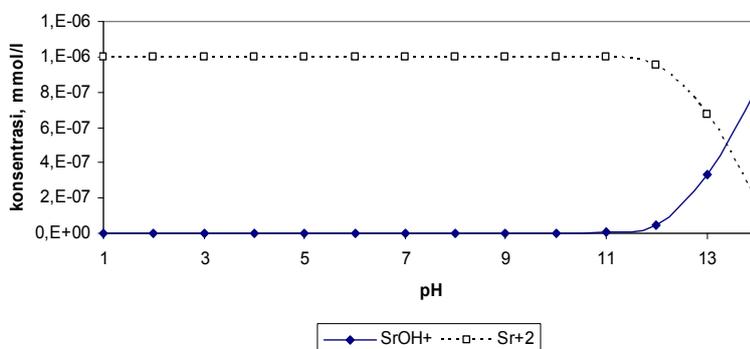
Gambar 9. Beberapa Spesies Hidroksida Cobal pada Beberapa pH (Simulasi dengan “Visualminteq”)

Pada Gambar 9 tersebut, dapat diperlihatkan bahwa di daerah pH 12 dan pH 13, didominasi oleh spesies $\text{Co(OH)}_2(\text{aq})$ dan Co(OH)_3 akibatnya Co-60 akan terlepas kedalam larutan beserta asam humat yang telah termobilisasi kedalam permukaan bentonit.



Gambar 10. Aplikasi Imobilisasi Bentonit-Asam Humat dan Bentonit pada Adsorpsi Sr-90

Dari Gambar 10, dapat diperlihatkan bahwa adsorpsi radionuklida Sr-90 ke dalam bentonit-asam humat dapat berlangsung di sepanjang pH 2 hingga pH 11. Pada Gambar 10 dapat diperlihatkan bahwa perbandingan adsorpsi Sr-90 dalam bentonit-asam humat berharga 96,87% - 99,56%, sementara bentonit hanya 5,81%-6,45%. Kemudian setelah pH 12 hingga pH 14 adsorpsi Sr-90 baik itu dalam bentonit-asam humat dan bentonit akan cenderung turun. Untuk mengetahui fenomena desorpsi Sr-90 tersebut juga disimulasikan dengan perangkat lunak "Visual minteq", guna mengetahui sifat-sifat Sr-90 pada pH tinggi. Dengan masukan konsentrasi 0,001 mMol Sr-90, 0,01 M kuat ion, suhu 25°C, ternyata hasil keluaran "Visual minteq" didapat diperlihatkan pada Gambar 11. Pada Gambar 11 ternyata hanya terdapat satu buah spesies stronsium hidroksida yaitu $\text{Sr}(\text{OH})^+$. Pada Gambar 11 dapat ditunjukkan bahwa pada daerah pH 12 – pH 13 Sr^{2+} yang dapat diikat oleh hasil imobilisasi bentonit-asam humat dan bentonit akan semakin turun, seiring dengan terbentuknya spesies hidroksida $\text{Sr}(\text{OH})^+$. Keadaan pada pH > 12 Sr-90 akan masuk kembali kedalam larutan dan terlepas dari permukaan bentonit-asam humat.



Gambar 11. Beberapa Spesies Hidroksida Sronsium pada beberapa pH (Simulasi dengan "Visualminteq")

KESIMPULAN

Imobilisasi bentonit-asam humat dapat dilakukan dengan umpan 100 g bentonit, asam humat 60 g, kuat ion 0,1 M NaNO_3 , pH 2,5 dapat mengikat gugus COOH maksimum sebesar 75,2 %. Berdasarkan data spektroskopi infra merah dan difraktometer sinar-X, asam humat dapat termobilisasi ke dalam bentonit membentuk paduan bentonit-asam humat. Aplikasi adsorpsi radionuklida Co-60 dan Sr-90, menunjukkan bahwa bentonit-asam humat dapat mengadsorpsi dengan rentang pH 3 hingga pH 10. Dengan umpan radionuklida Co-60 dan Sr-90 masing-masing 0,001 mmol/L, 0,1 M NaNO_3 dan pH 5 ternyata bentonit-asam humat dapat mengadsorpsi 98,50% - 99,1%

DAFTAR PUSTAKA

- Bunzi.K., Kracke.W., and Tikhomirov.A., 2000., Association of Chernobyl-derived $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{90}Sr and ^{137}Cs with different molecular size fraction of organic matter in the soil solution of two gassland soil., *Radiat. Environ Biophys.*, 37, 195-200
- Carver.A.M., and Hinton.T.G., 2007., Reduce plant uptake of Zr-95 Gown in Illite-amended sediments., *Water Air Soil Pollut.*, 185, 255-263..
- Kumar.A., Singhal.R.K ., Preetha.J., 2008., Impact of Tropical Ecosystem on the Migational behavior of K-40, Cs-137, Th-232 ,U-238 in Perennial Plant., *Water,Air, Soil Pollut.*, 192, 293-302.
- Kretschmar.R., and Hesterberg.D., 1997., Effects of adsorbed humic acid on surface charge and flocculation of kaolinite., *Soil.Sci.Soc Am.J.*, 61. 101-108.
- Muzakky, and Sri Juari Santosa., 2007, Adsorpsi of Th-232 and U-238 by $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -humate at single and competitive systems., *Indo. J. Chem*, 8 (2), 163-168.
- Tan.K.H., 1996, Soil sampling, preparation, and anlysis., Marcel Dekker,Inc, New York.

PEMERIKSAAN BAKTERIOLOGIS AIR MINUM DARI DEPOT AIR MINUM ISI ULANG

Yuli Pratiwi¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains Terapan, IST AKPRIND Yogyakarta
e-mail: tiwiyul@yahoo.co.id

ABSTRACT

The community still argue that the depot drinking water refill these water cracker, is derived from the spring mountains that meet the health requirements. In fact not the case, the raw water can be taken from a variety of sources so that hygiene depot refill drinking water must be observed. In addition to the quality of the equipment, depending on the capability and also the personnel operating the equipment's obedience included his attitude and behavior of clean and healthy. Given that drinking water sold at the depot drinking water pollution-prone due to bacteria or pollutants due to location, presentation and packaging is done openly by using containers of bottled water bottle refills so that consumers need to be aware of it. The purpose of this research is to identify the presence of coliform bacteria in drinking water from a drinking water refill depot in Gondokusuman Subdistrict, Yogyakarta including knowing information about raw water source used and analyze water trough processing procedures. Refill drinking water samples used for research comes from 9 refill drinking water depot in Gondokusuman Subdistrict, Yogyakarta is collation samples which include bacteriological parameters (coliform and colitinja), chemical (pH, hardness, Fe) and physical (color, sense of smell, turbidity) was carried out in the laboratory of Microbiology IST AKPRIND. Analysis of water quality will be based on the standard method of coliform the presence of bacteria of APHA, and then compared to the table MPN/JPT. Bacteriological examination results data then, chemical and physical Quality according to Standard compared to Kep. Health Minister RI No. 907MENKESKVII2002 about the terms of the terms and the supervision of drinking water Quality.. Results of the study showed that from 9 refill drinking water depot in Gondokusuman Subdistrict Yogyakarta which is used as the object of research turns 44,4 (4 depot) still contain bacteria koliform (total bacteria koliform), currently containing e. coli (kolitinja) only 11.1 (1 depot). The raw water source used is derived from well water (1 depot) and spring at Kaliurang (8 depot). Procedures for the processing of drinking water using Reverse Osmosis System (6 depot), ultra violet (2 depot) and ozone (1 depot).

Keywords: depot refill drinking water, coliform bacteria, reverse osmosis, ultra violet, ozone, raw water

PENDAHULUAN

Air minum merupakan kebutuhan manusia paling penting. Seperti diketahui, kadar air tubuh manusia mencapai 68 persen dan untuk tetap hidup air dalam tubuh tersebut harus dipertahankan. Kebutuhan air minum setiap orang bervariasi dari 2,1 liter hingga 2,8 liter per hari, tergantung pada berat badan dan aktivitasnya, agar tetap sehat, air minum harus memenuhi persyaratan fisik, kimia, maupun bakteriologis (Suriawiria, 1993).

Perkembangan air minum dalam kemasan berkembang pesat, akan tetapi makin lama harga air minum dalam kemasan semakin mahal dan hanya dapat dijangkau oleh golongan ekonomi menengah ke atas. Kondisi ini menjadikan bisnis air minum isi ulang memiliki pangsa pasar sendiri dan maraknya bisnis baru ini tidak terlepas dari semakin mahalnya harga air minum kemasan terutama yang bermerek. Harga yang ditawarkan air minum isi ulang dapat lebih murah lantaran tidak memerlukan biaya pengiriman dan pengemasan (Purwarna dan Rachmadi, 2003).

Masyarakat masih memiliki persepsi bahwa air baku depot air minum isi ulang berasal dari sumber mata air pegunungan yang memenuhi syarat-syarat kesehatan, dalam kenyataannya tidak demikian karena air baku dapat diambil dari berbagai sumber sehingga higienitas Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) harus diperhatikan. Selain kualitas peralatannya, tergantung pula kemampuan dan ketaatan tenaga yang mengoperasikan peralatan tersebut termasuk sikap dan perilaku bersih dan sehatnya. Tenaga yang mengoperasikan dan menangani hasil olahan yang tidak berperilaku bersih dan sehat dapat mencemari hasil olahan (Hadi Siswanto, 2003).

Menurut Departemen Kesehatan, syarat-syarat air minum adalah tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mengandung logam berat (Suprihatin, 2003). Air minum yang dijual di

DAMIU rawan pencemaran karena faktor lokasi, penyajian dan pewadahan yang dilakukan secara terbuka dengan menggunakan wadah botol air minum kemasan isi ulang sehingga konsumen perlu mewaspadai hal tersebut. Bakteri *coliform* dicurigai berasal dari tinja, oleh karena itu kehadirannya di dalam berbagai tempat mulai dari air minum, bahan makanan ataupun bahan-bahan lain untuk keperluan manusia, tidak diharapkan dan bahkan sangat dihindari. Karena adanya hubungan antara tinja dan bakteri *coliform* sehingga bakteri ini digunakan sebagai indikator alami kehadiran materi fekal, artinya jika pada suatu substrat misalnya air minum didapatkan bakteri ini maka langsung ataupun tidak langsung berarti air minum tersebut dicemari materi fekal (Suriawiria, 1993).

Semakin tinggi tingkat kontaminasi bakteri *coliform*, berarti kemungkinan semakin tinggi pula risiko kehadiran bakteri-bakteri patogen lain yang biasa hidup dalam kotoran manusia dan hewan. Salah satu contoh bakteri patogen yang kemungkinan terdapat dalam air terkontaminasi kotoran manusia atau hewan berdarah panas adalah *Shigella*, yaitu mikroba penyebab gejala diare, demam, kram perut, dan muntah-muntah (Suprihatin, 2003).

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi adanya bakteri *coliform* pada air minum dari DAMIU di Wilayah Kecamatan Gondokusuman, Yogyakarta, termasuk mendapatkan informasi tentang sumber air baku yang dipergunakan, mendeskripsikan dan menganalisis prosedur pemrosesan air minum yang dilaksanakan.

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII tahun 2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum, yang dimaksud air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Persyaratan kesehatan air minum meliputi persyaratan bakteriologis, kimiawi, radioaktif dan fisik. Sehingga kualitas air minum seharusnya jernih, tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Selain itu juga tidak mengandung kuman *pathogen* dan segala makhluk yang membahayakan kesehatan manusia (tingkat kontaminasi 0 koloni / 100 ml), tidak mengandung zat kimia yang dapat mengganggu fungsi tubuh, dapat diterima secara estetis dan tidak merugikan secara ekonomis.

Agar kualitas air minum sesuai dengan standar yang berlaku maka perlu dilakukan pengawasan, menurut Peraturan Menteri Kesehatan nomor 907/MENKES/SK/VII/2002, pengawasan kualitas air minum dilaksanakan oleh Dinas Kesehatan Kabupaten/Kota secara berkala minimal setiap tiga bulan, meliputi kegiatan: 1) inspeksi sanitasi dan pengambilan sampel air termasuk air pada: sumber air baku, proses produksi, jaringan distribusi, air minum isi ulang dan air minum dalam kemasan. 2) pemeriksaan kualitas air dilakukan di tempat/di lapangan dan atau di laboratorium. 3) analisis hasil pemeriksaan laboratorium dan pengamatan di lapangan, menjadisuatu rekomendasi untuk mengatasi masalah yang ditemui dari hasil kegiatan 1), 2) yang ditujukan untuk pengelola penyediaan air minum. 4) tindak lanjut upaya penanggulangan/perbaikan dilakukan oleh pengelola penyedia air minum. 5) melakukan penyuluhan kepada masyarakat.

Jadi pengelola penyediaan air minum harus menjamin air minum yang diproduksinya memenuhi syarat kesehatan dengan melaksanakan pemeriksaan secara berkala yaitu memeriksa kualitas air yang diproduksi mulai dari pemeriksaan pada: instalasi pengolahan air; jaringan pipa distribusi; pipa sambungan ke konsumen; proses isi ulang dan kemasan; serta melakukan pengamanan terhadap sumber air baku yang dikelolanya dari segala bentuk pencemaran.

Menurut Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia Nomor : 651/MPP/Kep/10/2004 tentang persyaratan teknis depot air minum dan perdagangannya, yang dimaksud DAMIU adalah usaha industri yang melakukan proses pengolahan air baku menjadi air minum dan menjual langsung kepada konsumen, sedangkan air baku adalah air yang diolah menjadi air minum dalam kemasan (AMDK) maupun Air Minum Isi Ulang (AMIU) berasal dari lapisan yang mengandung air di bawah permukaan tanah, mata air yang muncul secara alamiah di atas permukaan tanah, dan atau Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang airnya berasal dari mata air dan belum diolah. Air baku harus jernih, bersih dan bebas klorin. Sumber air baku yang digunakan harus terbebas dari bakteri *coliform*.

Proses pengolahan air minum isi ulang dapat dilakukan dengan ozon maupun sinar ultra violet untuk disinfeksi atau dengan sistem RO (*Reverse Osmosis*). Kedua proses tersebut dimulai dari tahap pengangkutan air baku yang diambil dari sumbernya dengan menggunakan tangki air dan kemudian ditampung dalam bak penampung air. Proses selanjutnya dengan ozon / sinar ultra violet untuk disinfeksi meliputi: penyaringan bertahap mulai dari *sand filter*, *carbon filter* dan *micro filter*

dilanjutkan desinfeksi ozon atau ultra violet. Desinfeksi ozon berlangsung dalam tangki pencampur ozon minimal 0,1 ppm dan residu ozon sesaat setelah pengisian berkisar antara 0,06 – 0,1 ppm, sedangkan desinfeksi sinar ultra violet dengan melewati air kedalam tabung atau pipa yang disinari dengan lampu ultra violet dengan panjang gelombang 254 nm. Pengisian ke tempat air (galon) dilakukan dalam tempat pengisian yang *hygienis* sedangkan penutupannya dilakukan dengan tutup yang dibawa konsumen atau yang disediakan oleh DAMIU.

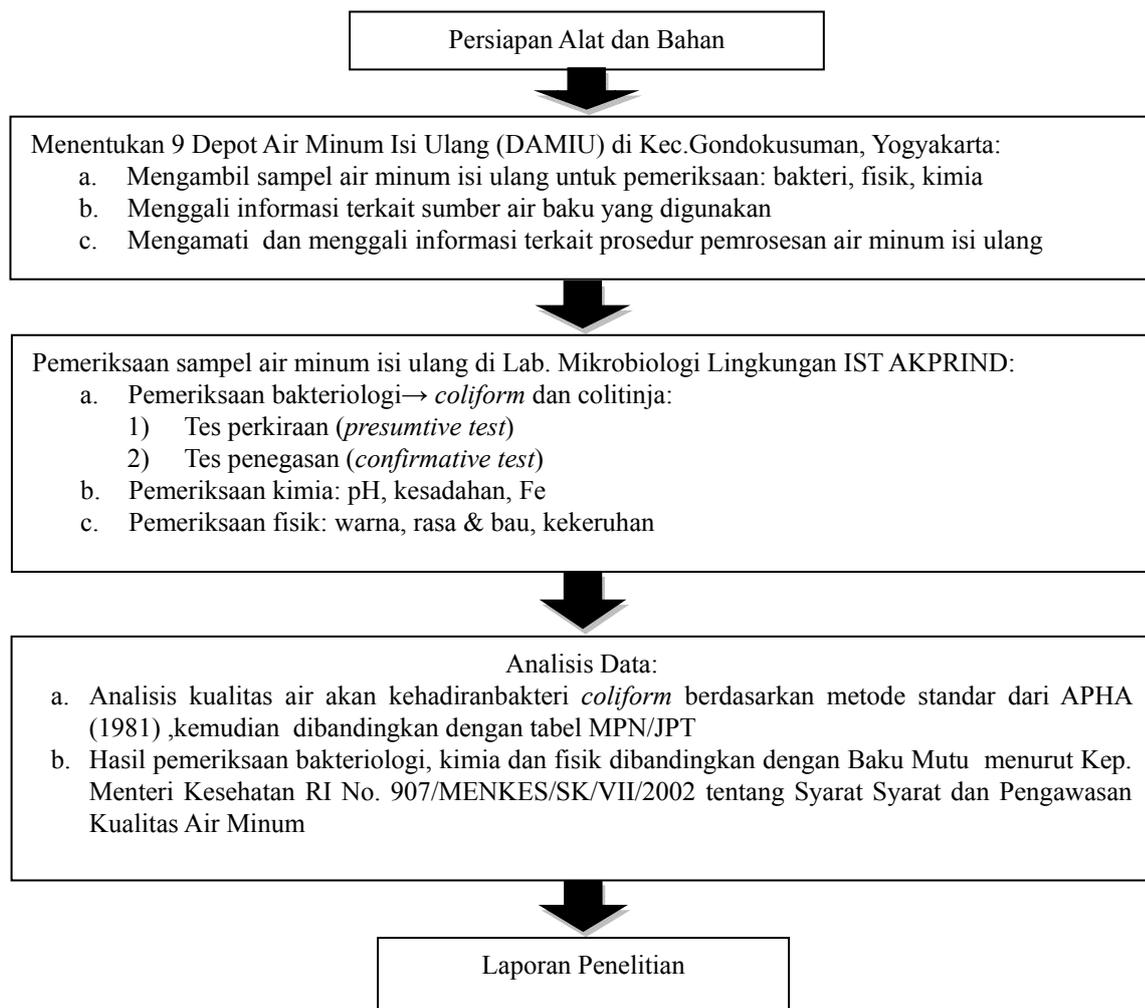
RO adalah unit pengolahan air dengan menggunakan *membran semi permeable*. Sistem ini mampu mereduksi logam-logam dan garam yang berlebih seperti *Sodium* (S), *Potassium* (P), Arsen (As), Timbal (Pb), dan *Cadmium* (Cd) hingga 98%. RO mampu mereduksi senyawa organik, bakteri, virus, jamur dan cemaran pestisida sehingga dihasilkan air murni dengan kandungan mineral dan partikel padat terlarut (TDS: *Total Dissolved Solid*) rendah. Tahapan penyaringan akhir dari sistem RO adalah menggunakan karbon aktif yang berbentuk bubuk yang berfungsi untuk menjernihkan serta menyerap bau dan rasa.

Agar masyarakat terhindar dari kemungkinan terkena risiko penyakit bawaan air akibat mengkonsumsi air minum isi ulang, maka DAMIU harus menerapkan hygiene sanitasi yang meliputi: 1) **lokasi** bangunan yang digunakan harus berada di lokasi yang bebas dari pencemaran, yaitu jauh dari daerah pencemaran seperti daerah tergenang air dan rawa, tempat pembuangan kotoran dan sampah, penumpukan barang bekas atau bahan berbahaya dan beracun (B3) dan daerah lain yang diduga dapat menimbulkan pencemaran terhadap air minum, perusahaan lain yang menimbulkan pencemaran seperti bengkel cat, las, kapur, asbes dan sejenisnya dan tempat pembuangan kotoran (tinja) umum, terminal bus, atau daerah padat pencemaran lainnya; 2) **bangunan**, harus kuat, aman dan mudah dibersihkan serta mudah pemeliharannya. Sedangkan tata ruangnya minimal terdiri ruangan: proses pengolahan, tempat penyimpanan, tempat pembagian / penyediaan, tunggu pengunjung; 3) **fasilitas sanitasi** di DAMIU meliputi tempat cuci tangan yang dilengkapi dengan sabun pembersih, saluran limbah, serta menyediakan satu unit dispenser dan air minum contoh pengunjung; 4) **sarana pengolahan air minum** harus menggunakan peralatan yang sesuai dengan syarat yang ditetapkan Departemen Kesehatan yaitu bahan tara pangan (*food grade*) yang meliputi kran pengisian air baku, pipa pengisian air baku, tandon air baku, pompa penghisap dan penyedot, filter, mikro filter, kran pengisian air minum curah, kran pencucian botol, tangki pembawa air, kran penghubung (*hose*), peralatan sterilisasi, 5) **air baku** yang digunakan harus memenuhi syarat sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Jika menggunakan air baku lain harus dilakukan uji mutu sesuai dengan kemampuan proses pengolahan yang dapat menghasilkan air minum dan untuk menjamin kualitas air baku, maka wajib dilakukan pengambilan dan pemeriksaan sampel secara periodik.

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa total *coliform* per 100 ml air minum adalah 0 (Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/Menkes/SK/VII/2002). Bakteri *coliform* berdasarkan asal dan sifatnya menurut Suriawiria (1993) dibagi menjadi dua golongan: 1) *coliform* fekal, seperti *Escherichia coli* yang berasal dari tinja manusia; 2) *coliform* non fekal, seperti *aerobacter* dan *klebsiella* yang bukan berasal dari tinja manusia tetapi biasanya berasal dari hewan atau tanaman yang telah mati. *Escherichia coli* adalah bakteri yang banyak ditemukan di dalam usus besar manusia dan dapat menyebabkan infeksi primer pada usus misalnya diare pada anak, juga dapat menimbulkan infeksi pada jaringan tubuh lain di luar usus.

Pemeriksaan bakteri coli dapat dilakukan dengan cara peragian dalam tabung dan hasilnya dinyatakan dengan indeks MPN (*Most Probable Number*) atau JPT (Jumlah Perkiraan Terdekat) bakteri golongan coli. Indeks ini menggambarkan jumlah bakteri golongan coli yang paling mungkin, dan bukan perhitungan yang sesungguhnya. Walaupun begitu, hasil angka ini memberikan gambaran yang dapat digunakan untuk menunjukkan kualitas air (Purwana dan Rachmadi, 2003). Pemeriksaan bakteriologi dengan metode MPN, terdiri dari *presumptive test* (test perkiraan) dan *confirmative test* (test penegasan). Media yang dapat dipergunakan untuk *presumptive test* yaitu *lactose broth*, sedangkan *confirmative test* menggunakan *Brilliant Green Lactose Bile Broth*

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

PEMBAHASAN

Data hasil penelitian meliputi: data Depot Air Minum Isi Ulang di Kecamatan Gondokusuman yang digunakan untuk penelitian termasuk hasil pemeriksaan parameter bakteriologi, kimia dan fisik airnya seperti tercantum pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Data Depot Air Minum Isi Ulang di Kec. Gondokusuman yang digunakan untuk Penelitian

No.	Depot Air Minum	Asal Sumber Air	Proses	Pengujian Air Setiap:	Jumlah Karyawan	Tahun Pendirian
1.	I	Mata air Kaliurang	Reverse Osmosis	3 bulan	2	2010
2.	II	Mata air Kaliurang	Reverse Osmosis	3 bulan	2	2005
3.	III	Mata air Kaliurang	Ultra Violet	3 bulan	2	2008
4.	IV	Mata air Kaliurang	Ozon	1 bulan	6	2012
5.	V	Mata air Kaliurang	Ultra Violet	3 bulan	1	2007

6.	VI	Mata air Kaliurang	Reverse Osmosis	3 bulan	3	2006
7.	VII	Mata air Kaliurang	Reverse Osmosis	3 bulan	2	2011
8.	VIII	Mata air Kaliurang	Reverse Osmosis	3 bulan	2	2011
9.	IX	Air Sumur	Reverse Osmosis	3 bulan	2	2006

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Parameter Bakteriologi, Air dari Depot Air Minum Isi Ulang di Kec. Gondokusuman yang digunakan untuk Penelitian

No.	Depot Air Minum	Parameter	Satuan	Hasil Analisis Ulangan ke:			Baku Mutu*
				1	2	3	
1.	I	Total Koliform	MPN/100 ml	0	0	0	0
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	0	0	0	0
2.	II	Total Koliform	MPN/100 ml	0	0	0	
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	0	0	0	
3.	III	Total Koliform	MPN/100 ml	2	2	0	
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	0	0	0	
4.	IV	Total Koliform	MPN/100 ml	0	0	0	
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	0	0	0	
5.	V	Total Koliform	MPN/100 ml	4	2	2	
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	0	0	0	
6.	VI	Total Koliform	MPN/100 ml	2	0	2	
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	0	0	0	
7.	VII	Total Koliform	MPN/100 ml	0	0	0	
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	0	0	0	
8.	VIII	Total Koliform	MPN/100 ml	2	2	2	
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	0	0	0	
9.	IX	Total Koliform	MPN/100 ml	4	2	2	
		E. coli (kolitinja)	MPN/100 ml	2	2	0	

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Parameter Fisik, Air dari Depot Air Minum Isi Ulang di Kec. Gondokusuman yang digunakan untuk Penelitian

No.	Depot Air Minum	Parameter	Satuan	Hasil Analisis Ulangan ke:			Baku Mutu*
				1	2	3	
1.	I	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau
		Rasa	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau
		Warna	Pt.Co	1	2	2	15
		Kekeruhan	NTU	0,5	0,5	0,5	5
		TDS	mg/L	88	85	89	500
2.	II	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	
		Rasa	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	
		Warna	Pt.Co	4	5	5	
		Kekeruhan	NTU	0,8	0,8	0,8	
		TDS	mg/L	101	98	101	
3.	III	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	
		Rasa	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	

		Warna	Pt.Co	4	4	5
		Kekeruhan	NTU	0,6	0,7	0,6
		TDS	mg/L	96	96	99
4.	IV	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau
		Rasa	-	Tdk berasa	Tdk berasa	Tdk berasa
		Warna	Pt.Co	5	4	4
		Kekeruhan	NTU	0,6	0,5	0,6
		TDS	mg/L	90	91	91
5.	V	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau
		Rasa	-	Tdk berasa	Tdk berasa	Tdk berasa
		Warna	Pt.Co	2	6	6
		Kekeruhan	NTU	1,4	1,6	1,6
		TDS	mg/L	86	86	87
6.	VI	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau
		Rasa	-	Tdk berasa	Tdk berasa	Tdk berasa
		Warna	Pt.Co	1	1	2
		Kekeruhan	NTU	0,4	0,4	0,4
		TDS	mg/L	88	88	89
7.	VII	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau
		Rasa	-	Tdk berasa	Tdk berasa	Tdk berasa
		Warna	Pt.Co	2	3	3
		Kekeruhan	NTU	0,7	0,7	0,8
		TDS	mg/L	26	28	28
8.	VIII	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau
		Rasa	-	Tdk berasa	Tdk berasa	Tdk berasa
		Warna	Pt.Co	1	1	3
		Kekeruhan	NTU	0,4	0,4	0,4
		TDS	mg/L	92	95	93
9.	IX	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau
		Rasa	-	Tdk berasa	Tdk berasa	Tdk berasa
		Warna	Pt.Co	3	5	5
		Kekeruhan	NTU	0,5	0,9	0,8
		TDS	mg/L	246	241	245

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Parameter Kimia, Air dari DAMIU di Kecamatan Gondokusuman yang digunakan untuk Penelitian

No.	Depot Air Minum	Parameter	Satuan	Hasil Analisis Ulangan ke:			Baku Mutu*
				1	2	3	
1.	I	pH	-	6,8	6,8	6,8	6,5-8,5
		Kesadahan	mg/L	51,3	51,3	51,3	
2.	II	pH	-	6,9	6,9	6,9	500
		Kesadahan	mg/L	51,3	51,3	51,3	
3.	III	pH	-	6,9	6,9	6,9	500
		Kesadahan	mg/L	51,3	51,3	51,3	
4.	IV	pH	-	6,9	6,9	6,9	500
		Kesadahan	mg/L	51,3	51,3	51,3	
5.	V	pH	-	6,8	6,8	6,8	500
		Kesadahan	mg/L	51,3	51,3	51,3	
6.	VI	pH	-	7,1	7,1	7,1	500

		Kesadahan	mg/L	51,3	51,3	51,3
7.	VII	pH	-	6,8	6,8	6,8
		Kesadahan	mg/L	51,3	51,3	51,3
8.	VIII	pH	-	7,1	7,1	7,1
		Kesadahan	mg/L	51,3	51,3	51,3
9.	IX	pH	-	6,8	6,8	6,8
		Kesadahan	mg/L	119,7	119,7	119,7

Dari 9 DAMIU (tabel 2) di wilayah Kecamatan Gondokusuman Yogyakarta yang digunakan sebagai obyek penelitian ternyata 44,4% (4 depot) masih mengandung bakteri koliform (total bakteri koliform), sedang yang mengandung *E.coli* (kolitinja) hanya 11,1 % (1 depot). Perlu diketahui bahwa air yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan air minum isi ulang (Tabel 1) berasal dari air sumur (1 depot) dan mata air di Kaliurang (8 depot) yang diangkut dengan mobil tangki air. Air tersebut ditampung dalam suatu wadah kemudian diproses (Tabel 1) dengan sistem: RO (6 depot), UV (2 depot) dan ozon (1 depot). Hasil pemeriksaan parameter fisik dan kimia meliputi: bau, rasa, warna, kekeruhan, TDS, pH dan kesadahan dari ke 9 depot air minum isi ulang, semuanya masih memenuhi standar baku sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII tahun 2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum (Tabel 3 dan 4).

Semua air baku yang sudah diproses menjadi air minum isi ulang seharusnya sudah steril dan bebas dari bakteri koliform maupun kolitinja. Adanya kontaminasi bakteri *coliform* maupun *E.coli* menandakan air tersebut masih tercemar. Untuk itu perlu penelitian / pemeriksaan sumber air yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan air minum isi ulang, apakah sumber air yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan air minum isi ulang sudah tercemar ?. Di samping itu juga perlu penelitian standar mutu alat pemrosesan air minum isi ulang termasuk higiene sanitasi lingkungan di sekitar depot agar tidak terjadi kontaminasi silang dari lingkungan sekitar. Higienen sanitasi meliputi: 1) **lokasi** bangunan yang digunakan harus berada di lokasi yang bebas dari pencemaran; 2) **bangunan**, harus kuat, aman dan mudah dibersihkan serta mudah pemeliharanya; 3) **fasilitas sanitasi** di DAMIU meliputi tempat cuci tangan yang dilengkapi dengan sabun pembersih, saluran limbah, serta menyediakan satu unit dispenser dan air minum contoh pengunjung; 4) **sarana pengolahan air minum** harus menggunakan peralatan yang sesuai dengan syarat yang ditetapkan Departemen Kesehatan; 5) **air baku** yang digunakan harus memenuhi syarat sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air.

Adanya kontaminasi bakteri koliform 44,4% (4 depot) dan *E.coli* (kolitinja) hanya 11,1 % (1 depot) dapat juga disebabkan dari faktor karyawan yang kurang menjaga kebersihan maupun proses pengemasan air minum isi ulang yang tidak sesuai prosedur. Karyawan DAMIU yang berhubungan langsung dengan produksi harus dalam keadaan sehat, bebas dari luka, penyakit kulit atau hal-hal lainnya yang diduga dapat mengakibatkan pencemaran air minum. Karyawan bagian produksi (pengisian) diharuskan menggunakan pakaian kerja, tutup kepala dan sepatu yang sesuai. Karyawan harus mencuci tangan sebelum melakukan pekerjaannya, terutama pada saat penanganan wadah dan pengisian agar tidak mengotori air. Karyawan tidak diperkenankan makan, merokok, meludah atau melakukan tindakan lain selama melakukan pekerjaan yang dapat menyebabkan pencemaran terhadap air.

Proses pengemasan air minum isi ulang harus sesuai prosedur agar terhindar dari kontaminasi bakteri koliform maupun *E. Coli* (kolitinja). Prosedur pengemasan air minum isi ulang antara lain yaitu sebelum air minum hasil olahan dikemas maka terlebih dahulu kemasan dicuci dan disterilkan dengan menggunakan air ozon atau air panas. Pencucian kembali ini dapat dilakukan dengan merendam atau mengalirkan larutan *caustic soda*, dan selanjutnya dibersihkan pada bagian luarnya dengan seksama. Tutup kemasan yang digunakan harus didesinfeksi sebelum digunakan dan harus menggunakan bahan sesuai untuk makanan dan tidak berbahaya bagi kesehatan. Kemasan galon yang telah diisi dengan air isi ulang harus segera diberi tutup kemudian dilakukan pengepresan dan selanjutnya tutup kemasan diberi segel pengaman dan dilewatkan pada pemanas untuk merekatkan segel.

KESIMPULAN

Dari 9 DAMIU di wilayah Kecamatan Gondokusuman Yogyakarta yang digunakan sebagai obyek penelitian ternyata 44,4% (4 depot) masih mengandung bakteri koliform (total bakteri koliform), sedang yang mengandung E.coli (kolitinja) hanya 11,1 % (1 depot). Sumber air baku yang dipergunakan pada DAMIU di Kecamatan Gondokusuman, Yogyakarta berasal dari air sumur (1 depot) dan mata air di Kaliurang (8 depot). Prosedur pemrosesan air minum yang dilaksanakan pada DAMIU di Kecamatan Gondokusuman, Yogyakarta menggunakan sistem *Reverse Osmosis* (6 depot), ultra violet (2 depot) dan ozon (1 depot).

Saran dalam penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang terkait: kualitas air baku yang digunakan termasuk transportasinya serta higiene & sanitasi depot air minum isi ulang yang ada di Kecamatan Gondokusuman Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Apha, 1981, Standart Methods for The Examination or Water and Waste Water, 5th.Ed., American Public Health Association, Washington.
- Hadi Siswanto, 2003, Mencegah Depot Air Minum Isi Ulang Tercemar, <http://www.hakli.or.id/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=24>, Hakli.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/Menkes/SK/VII/2002 tentang Syarat Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum.
- Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia Nomor : 651/MPP/Kep/10/2004 tentang persyaratan teknis depot air minum dan perdagangannya.
- Purwana, Rachmadi, 2003, Pedoman dan Pengawasan Hygiene Sanitasi Depot Air Minum, Depkes RI WHO, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) No 01-3553, 1996, Air Minum Dalam Kemasan. Deperindag, Jakarta.
- Suprihatin, Sebagian Air Minum Isi Ulang Tercemar Bakteri Coliform, Tim Penelitian Laboratorium Teknologi dan Manajemen lingkungan, IPB, Kompas, 26 April 2003.
- Surawira, 1993, Mikrobiologi Air, Angkasa Bandung.

PEMBUATAN PULP DARI SERAT AREN (*ARENGA PINNATA*) DENGAN PROSES NITRAT SODA

Purnawan¹, Cyrilla Indri Parwati²

¹Jurusan Teknik lingkungan, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

²Jurusan Teknik Industri Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Email : iwengpurnawan@yahoo.co.id

ABSTRACT

Palm plants (Arenga pinnata) can be used as plant conservation because it has shallow roots so it helpful to prevent soil erosion and this plants including crop production plants because palm plants can be exploited from the roots, stems, leaves, flowers and fruit. Inner stem can produce starch as a carbohydrate source that is used as a raw material in the manufacture of bread, glass noodles and noodles, flour separation process will produce untapped fiber as a potential source of pollution, in the preliminary study of the palm fiber raw materials contain high levels of alpha cellulose $\pm 77.63\%$, so palm fiber that can be used as material for the manufacture of paper pulp. This research was conducted to study the effect of hydrolysis time, the concentration of solvent (NaOH) and stirring speed on pulp yield, levels of α cellulose process with nitrate of soda, the results of this study are expected as an alternative to fulfill the long-fiber pulp, reduce imported long fiber pulp as well as efforts to minimize the environmental impact of the process of separation of starch from sugar plant. From the research that has been done, gained relatively good condition by using NaOH concentration of 7.5% with a time of 1.5 hours and stirring speed of 400 rpm. In these conditions the obtained results: product yield 33.41%, 95.74% levels of α cellulose and pulp yield can be categorized as long-fiber pulp

PENDAHULUAN

Kebutuhan pulp di dalam negeri dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan peningkatan kebutuhan kertas., Indonesia dengan jumlah penduduk 237.556.363 (Sensus BPS, 2010) dimana kertas menjadi salah satu sarana komunikasi secara nonverbal dalam berbagai sektor kehidupan maka Indonesia menjadi negara konsumtif dalam pemakaian jumlah kertas. Menurut Badan Pusat Statistik ekspor dan import Indonesia menunjukkan peningkatan seperti pada tabel berikut :

Tabel 1 : Data ekspor dan import pulp indonesia

	Ekspor		Import	
	Net Weight (kg)	Value (US\$)	Net Weight (kg)	Value (US\$)
2009	6.530.910.230	4.272.376.637	3.964.315.118	1.850.559.201
2010	7.135.283.792	5.708.144.030	4.271.722.677	2.729.471.340
2011	7.235.256.575	5.769.376.896	4.367.955.498	3.259.084.992

Sumber : BPS, 2014

Ekspor pulp Indonesia berjenis serat pendek yang dihasilkan dari proses pemisahan lignin dengan proses soda dari jerami, ketebon, dll dengan kandungan α selulose $\pm 45\%$ sedangkan import pulp Indonesia berjenis serat panjang dari bahan baku kayu pinus (*Radiata Pine*) dengan kandungan α selulose $\pm 90\%$ produk Australia dan Kanada.

Dalam proses delignifikasi bertujuan untuk memisahkan lignin yang terdapat dalam serat/kayu, kemudahan suatu bahan untuk diproses menjadi pulp sangat bergantung pada jumlah lignin yang terdapat dalam bahan baku dan reaktifitasnya. Kadar lignin secara kuantitatif merupakan faktor yang banyak berpengaruh terhadap konsumsi bahan kimia selama proses delignifikasi,

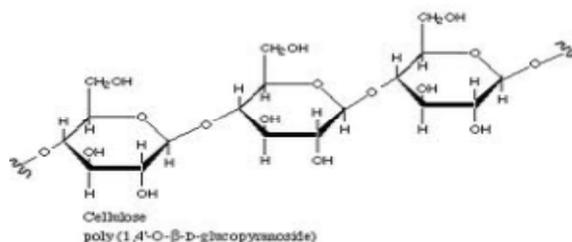
Pulp

Pulp adalah hasil pemisahan serat dari bahan baku berserat. Pulp dapat dibuat dari bahan kayu, non kayu, dan kertas bekas (*waste paper*). Pulp merupakan bubur kayu sebagai bahan dasar dalam pembuatan kertas. Bahan baku pulp biasanya mengandung tiga komponen utama, yaitu: selulosa,

hemiselulosa, dan lignin. Secara umum prinsip pembuatan pulp merupakan proses pemisahan selulosa terhadap *impurities* bahan-bahan dari senyawa yang dikandung oleh kayu di antaranya lignin.

Selulosa

Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ adalah polimer berantai panjang polisakarida karbohidrat dari beta-glukosa. Selulosa memiliki sifat berbentuk senyawa berserat, mempunyai tegangan tarik yang tinggi, tidak larut dalam air dan pelarut organik.

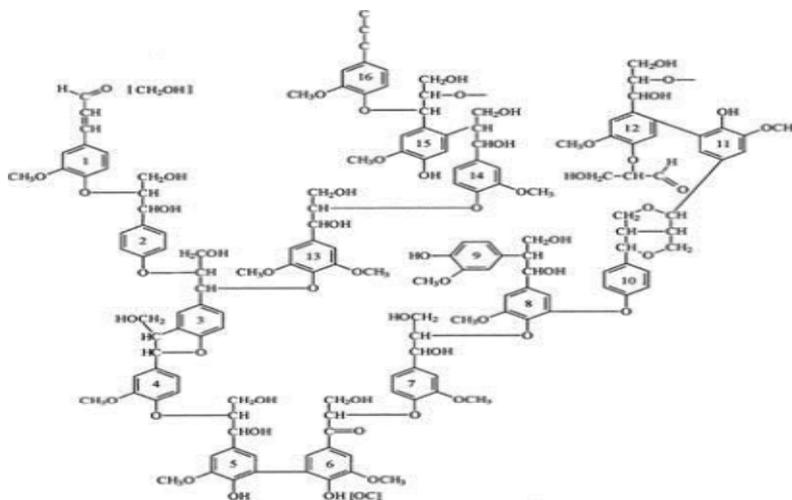


Gambar 1. Rumus Molekul Selulosa

Selulosa merupakan unsur yang penting dalam proses pembuatan pulp, semakin banyak selulosa yang terkandung dalam pulp maka semakin baik kualitas pulp tersebut. Berdasarkan derajat polimerisasi (DP), selulosa dibedakan atas tiga jenis yaitu: 1. Selulosa α (*Alpha Cellulose*) merupakan selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan DP (derajat polimerisasi) berkisar 600-1500. Selulosa α dipakai sebagai penduga dan atau penentu tingkat kemurnian selulosa. 2. Selulosa β (*Betha Cellulose*) merupakan selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP berkisar 15-90, dapat mengendap bila dinetralkan. 3. Selulosa γ (*Gamma cellulose*) merupakan selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP kurang daripada 15.

Lignin

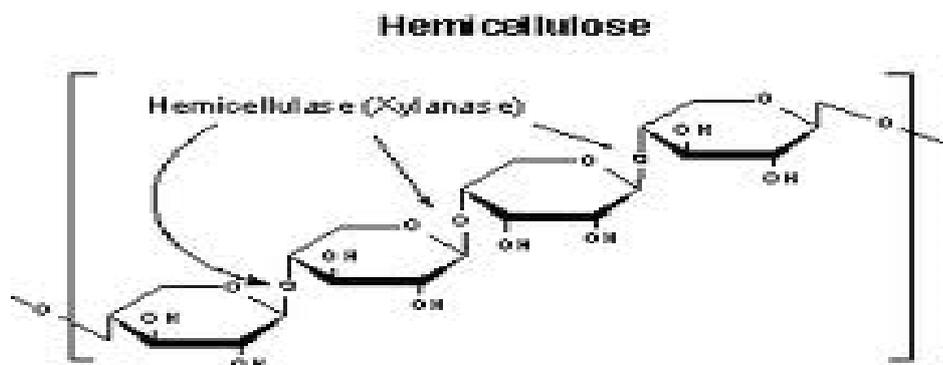
Lignin zat yang bersama-sama dengan selulosa merupakan salah satu sel yang terdapat dalam kayu. Lignin berguna dalam kayu seperti lem atau semen yang mengikat sel-sel lain dalam satu kesatuan, sehingga bisa menambah *support* dan kekuatan kayu (*mechanical strength*) agar kokoh dan berdiri tegak. Lignin memiliki struktur kimiawi yang bercabang-cabang dan berbentuk polimer tiga dimensi. Molekul dasar lignin adalah fenil propan. Oleh karena ukuran dan strukturnya yang tiga dimensi bisa memungkinkan lignin berfungsi sebagai semen atau lem bagi kayu yang dapat mengikat serat dan memberikan kekerasan struktur serat. Bagian tengah lamela pada sel kayu, sebagian besar terdiri dari lignin, berikatan dengan sel-sel lain dan menambah kekuatan struktur kayu. Dinding sel juga mengandung lignin. Pada dinding sel, lignin bersama-sama dengan hemiselulosa membentuk matriks (semen) yang mengikat serat-serat halus selulosa. Lignin di dalam kayu memiliki persentase yang berbeda tergantung dari jenis kayu (Casey, 1951).



Gambar 2. Struktur Lignin

Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan senyawa sejenis polisakarida yang terdapat pada semua jenis serat, mudah larut dalam alkali, dan mudah terhidrolisis oleh asam mineral menjadi gula dan senyawa lain. Hemiselulosa lebih mudah larut dari pada selulosa dan dapat diisolasi dari kayu dengan ekstraksi.



Gambar 3. Senyawa Hemiselulosa

Pada proses pengambilan selulosa dengan proses kimia terdapat berbagai macam cara yaitu : proses soda, proses sulfat, proses sulfit, proses soda-khlor dan proses soda-nitrat. 1).Proses Soda: Larutan yang dipergunakan ialah Natrium Hydroksida dan Natrum Karbonat. Larutan soda akan menghidrolisa lignin dan zat pengikat serat yang lain sehingga serat yang terdapat dalam bahan baku akan terlepas. Proses dijalankan pada suhu antara 165 sampai dengan 171⁰C, tekanan 90 – 105 psi dan waktu 6 – 8 jam, selulosa hasil ukurannya pendek dan kurang kuat, berwarna coklat tetapi mudah untuk dilakukan pemutihan (Shreve, 1977). 2). Proses Sulfat: Pada proses ini dikenal dengan nama proses kraft yang menggunakan larutan pemasak yang terdiri dari NaOH, Na₂S dan Na₂CO₃. Hasil yang diperoleh relatif lebih baik untuk kuat tariknya tetapi warnanya kurang baik sehingga diperlukan bahan pemutih lebih banyak. Pemasakan dilakukan pada suhu antara 171 - 179⁰C, tekanan 100 – 125 psi dan waktu 2 sampai dengan 5 jam (Shreve, 1977). 3).Proses Sulfit:Larutan pemasak bersifat asam yaitu larutan bisulfit dari Ca(HSO₃)₂ atau Mg(HSO₃)₂, Pemasakan dilakukan pada suhu antara 129 - 149⁰C, tekanan 70 sampai dengan 90 psi dan waktu 7 sampai dengan 12 jam, Dalam proses pemasakan bahan dasar yang berwarna ini akan menghasilkan selulosa yang berwarna putih dan akan terpecah serta membentuk Lignosulfonat (Stephenson, 1950). 3).Proses Soda-Khlor:Bahan kimia yang dipergunakan adalah NaOH, gas khlor dan larutan CaOCl₂. Pemasakan dijalankan pada suhu antara 120⁰C, tekanan 1 atmosfir dan waktu 4 sampai dengan 5 jam (Stephenson, 1950). 4).Proses soda-khlor atau disebut juga proses pomilio ini merupakan proses kontinyu yang terdiri atas beberapa tingkatan proses yaitu pemasakan dengan larutan soda, khlorinasi dengan memakai gas khlor, pencucian dengan larutan soda encer dan proses pemutihan dengan mengalirkan gas khlor sehingga lignin yang mengikat khlor larut didalam cairan pemasaknya (Casey,1981). 5). Proses Soda – Nitrat: Pada proses ini bahan baku direbus dengan HNO₃ dalam penangas air. Bahan yang telah diolah dengan HNO₃ direbus kembali dengan larutan NaOH dalam waktu 45 menit pada kondisi suhu 98⁰C.

Pada proses ini asam nitrat akan mengoksidasi dan menghidrolisa lignin hingga didapatkan lignin yang mudah larut dalam alkali encer. Pentosan dan karbohidrat juga akan diserang oleh asam nitrat akan tetapi selulosa sendiri hampir tidak mengalami perubahan. Zat padat hasil selanjutnya diolah kembali menggunakan larutan soda encer. Lignin yang telah rusak bereaksi dengan NaOH menjadi Na Lignat yang akan larut dalam pencucian. (Agra, 1979).

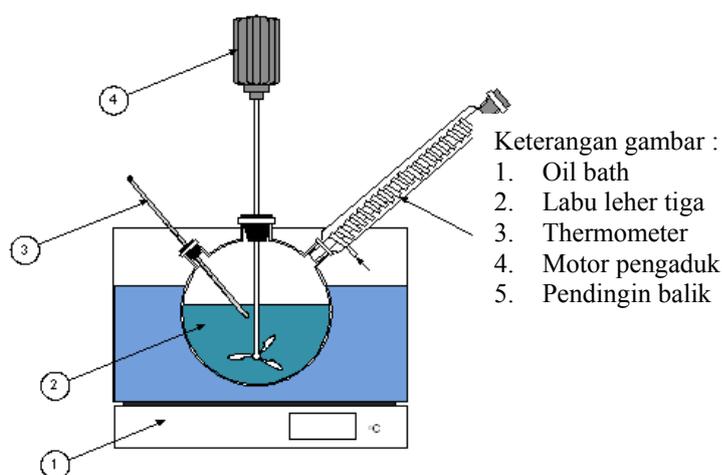
Dengan semakin meningkatnya kebutuhan yang besar akan pulp untuk industri kertas perlu dilakukan penelitian sebagai upaya pemenuhan pulp serat panjang dari bahan-bahan alternatif mengingat terbatasnya kayu sebagai bahan baku, mengurangi import pulp serat panjang serta sebagai upaya meminimalisir dampak pencemaran dari proses pemisahan tepung dari tanaman aren.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh waktu hidrolisis, konsentrasi pelarut (NaOH) serta kecepatan pengadukan terhadap *yield* pulp, kadar α selulosa dengan proses nitrat soda.

METODE PENELITIAN

Serat dimasukkan dalam labu leher tiga 500 ml yang dilengkapi dengan pengaduk dan pendingin balik. Pada delignifikasi dengan proses nitrat – soda, larutan asam nitrat ditambahkan dalam labu yang berisi serat dengan volume dan konsentrasi yang telah ditentukan. Setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dengan selang waktu tertentu, hasilnya disaring dan dicuci dengan air panas sampai air cucian bebas asam. Serat dimasukkan kedalam labu leher tiga kembali dan larutan NaOH ditambahkan dengan konsentrasi dan volume yang telah ditentukan, kemudian dipanaskan dan diaduk pada selang waktu tertentu, kemudian disaring dan dicuci sampai bebas basa, selulosa hasil yang diperoleh dikeringkan dalam oven.

Proses delignifikasi menggunakan rangkaian peralatan seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian alat proses

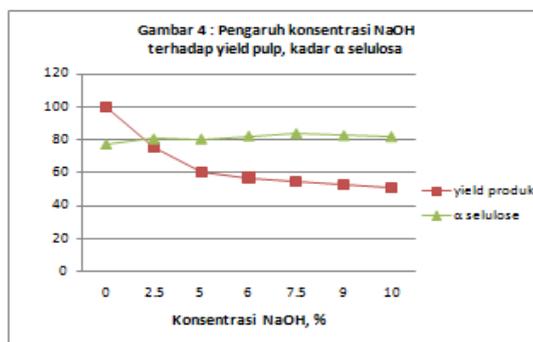
PEMBAHASAN

Pengaruh konsentrasi natrium hidroksida

Kondisi proses : berat bahan 10 gram, volume HNO_3 400 ml, konsentrasi HNO_3 5%, waktu 1 jam, suhu proses $103 \pm 2^\circ\text{C}$, kec. pengadukan 300 rpm, volume NaOH 400 ml, waktu 1 jam, Suhu $103 \pm 2^\circ\text{C}$, kecepatan pengadukan 300 rpm.

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap *yield* pulp, kadar α selulosa

NaOH (%)	<i>yield</i> pulp (%)	Kadar α selulose (%)
0	100	77,63
2,5	75,24	80,89
5,0	60,32	80,87
6,0	57,16	82,65
7,5	54,42	84,13
9,0	52,87	82,96
10,0	51,08	82,28



Dari Tabel 2 serta Gambar 4, penggunaan larutan asam nitrat sebagai pemecah struktur ikatan lignin dan serat cukup berpengaruh sehingga pada proses tahap kedua menggunakan larutan NaOH untuk melarutkan lignin akan lebih efektif. Kenaikan konsentrasi NaOH dapat menaikkan daya larut lignin dalam NaOH, sehingga kadar α selulosa semakin meningkat dan jumlah lignin semakin menurun. Kadar α selulosa optimum tercapai pada konsentrasi NaOH 7,5% sebesar 84,13% serta *yield* pulp 54,42%, setelah konsentrasi optimum kenaikan konsentrasi NaOH yang lebih tinggi tidak berpengaruh terhadap kenaikan *yield* pulp dan kadar α selulosa bahkan cenderung mengalami penurunan hal ini disebabkan selulosa sebagian ikut terlarut sehingga prosentase bahan lain semakin besar.

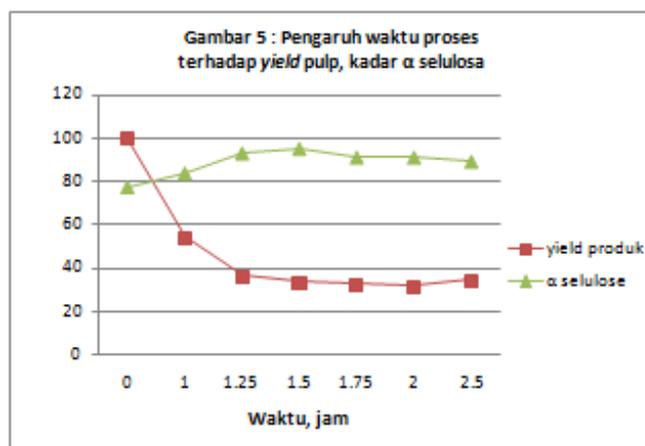
Pengaruh waktu proses pada proses

Variabel waktu sebagai variabel tidak tetap pada proses nitrat soda bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu proses terhadap *yield* pulp, kadar α selulosa, sedangkan variabel tetap dipergunakan konsentrasi NaOH optimum yang telah dicapai yaitu konsentrasi NaOH 7,5%.

Kondisi proses: berat bahan 10 gram, volume HNO₃ 400 ml, konsentrasi HNO₃ 7,5%, waktu 1 jam, suhu proses 103 ± 2^oC, kecepatan pengadukan 300 rpm, volume NaOH 400 ml, Suhu 103 ± 2^oC, kecepatan pengadukan 300 rpm dengan variabel tidak tetap berupa lama waktu proses.

Tabel 3. Pengaruh waktu proses terhadap terhadap *yield* pulp, kadar α selulosa

Waktu (jam)	<i>yield</i> pulp (%)	Kadar α selulose (%)
0	100	77,63
1,00	54,42	84,13
1,25	36,40	93,25
1,50	33,29	95,34
1,75	32,76	91,35
2,00	31,73	91,27
2,50	34,62	89,47



Dari Tabel 3 dan Gambar 5, dengan jumlah dan konsentrasi HNO₃ dan NaOH yang tetap, waktu proses sangat berpengaruh terhadap *yield* pulp, kadar α selulosa dan lignin yang dapat terpisahkan.

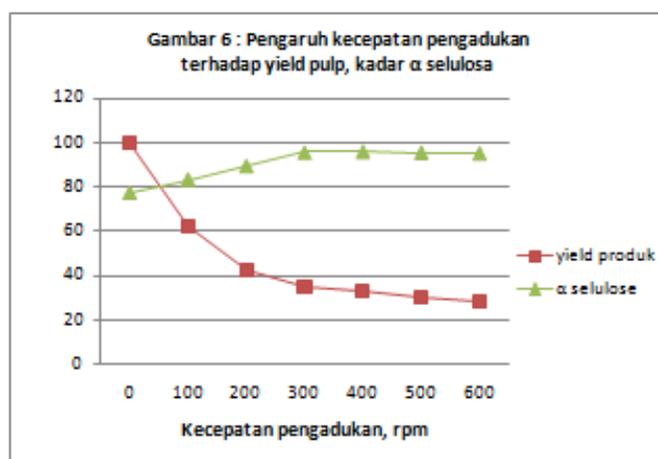
Semakin lama waktu proses *yield* pulp, kadar α selulosa dan jumlah lignin yang dapat terpisahkan semakin menurun, sedangkan kadar α selulosa semakin meningkat hingga dicapai waktu optimum tercapai yaitu selama 1,5 jam, setelah itu mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka semakin banyak lignin yang dapat terlarut dalam NaOH, tetapi pada waktu proses 1,5 jam hingga 2,5 jam relatif konstan sehingga waktu sudah tidak terlalu berpengaruh terhadap proses transfer massa lignin dari bahan ke pelarut NaOH, karena proses transfer massa sudah mencapai kesetimbangan atau pelarut sudah mengalami kejenuhan terhadap kadar lignin. Secara keseluruhan *yield* pulp mengalami penurunan pada saat lignin mencapai kesetimbangan, α selulosa ikut terlarut dalam NaOH sehingga menyebabkan penurunan *yield* pulp.

Pengaruh kecepatan pengadukan

Variabel kecepatan pengadukan sebagai variabel tidak tetap pada proses nitrat soda bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan terhadap *yield* pulp, kadar α selulosa, sedangkan variabel tetap dipergunakan konsentrasi NaOH optimum yang telah dicapai yaitu konsentrasi NaOH 7,5% serta waktu optimum 1,5 jam.

Tabel 4. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap *yield* pulp, kadar α selulosa

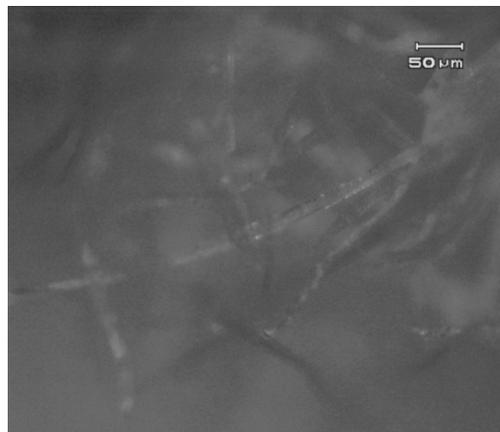
Kecepatan (rpm)	<i>yield</i> pulp (%)	Kadar α selulose (%)
0	100	77,63
100	62,36	83,50
200	42,58	89,39
300	34,72	95,33
400	33,41	95,74
500	30,47	95,28
600	28,35	94,92



Dari tabel 4 serta gambar 6 dapat dilihat bahwa dengan pengadukan semakin cepat jumlah produk hasil dan jumlah lignin yang dapat terpisahkan semakin menurun, sedangkan kadar α selulosa semakin meningkat hingga dicapai kecepatan optimum tercapai yaitu 400 rpm, setelah itu mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa pengadukan semakin cepat makin banyak lignin yang dapat terlarut dalam NaOH, tetapi pada kecepatan 300 rpm hingga 500 rpm relatif konstan sehingga kecepatan pengadukan sudah tidak terlalu berpengaruh terhadap proses transfer massa lignin, secara keseluruhan *yield* pulp mengalami penurunan karena α selulosa ikut terlarut dalam NaOH, secara fisis produk pulp pada kondisi optimum seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Fisis serat



Gambar 8. Struktur serat pembesaran 100x

KESIMPULAN

1. Serat aren dapat diproses menjadi selulosa dengan proses delignifikasi nitrat soda
2. Pada proses delignifikasi menggunakan nitrat soda dengan berat bahan 10 gram, volume HNO₃ 400 ml, konsentrasi HNO₃ 7,5%, waktu 1 jam, suhu proses 103 ± 2°C, kecepatan pengadukan 400 rpm, volume NaOH 400 ml, diperoleh kondisi relatif baik dengan menggunakan konsentrasi NaOH 7,5% dengan waktu 1,5 jam. Pada kondisi tersebut diperoleh hasil : yield produk 33,41%. kadar α selulosa 95,74% dan dapat dikategorikan sebagai pulp serat panjang

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kopertis Wilayah V Daerah Istimewa Yogyakarta yang telah menyetujui, mendukung dan membiayai penelitian ini melalui Penelitian Hibah Dosen Pemula Nomor DIPA : DIPA/ 023.04.1.673453/2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Agra, I.B., Warnijati, S and Hanafi., 1970, Nitric Acid Pulping of Kapok (Ceiba Pentandra) Wood , Research Journal, vol.3 No. 5 , pp. 1-9 . Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Brunow G. 1998., Methods to Reveal the Structure of Lignin. In:Hofrichter M and Steinbu"chel A (eds) Lignin, Humic Substances and Coal , vol. 1, pp. 89–116. Weinheim: Wiley-VHC.
- Casey, P.J., 1951, Pulp and Paper, Vol III, 3 ed., pp 4-19, Van Norstrand Reinhold Company, New York.
- Donaldson, L. A., 1996. "Determination of lignin distribution in agricultural fibres," Wood Processing Division, New Zealand Forest Research Institute. 4418, 1-25.

- Fengel, D., 1995, *Kimia Kayu Ultrastruktur dan Reaksi-Reaksi*, UGM Press, Yogyakarta
- Gibbs., 1958, *Enzymatic bleaching of wood pulp*, School of Biological Sciences, University of Macquarie, Sydney, New South Wales.
- Kenneth, W. Britt., 1970, *Handbook of Pulp and Paper Technology*, 2nd edition, revised and enlarged, Nab Nostrand Company, New York.
- Muzzie, M. D., 2006, *Hemiselulosa and Lignin*, New Jersey.
- Perez, J., J. Munoz-Dorado, T. de la Rubia, and J. Martinez., 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose, and lignin : an overview. *Int. Microbiol.* 5: 53-63.
- Radley, J. A., 1954, *Starch Production Technology*. Applied Science Publisher Ltd. London.
- Shreve, R.N., 1977, *The Chemical Process Industries*, 2ed., pp 630-660, Mc Graw Hill Book Company, Inc., New York
- Smook, G. A., 1989, *Handbook for Pulp & Paper Technologist*, Edisi Keenam, Hlm. 146-148.
- Stephenson, J.N., 1950, *Pulp and Paper Manufacture*, Vol I, pp 364-662, Mc Graw Hill Book Company, Inc., New York.

PENDUGAAN ZONA MINERALISASI GALENA (PbS) DI DAERAH MEKAR JAYA, SUKABUMI MENGGUNAKAN METODE INDUKSI POLARISASI (IP)

Sapto Heru Yuwanto¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Kelautan, ITATS Surabaya
e-mail : saptoheruyuwanto@gmail.com,

ABSTRACT

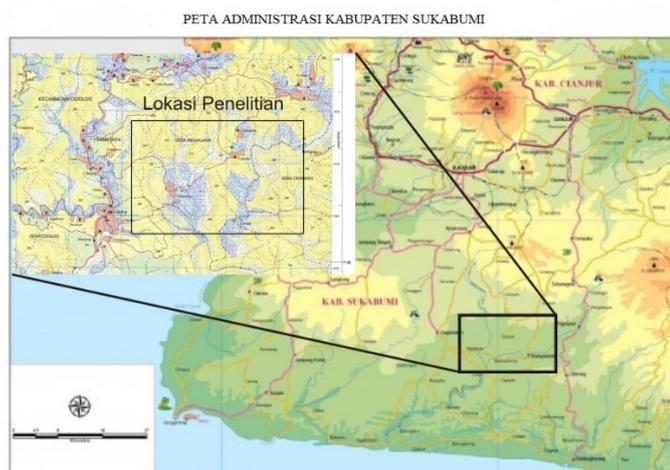
Mekar Jaya area dominant rock altered. Mineralization is found in rocks that have been altered and also present in the quartz veins. Induced polarization (IP) method is used to obtain subsurface information related mineralization, measuring of the induced polarization effect, information obtained is chargeability value. Results of processing and analysis chargeability value with correlation geological surface data, the conclusion can be made. Line Skb 3 response chargeability values range from ± 200 to ± 800 m.sec, these zones are indicated mineralized zones suspected galena mineralization and mineral associations. Line Skb 5 response chargeability values ± 150 m.sec, this line cross outcrops of quartz veins containing galena minerals, indicated there is a zone of galena mineralization and mineral associations were relatively weak. Based chargeability values, the geological model subsurface to indicated mineralized zones of galena and mineral associations which direction relative distribution Northwest-Southeast accordance with conditions of the research area.

Keywords : Induced Polarization (IP) and galena mineralization

PENDAHULUAN

Geologi Daerah Mekar Jaya tersusun oleh satuan Batupasir sisipan karbonatan, satuan batuan Piroklastik, lava andesit dan satuan batuan intrusi andesit dan diorit, yang sebagian besar telah mengalami alterasi (ubahan). Alterasi banyak terdapat pada batuan intrusi andesit dan diorit dan batuan piroklastik. Alterasi yang dominan dijumpai di permukaan adalah alterasi propilitik, alterasi argilik dan alterasi silisifikasi. Mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya banyak terdapat pada batuan yang telah teralterasi dan juga mengkristal pada urat-urat kuarsa yang mengikuti jalur rekahan batuan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zona penyebaran mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya di bawah permukaan dengan menggunakan metode induksi polarisasi (IP) di Daerah Mekar Jaya dan sekitarnya (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian di Desa Mekar Jaya, Kec Cidolog Sukabumi

Metode induksi polarisasi (IP) adalah salah satu metode dalam geofisika yang efektif untuk mengukur adanya anomali-anomali yang berkaitan dengan batuan yang mengandung dengan mineral logam. Prinsip kerja metode induksi polarisasi secara sederhana adalah dengan mengalirkan arus listrik ke dalam bumi melalui 2 buah elektroda arus, efek polarisasi yang timbul akibat adanya mineral logam dalam batuan kemudian diukur dengan 2 buah elektroda potensial. Informasi yang diperoleh

adalah nilai *Chargeability* (M), semakin besar nilai *chargeability* yang terukur, semakin banyak terjadi efek polarisasi dalam batuan, semakin banyak juga kandungan mineral logam dalam batuan tersebut (Telford, 1990). Berdasarkan hal tersebut informasi nilai *chargeability* yang terukur dapat digunakan untuk mengindikasikan adanya proses mineralisasi yang terjadi pada batuan di bawah permukaan. Efek induksi polarisasi terjadi hampir pada semua mineral logam seperti pada mineral sulfida.

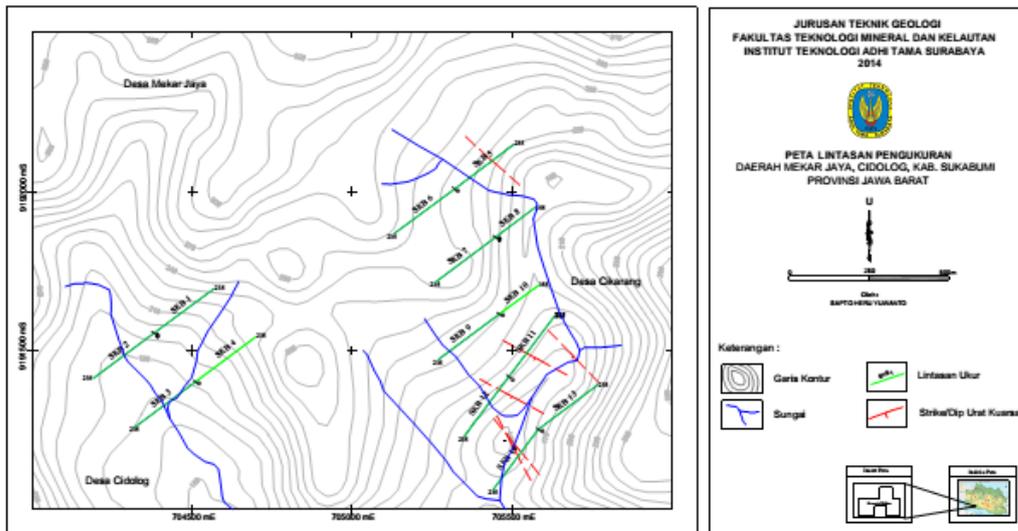
Besaran umum yang biasa digunakan dalam pengukuran induksi polarisasi (IP) efek polarisasi terhadap waktu (*Time Domain*) adalah *Chargeability* (M) yaitu kemampuan batuan menyimpan arus. Di jabarkan dalam persamaan sebagai berikut :

$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \dots\dots\dots(1)$$

Satuan dari *chargeability* adalah milidetik (*millisecond*) (m.sec).

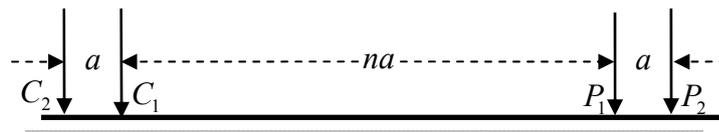
METODE PENELITIAN

Akuisi data lapangan menggunakan alat ARES (*Automatic Resistivity*) dengan 14 (empat belas) lintasan pengukuran. Panjang lintasan pengukuran masing-masing adalah 250 meter. Lintasan dibuat memotong arah kemenerusan urat-urat kuarsa yang diindikasikan mengandung mineral Galena (PbS) dan mineral ikutannya (Gambar 2). Konfigurasi elektroda menggunakan elektroda konfigurasi dipole-dipole dengan jarak spasi antar elektroda 5 meter, dengan alasan konfigurasi elektroda tersebut dapat bersifat *mapping* (lateral) dan *sounding* (vertikal) (Telford, 1990).



Gambar 2. Peta Lintasan Pengukuran

Pada Penyebaran mineral logam umumnya bersifat menyebar secara lateral (horizontal) dan secara vertikal, konfigurasi yang mampu secara baik memetakan anomali tersebut adalah konfigurasi dipole-dipole.



Gambar 3. Susunan Elektroda Konfigurasi Dipole-dipole

Pada konfigurasi elektroda dipole-dipole elektroda potensial (P_1P_2) berada diluar elektroda arus (C_1C_2). Jarak antara elektroda arus sama dengan jarak antara elektroda potensial ($C_1 - C_2 = P_1 - P_2 = a$) dan kedua pasang elektroda arus dan potensial dipisahkan sejauh kelipatan

spasi kedua elektroda tersebut ($C_1C_2 - P_1P_2 = na$) dengan nilai $n = 1,2,3,4,\dots$ dan a adalah spasi elektroda (Gambar 3).

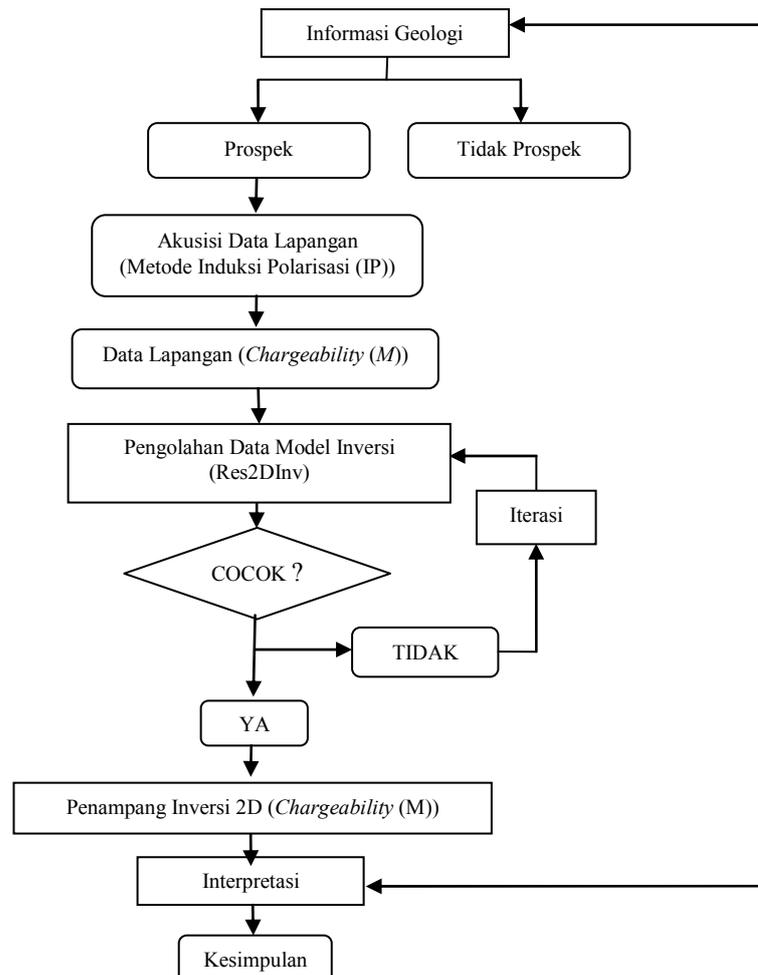
Pengolahan data hasil pengukuran di lapangan dilakukan dengan pemodelan inversi dengan menggunakan *software* Res2DInv. Model inversi mencoba untuk menentukan sebuah model bawah permukaan secara iterasi, dimana respon model tersebut diharapkan mendekati sifat fisika yang terukur di lapangan. Model inversi adalah proses mendapatkan selisih antara nilai *chargeability* terhitung dengan nilai *chargeability* di lapangan seminimal mungkin. Apabila selisih yang didapatkan masih besar maka model awal diubah dan semua langkah dilakukan kembali (diulang/iterasi), hingga diperoleh selisih seminimal mungkin. Prinsip optimalisasi dilakukan untuk mencapai beda terkecil (*least square*) antara respon model terhitung dengan hasil pengukuran melalui pencocokan nilai *chargeability* untuk setiap model. Hasil penampang model inversi tersebut dikorelasikan dengan data geologi permukaan daerah penelitian dengan referensi terkait nilai *chargeability* batuan (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai *chargeability* (ms) batuan yang mengandung *sulfide* (Telford, 1990)

Sulfida pada Batuan	<i>Chargeability</i> (ms)
20 % Sulfida	2.000 – 3.000
8 – 20 % Sulfida	1.000 – 2.000
2 – 8 Sulfida	500 – 1.000
< 2 % Sulfida	0 – 500

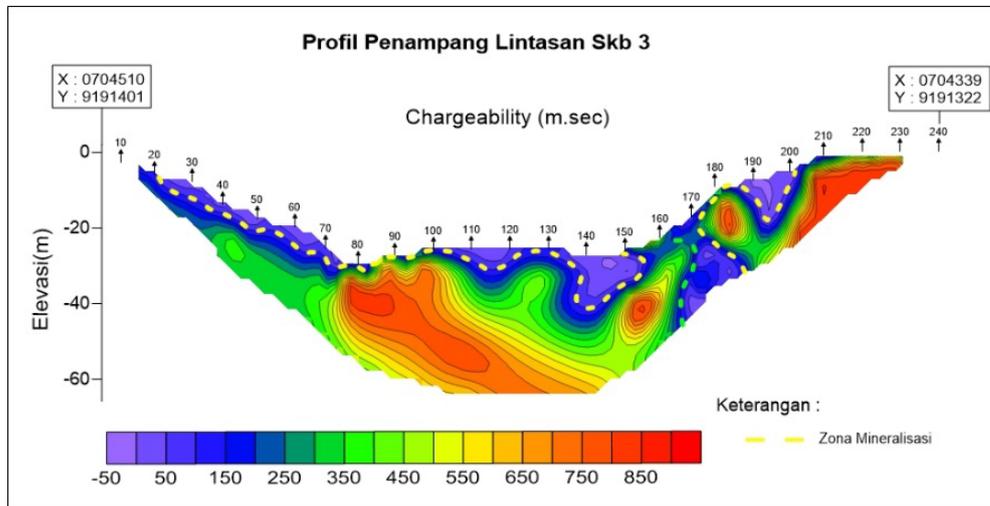
Berikut adalah diagram alir penelitian ini:

Gambar 4. Diagram Alir Penelitian



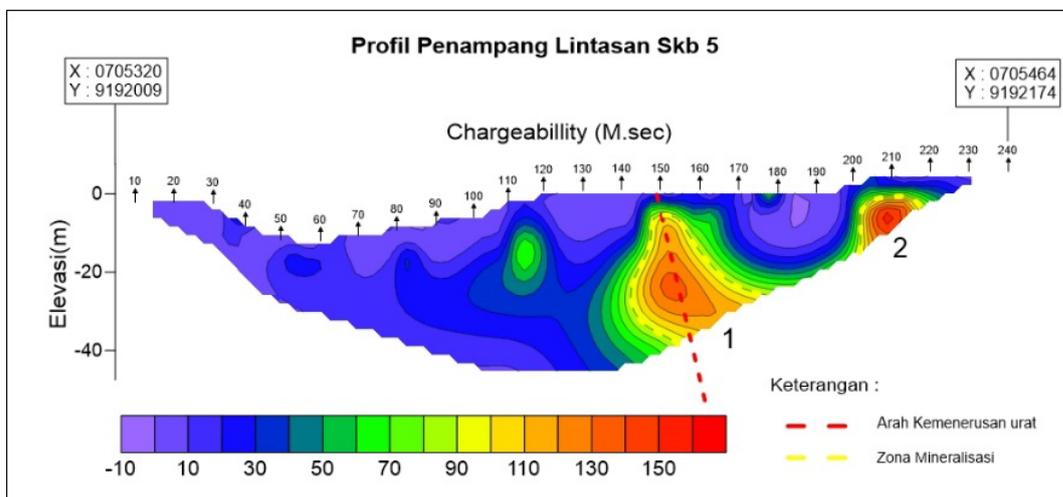
PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data pengukuran diinterpretasikan tiap-tiap penampang *chargeability*, seperti Gambar 3 dan 5 sebagai perwakilan interpretasinya, dan kemudian diinterpretasikan secara terpadu pada semua penampang *chargeability* dengan korelasi data geologi permukaan daerah penelitian dan referensi nilai *chargeability* (Tabel 1).



Gambar 5. Profil Penampang *Chargeability* Skb 3

Analisa penampang lintasan Skb 3 terdapat dua zona mineralisasi, pertama pada meter ke 20 hingga 160 dengan nilai *chargeability* berkisar antara ± 200 hingga ± 650 m.sec dan kedua pada meter ke 180 hingga 230 dengan nilai *chargeability* berkisar antara 150 hingga 500 m.sec, Zona ini (garis titik-titik warna kuning pada gambar 5) diinterpretasikan sebagai zona mineralisasi cukup kuat, diindikasikan di bawah permukaan banyak terjadi mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya.

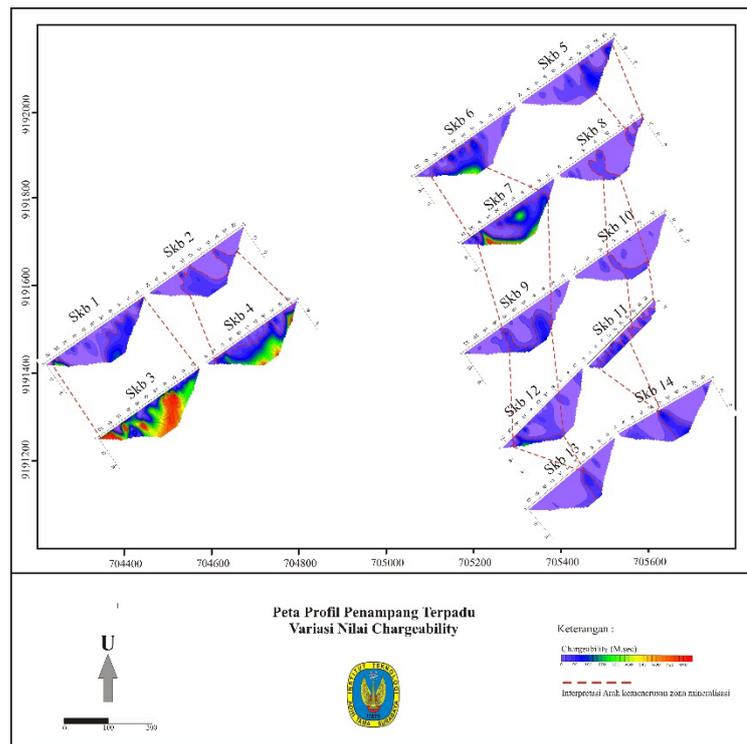


Gambar 6. Profil Penampang *Chargeability* Skb 5

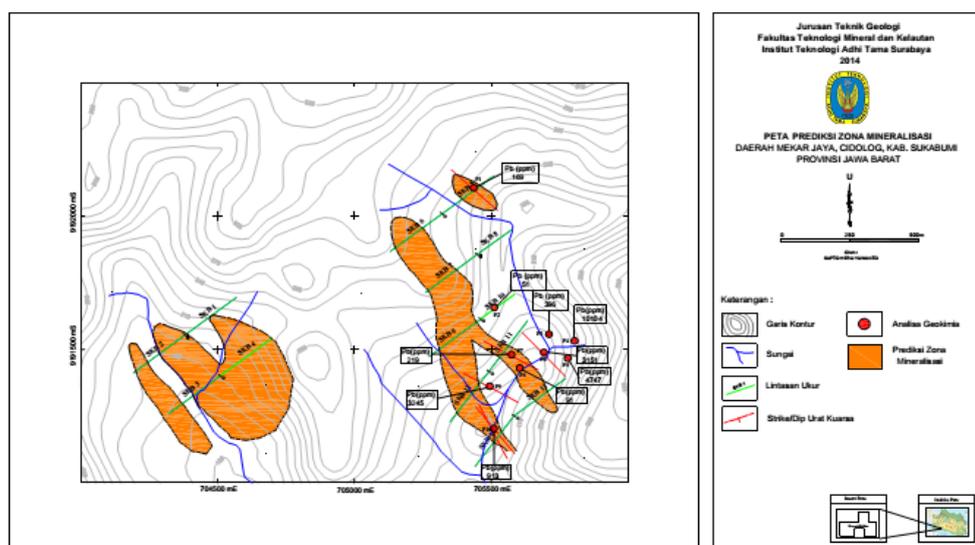
Analisa penampang lintasan Skb 5 terdapat zona mineralisasi, pertama pada meter ke 140 hingga 170 dan pada meter ke 200 hingga 220 dengan nilai *chargeability* berkisar ± 100 m.sec. Arah lintasan ini memotong urat kuarsa pada meter ke 150, berdasarkan analisis geokimia sampel batuan pada urat kuarsa tersebut mengandung mineral Galena (PbS) sebesar 169 ppm. Berdasarkan hal tersebut zona ini (garis titik-titik warna kuning pada gambar 6) diinterpretasikan terdapat zona mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya pada bawah permukaannya.

Interpretasi terpadu dilakukan dengan cara menyatukan semua penampang-penampang nilai *chargeability* dalam satu peta (Gambar 7) untuk kemudian dikorelasikan dengan data geologi

permukaan daerah penelitian dengan referensi nilai *chargeability* (Tabel 1). Pada beberapa lintasan ukur terdapat lintasan yang memotong arah singkapan urat kuarsa yang terdapat mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya, seperti pada lintasan Skb 5 yang berdasarkan analisis geokimia mengandung mineral Galena 169 ppm respon nilai *chargeability* ± 100 m.sec. Pada lintasan Skb 11 sebesar 219 ppm respon nilai *chargeability* ± 130 m.sec, lintasan Skb 12 sebesar 3245 ppm respon nilai *chargeability* ± 250 m.sec dan lintasan Skb 14 sebesar 913 ppm respon nilai *chargeability* ± 100 m.sec. Berdasarkan hal tersebut sehingga dapat dibuat zona indikasi mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya di bawah permukaan yang berdasarkan pada respon nilai *chargeability* yang terukur pada daerah penelitian (Gambar 8). Zona mineralisasi secara lateral relatif berarah Barat Laut – Tenggara, ini sesuai dengan arah kekar yang terisi urat kuarsa yang terdapat mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya.



Gambar 7. Peta Profil Penampang Terpadu Nilai Chargeability



Gambar 8. Peta Prediksi Zona Mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan metode induksi polarisasi (IP) untuk mendeteksi mineral logam, khususnya mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya pada daerah penelitian memberikan respon yang positif, dengan nilai *chargeability* berkisar antara 50 hingga 800 m.sec.
2. Berdasarkan nilai *chargeability*, zona penyebaran mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya bawah permukaan secara lateral relatif berarah Barat Laut – Tenggara ini sesuai dengan arah singkapan urat-urat kuarsa yang terdapat mineral-mineral Galena (PbS).
3. Pendekatan model mineralisasi Galena (PbS) dan mineral ikutannya bawah permukaan berdasarkan pada nilai *chargeability*, diperoleh model yang sesuai dengan kondisi geologi daerah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Irvine, R.J. and Smith M.J., 1990. Geophysical exploration for epithermal gold deposits, *Journal of Geochemical Exploration*, 36 (1990) 375-412
- Loke, M.H., 2004. Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys. www.goelectrical.com
- Lowrie, William. 2007. *Fundamentals of Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press.
- Telford, W. M. & Geldart, L. P. & Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press

ANALISIS PENGARUH METODE PENCUCIAN BIJIH BAUKSIT DAN PENGENDAPAN BAUKSIT TERHADAP KANDUNGAN SILIKA REAKTIF DI KABUPATEN LANDAK, KALIMANTAN BARAT

Ichsan Marta¹, Syafrizal², Irwan Iskandar²

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

^{2,3} Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumberdaya Bumi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

e-mail :¹ichsanmarta@gmail.com, ²syafrizal@mining.itb.ac.id, ³irwan@mining.itb.ac.id,

ABSTRACT

In the bauxite exploration, there are two main parameters that determine the quality of bauxite ore, which are Available Alumina (AA) and Reactive Silica (R-SiO₂). AA is the amount of alumina (Al₂O₃) which can be extracted from the ore, while the R-SiO₂ is silica-sized clay minerals present in the bauxite ore. The higher is the level of Al₂O₃, and the lower is level of R-SiO₂, the better is the quality of bauxite ore. Bauxite exploration activities conducted by PT Antam Tbk on Landak area, West Kalimantan showed bauxite ore containing R-SiO₂ anomalies. Therefore, we need a washing method that is effective for reducing content of the R-SiO₂ while still producing high level of Al₂O₃. This study uses five different washing methods. Analysis of R-SiO₂ and Al₂O₃ contents has done by comparing the results of the chemical analysis of all sample types generated from each washing method. Analysis of the topography of bauxite deposition modeling is using R-SiO₂ anomalous areas based on geological data obtained from Unit Geomin PT Antam Tbk. This study gives conclusions that R-SiO₂ anomalous block model shows R-SiO₂ minerals formed without affected by topographic control, and it does not show certain ore dissemination, so dissemination of R-SiO₂ anomalous block model would adjust to ore dissemination. According to R-SiO₂ and Al₂O₃ contents as research results, the washing method that has rewashed phase (IV) is the most optimal washing method with the result of 3.40% R-SiO₂ and 43.01% Al₂O₃ ore contents. Otherwise, according to CF percentage, the initial washing method (I) is the washing method with highest CF percentage (49.35%). Therefore, washing method IV is the most efficient method for reducing R-SiO₂ content. However, with 34.15% CF percentage, washing method IV could not obtain ore as much as washing method I.

Keywords : bauxite washing, R-SiO₂ anomalies, bauxite exploration

PENDAHULUAN

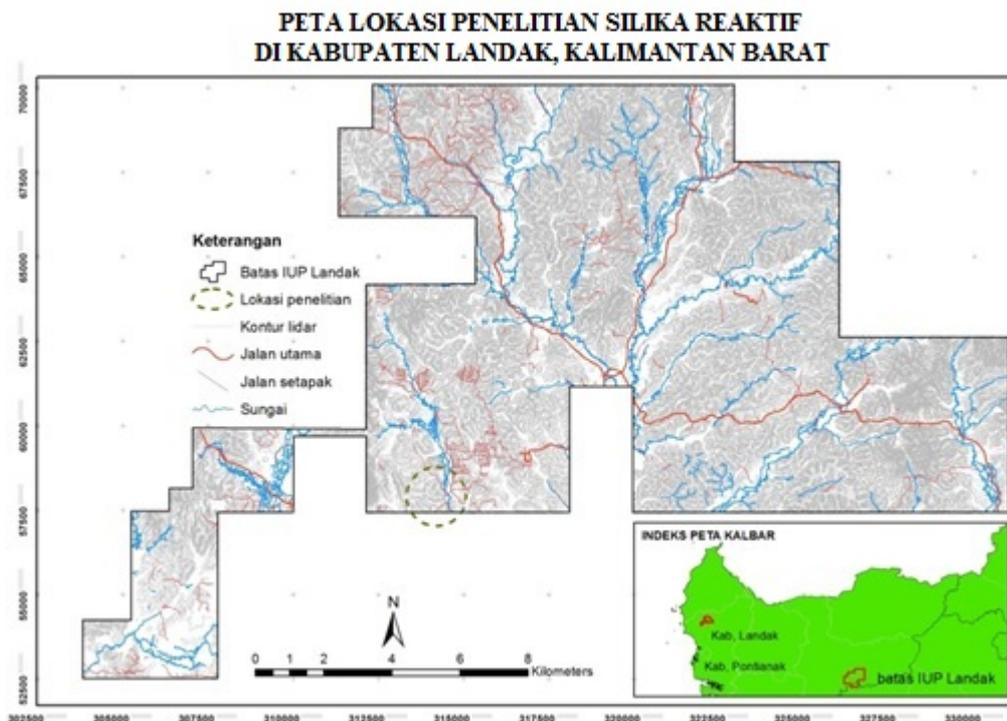
Kegiatan eksplorasi bauksit di Kabupaten Landak, Kalimantan Barat oleh Unit Geomin (UG) PT Antam Tbk telah dilakukan sampai tahap eksplorasi rinci. Kendala utama yang dialami adalah adanya kandungan R-SiO₂ anomali ($\geq 4\%$) dalam bauksit di daerah ini yang relatif tinggi. Dampaknya adalah besarnya biaya konsumsi soda kaustik sehingga dalam jangka panjang akan mempengaruhi nilai ekonomi dalam pengolahan bijih bauksit tersebut.

Pencucian bauksit dilakukan untuk mengurangi pengotor yang ada pada bijih bauksit mentah (*raw ore*), termasuk pengotor berupa R-SiO₂. Bijih bauksit yang telah dicuci (*washed ore*) akan diketahui berat bersihnya. Informasi ini digunakan untuk menentukan Faktor Konkresi (CF), yaitu nilai persen berat bauksit bersih terhadap pengotornya. Nilai CF ditentukan dari metode pencucian yang paling efisien dalam mengurangi kandungan R-SiO₂ (<4%) dan menghasilkan kadar Al₂O₃ yang tinggi (>40%). Oleh karena itu, diperlukan suatu metode pencucian bauksit mentah dari hasil *test-pit* untuk dapat menghasilkan kandungan R-SiO₂ minimum pada *washed ore*. Salah satunya dengan melakukan penelitian terhadap anomali R-SiO₂. Penelitian ini didasari hipotesis bahwa pencucian bauksit dapat mengurangi material halus pada bijih. Apabila dihubungkan dengan definisi R-SiO₂, maka pencucian ulang (*rewashed*) conto bauksit diharapkan dapat mengurangi R-SiO₂ pada bijih.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan area anomali R-SiO₂ pada lapisan bijih tertentu dari titik *test-pit* berdasarkan metode pencucian tertentu, serta menentukan metode pencucian paling optimal dan efisien dalam mengurangi kandungan R-SiO₂ pada *washed ore* untuk digunakan sebagai acuan metode pencucian.

Penelitian R-SiO₂ ini dilakukan di area IUP Eksplorasi PT Antam Tbk di Kabupaten Landak, Kalimantan Barat (Gambar 1). Area penelitian mencakup lokasi titik *test-pit* dan tempat pencucian bauksit. Conto bauksit untuk penelitian ini tidak berasal dari setiap titik *test-pit* yang dilakukan di daerah tersebut. Conto bauksit yang sampai di tempat pencucian dan digunakan sebagai sumber conto penelitian cenderung acak sehingga lokasi titik *test-pit* asal relatif tersebar.

Morfologi regional daerah Landak berupa perbukitan bergelombang dan dataran banjir dari sungai-sungai besar, termasuk stadium dewasa, yang dicirikan dengan sungai berbentuk huruf “U” dan ber-meander dengan tingkat erosi yang telah melemah.

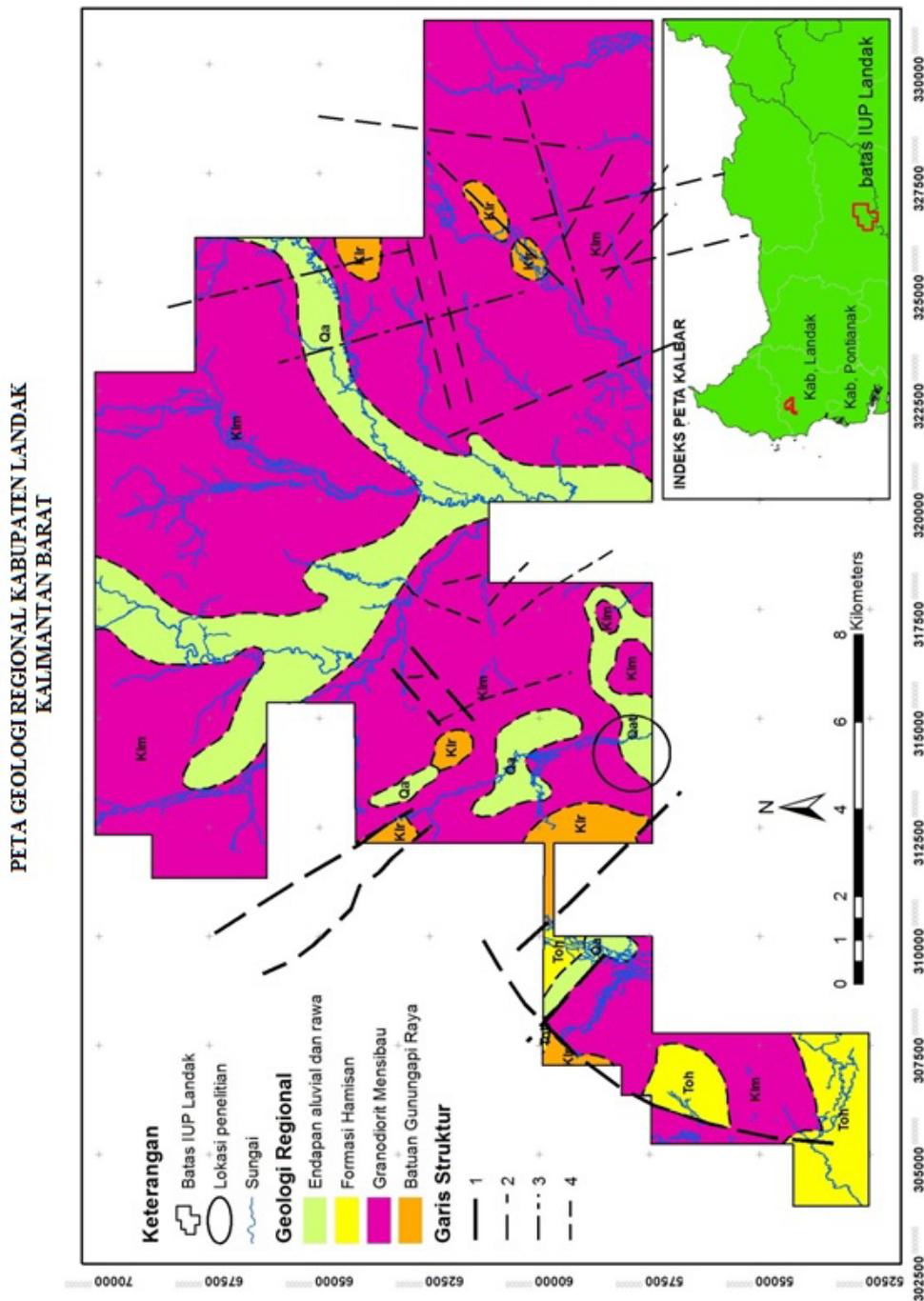


Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Sumber: UG PT Antam Tbk)

Pada Gambar 2, garis struktur dengan simbol angka (1 – 4) merupakan kelurusan yang mengindikasikan dugaan adanya struktur. Angka 1 berarti terdapat tanda kelurusan yang menonjol, seperti punggung besar. Semakin besar angka, semakin berkurang signifikansi kelurusan yang terlihat. Daerah penelitian termasuk pada paparan daerah yang stabil sehingga struktur tidak berkembang di daerah ini.

Stratigrafi batuan daerah penelitian tersusun dari endapan aluvial, endapan terobosan sintang, formasi Hamisan, granodiorit Mensibau, dan batuan Gunung Api. Raya. Aluvial yang terdiri dari lumpur, pasir, kerikil, dan bahan tumbuhan merupakan bagian rombakan dari batuan yang lebih tua dan tersebar di lembah Sungai Mempawah. Batuan terobosan Sintang (Toms) terdiri dari diorit, diorit kuarsa, granodiorit, tonalit, gabro kuarsa dan dasit, yang berupa stok, sumbal, retas, dan retas lempeng. Umumnya endapan ini membawa mineral emas, kalkopirit, dan molibdenit. Formasi Hamisan yang terdiri dari arenit kuarsa, setempat konglomerat, perlapisan silang siur, mangkok dan sejajar, merupakan endapan fluviatil. Granodiorit Mensibau merupakan batuan terobosan yang tersusun oleh batuan granodiorit, granodiorit hornblend-biotit, adamelit, monzogranit, syenogranit, tonalit, diorit kuarsa, monzonit kuarsa, dan aplit. Batuan ini memiliki kemagnetan sedang sampai kuat. Batuan ini diperkirakan menjadi sumber terbentuknya tanah laterit. Batuan Gunung Api Raya terdiri dari batuan beku luar yaitu andesit, dasit, dan basalt (Gambar 3)

Laterit merupakan suatu batuan oksida besi (ferruginous) yang umumnya ditemukan di daerah tropis dan memiliki asosiasi genetik yang dekat dengan bauksit. Endapan ini merupakan material yang sangat lapuk, kaya oksida besi sekunder, aluminium atau keduanya. Material pengotor yang paling umum pada laterit adalah silika. Lateritisasi pada bauksit berangsur-angsur menurunkan kadar oksida besi dan meningkatkan kadar oksida aluminium.



Gambar 2. Peta Geologi Regional Kabupaten Landak (Sumber UG PT Antam, Tbk)

Bauksit terkarakterisasi oleh suatu kombinasi pengkayaan dari Al, Fe dan Ti, diimbangi oleh suatu deplesi unsur K, Na, Ca, Mg, dan Si. Bauksit kadar tinggi umumnya mengandung 40-60% Al_2O_3 , 10-25% Fe_2O_3 dan 2-5% TiO_2 . Dari 10 mineral yang terdapat dalam bentuk batuan pada bauksit, hanya 3 mineral yang sering ditemukan, yaitu gipsit, boehmit, dan diaspora. Gipsit merupakan mineral alumina utama dari bauksit laterit. Dalam bauksit Karst, gipsit, boehmit dan diaspor relatif mirip kelimpahannya. Endapan Quarter dan Tersier umumnya berupa gipsitik, boehmit pada Mesozoik, dan diasporik pada Paleozoik. Sebesar 85% tonase bauksit dunia berbentuk endapan laterit, 14% Karst dan hanya 1% bertipe Tichwin.

Mineral lempung terbentuk dari pelapukan berbagai mineral. Pelapukan ini memiliki dua proses utama, yaitu alterasi fisik dan kimia dari mineral primer tertentu, dan rekristalisasi, yaitu dekomposisi mineral primer yang dilanjutkan dengan rekristalisasi menjadi silika lempung. Jenis mineral lempung biasanya ditentukan oleh jenis mineral terlapukkan dan keasaman air lindi.

UMUR		FORMASI			LITOLOGI
Zaman	Kala	Endapan	Sedimen	Batuan beku	
Kuarter		Qa			Qa : Endapan aluvium
Tersier	Pliosen			tidak selaras	
	Miosen				
	Oligosen		Toh		Toh : Formasi Hamisan
	Eosen			tidak selaras	
	Paleosen				
Kapur				Klr Klm	Klm : Granodiorit Mensibau Klr : Batuan Gunungapi Raya

Gambar 3. Kolom Stratigrafi Kalimantan Barat

METODE PENELITIAN

Penyusunan metode pencucian bijih bauksit dilengkapi dengan spesifikasi contoh yang dapat dipakai dalam penelitian (Gambar 4). Pencucian bauksit ini memiliki lima jenis hasil yang berbeda, yaitu contoh I – V. Setiap jenis contoh ini memiliki perbedaan pada metode pencucian yang ditunjukkan oleh Tabel 1. Secara umum, kegiatan pencucian dilakukan dengan mekanisme langsung. Perbedaan perlakuan tiap contoh ditunjukkan oleh Tabel 2. Kolom *single fraction* menunjukkan metode pencucian tersebut hanya berasal dari salah satu fraksi, kolom homogenisasi menunjukkan ada tidaknya tahapan ini dalam metode pencucian, dan begitu pula dengan kolom *rewashed*. Penjelasan setiap kegiatan dalam bagan alir pencucian bauksit ditunjukkan oleh Gambar 5.

Alur kegiatan analisis kimia di laboratorium secara umum adalah preparasi contoh, pembentukan R-SiO₂, dan pembuatan lempeng analisis XRF. Preparasi contoh merupakan tahap awal dimana contoh didata ulang. Nomor contoh harus disesuaikan dengan data dan berat contoh harus dicek kembali. Umumnya akan terjadi perubahan berat contoh akibat menguapnya air dalam plastik contoh.

Metode pengolahan data disesuaikan dengan tujuan dari penelitian ini. Adapun sistematika pengolahan datanya adalah sebagai berikut:

1. Membuat bagan alir penelitian yang telah disesuaikan dengan kondisi lapangan.
2. Memasukkan data lapangan ke bentuk tabulasi. Komponen-komponen yang dicatat adalah tinggi *washed box*, berat *washed ore* sebelum dan setelah dipisah menjadi contoh I – V dalam bentuk *database*. Data-data lain seperti kode *grid*, kode titik *test-pit*, berat *crude ore*, dan sebagainya diambil dari data Tim Eksplorasi UG mengingat contoh yang dipakai berasal dari contoh mereka.
3. Menyatukan data-data yang terkumpul serta melengkapi dengan data *moisture content* (MC) yang dihitung dari rumus:

$$MC = \left(\frac{\text{berat asal} - \text{berat kering}}{\text{berat asal}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Berat asal adalah berat contoh yang masuk ke laboratorium sebelum di analisis kimia.

4. Setelah contoh penelitian selesai dianalisis kimia dengan XRF, didapat data-data berupa %T-SiO₂, %Al₂O₃, %Fe₂O₃, %TiO₂, dan %R-SiO₂ dalam %berat.
5. Membuat block model area R-SiO₂ anomali pada lapisan bijih tertentu dari titik *test-pit* dengan menggunakan piranti *Datamine Studio 3*. Pengolahan ini akan menghasilkan peta kontur sebaran R-SiO₂ per horison lapisan bijih dari setiap jenis contoh terhadap topografi lokal. Hal ini bertujuan untuk mencari hubungan antara anomali R-SiO₂ dengan morfologi endapan bauksit.
6. Membuat kurva perbandingan metode pencucian terhadap kandungan R-SiO₂, kadar Al₂O₃, dan nilai CF dalam tabulasi. Komponen yang dibandingkan adalah %Al₂O₃ dan %R-SiO₂, serta selisih

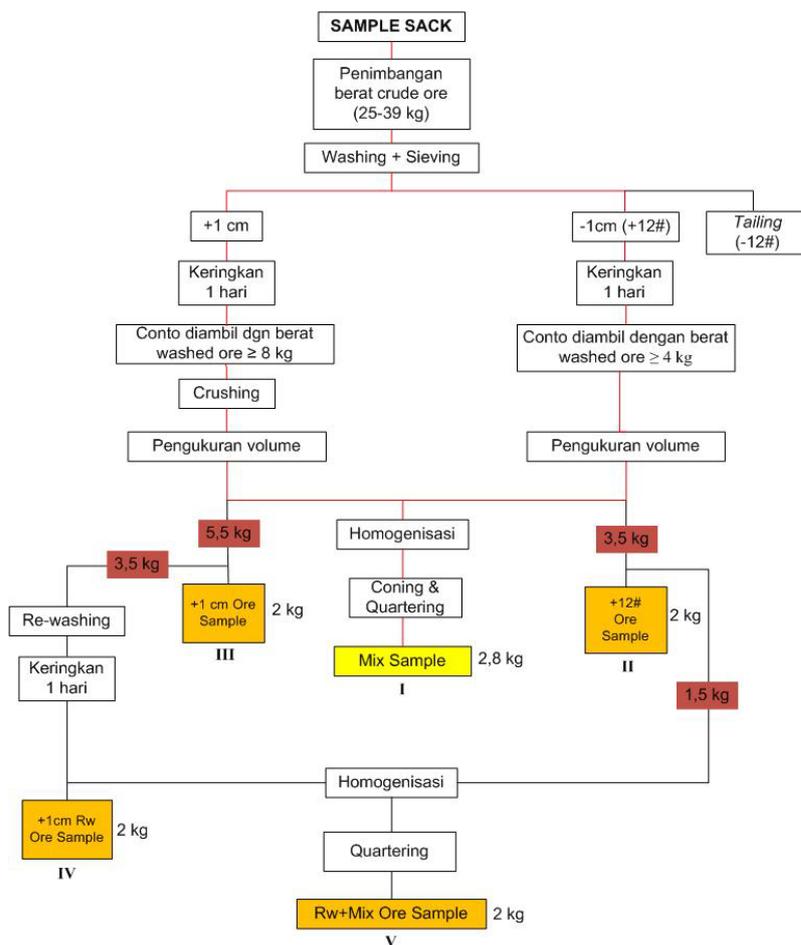
%Al₂O₃ dan %R-SiO₂ dari dua jenis conto yang dibandingkan. Secara umum, conto I akan dibandingkan dengan conto II – V. Conto dengan %Al₂O₃ >40%, %R-SiO₂ <4%, dan nilai CF yang lebih besar dari jenis conto pembandingan menjadi kriteria conto yang baik.

- Menentukan nilai CF dari jenis conto terpilih dari perbandingan sebelumnya. Persamaan dasar CF adalah sebagai berikut:

$$CF = \left(\frac{\text{berat washed ore}}{\text{berat raw ore}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Nilai CF dapat menggambarkan besar *recovery* conto terhadap *crude ore*.

- Pembuatan kurva perbandingan antara kandungan T-SiO₂ dengan R-SiO₂ untuk melihat komposisi pembentukan R-SiO₂ dalam satu area laterisasi yang sama.
- Setelah membandingkan setiap jenis conto, hasil perbandingan tersebut disimpulkan lalu ditentukan metode pencucian yang paling efektif untuk mengurangi kandungan R-SiO₂.



Gambar 4. Bagan Alir Pencucian Bauksit

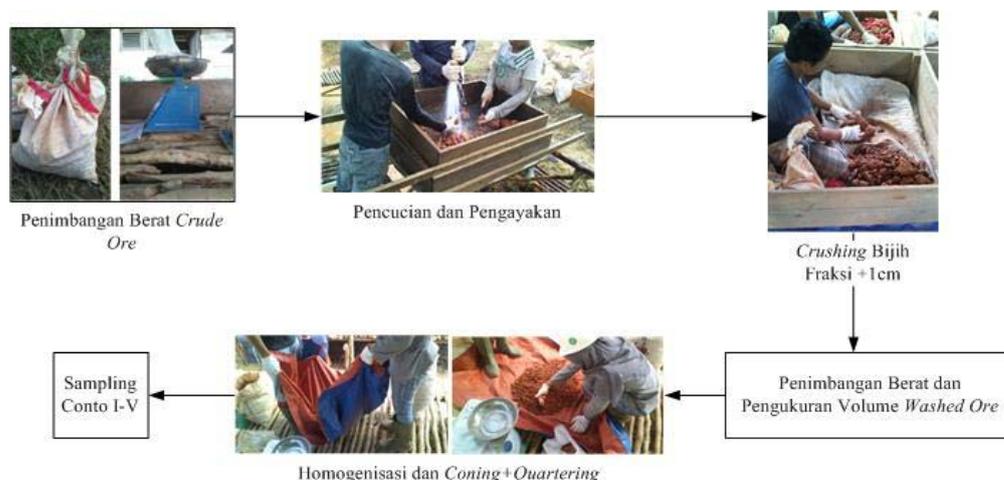
Tabel 1. Tabel Alur Pencucian Tiap Conto

Jenis Conto	Metode Pencucian	Keterangan
I	Crude – washing & sieving – homogenisasi +1cm & +12#	Conto tim eksplorasi
II	Crude – washing & sieving – sampling +12#	-
III	Crude – washing & sieving – sampling +1cm	-
IV	Crude – washing & sieving – sampling re-washed +1cm	-
V	Crude – washing & sieving – homogenisasi conto	-

rewashed +1cm & conto +12#

Tabel 2. Hubungan Jenis Conto Dengan Perlakuannya

Jenis conto	Single fraction	Homogenisasi	Rewashed	Keterangan
I	x	√	x	Homogenisasi +1cm & +12#
II	√	x	x	Fraksi +12#
III	√	x	x	Fraksi +1cm
IV	√	x	√	Fraksi rewashed +1cm
V	x	√	x	Homogenisasi <i>rewashed</i> +1cm & fraksi +12#



Gambar 5. Skema Pencucian Bauksit

PEMBAHASAN

Pembahasan akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu pemodelan area anomali R-SiO₂ terhadap titik *test-pit* dan pembuatan kurva perbandingan metode pencucian terhadap kandungan R-SiO₂, kadar Al₂O₃, dan nilai CF. Pemodelan area anomali difokuskan pada jenis conto II dan III. Alasannya karena kedua jenis conto ini paling dekat dengan kondisi genesanya. Hal ini disebabkan kedua jenis conto diberi perlakuan paling sedikit dari jenis conto lain.

Untuk membuat titik-titik *test-pit*, diperlukan data *assay*, *collar*, dan *survey*. Data *assay* berisi kedalaman setiap lapisan lubang bor serta data kandungan R-SiO₂ anomali dalam %berat. Data *collar* berisi titik *test-pit* dalam koordinat XYZ, sedangkan data *survey* memberikan keterangan mengenai kemiringan pada kedalaman bor (AT), *dip direction* (BRG), dan *dip drillhole* (DIP). Titik *test-pit* diasumsikan sebagai *drill hole* vertikal (AT=0) dengan kedalaman tertentu dan memiliki satu atau beberapa lapisan bijih.

Spasi barat-timur dan utara-selatan antara dua titik *test-pit* terdekat sebesar 50 m. Gambar tersebut memperlihatkan pola sebaran titik *test-pit* yang tidak teratur. Kondisi ini berdampak pada nilai pencilan kandungan R-SiO₂ anomali. Nilai pencilan tersebut mempengaruhi sensitifitas pembuatan *string*.

Persebaran titik *test-pit* yang cenderung acak dan tidak membentuk pola teratur mengakibatkan interpretasi hubungan anomali R-SiO₂ terhadap morfologi area pengendapan bauksit menjadi sulit. Titik-titik *test-pit* bagian kanan peta cenderung lebih memiliki pola teratur walau hanya berjumlah 21 titik. Oleh sebab itu, interpretasi akan difokuskan pada area tersebut dimana hampir seluruh titik *test-pit* berada di atas tanah aluvial. Gambar 6 menunjukkan sebaran R-SiO₂ anomali tidak merata pada area bukit dan lembah. *Block model* R-SiO₂ anomali berada di atas *block model* R-SiO₂ normal.

Gambar 7 menunjukkan *block model* R-SiO₂ anomali terkonsentrasi di area bukit dengan posisi di atas *block model* R-SiO₂ normal. Hal ini berbeda dengan yang diperlihatkan oleh *block model* jenis conto II.

Block model dari setiap jenis conto menunjukkan lapisan bijih dengan kandungan R-SiO₂ terbentuk di daerah bukit dengan ketinggian >45 m dan berada di lapisan bijih dengan rata-rata kedalaman 5 – 7 m dari permukaan tanah. Lapisan bijih tersebut membentuk morfologi yang mirip dengan lapisan tanah aluvial di atasnya.

Endapan aluvial di area titik *test-pit* merupakan hasil pengendapan material rombakan batuan granodiorit yang diduga terbawa oleh Sungai Mempawah yang mengalir dari utara ke selatan. Lapisan bijih di area ini merupakan hasil laterisasi batuan granodiorit yang berada di bawah endapan aluvial.

Mineral SiO₂ pada lapisan bijih merupakan hasil laterisasi dari mineral aluminosilikat pada batuan granodiorit. *Block model* RSiO₂ anomali menunjukkan mineral RSiO₂ yang terbentuk tidak terkontrol oleh laterisasi granodiorit sehingga *block model* RSiO₂ anomali mengikuti persebaran bijih bauksit.

Kedua model R-SiO₂ anomali terbentuk di atas horison bijih dengan R-SiO₂ normal, yaitu di kedalaman 1,5 – 2 m dari permukaan lapisan bijih. Hal ini diduga karena pengendapan R-SiO₂ banyak terjadi pada area tersebut. Segmentasi R-SiO₂ pada lapisan bijih terjadi akibat dari perbedaan mobilitas material sehingga material yang lebih halus akan banyak terendapkan di bagian atas lapisan bijih.

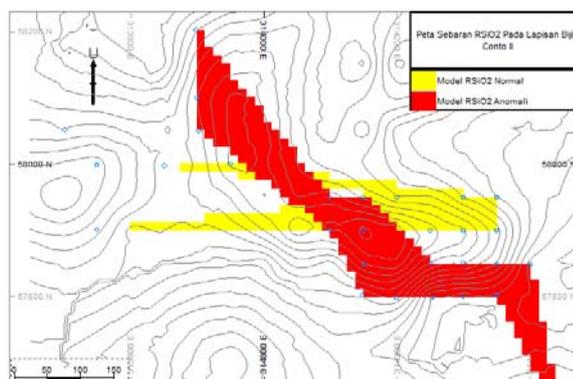
Metode pencucian I menjadi acuan untuk dibandingkan dengan metode pencucian lain. Jenis conto yang menjadi pasangan perbandingan adalah I dengan V, dan III dengan IV. Hal ini disebabkan karena:

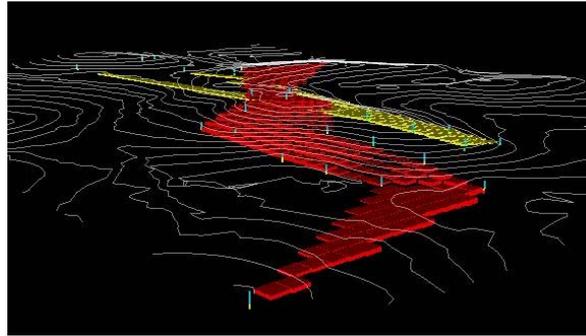
1. Metode pencucian I dan V merupakan conto yang memiliki tahapan homogenisasi dari kedua fraksi sehingga dapat diketahui efisiensi dalam mengurangi kandungan R-SiO₂ dari kedua homogenisasi tersebut.
2. Metode pencucian III dan IV berasal dari fraksi yang sama (+1cm), namun dengan perlakuan berbeda. Metode pencucian IV memiliki tahapan rewashed dari conto III sehingga dapat langsung diketahui pengaruh rewashed terhadap kandungan R-SiO₂.
3. Metode pencucian II diperlakukan sebagai pembanding umum. Alasannya adalah fraksi conto ini sangat halus sehingga dapat terjadi *losses* yang berdampak pada kecilnya *recovery*. Ukuran material yang halus juga bisa menjadi indikasi besarnya kandungan R-SiO₂ pada jenis conto ini.

Jumlah conto I dan V yang dianalisis berbeda karena data conto V yang tersedia tidak sejumlah data conto I. Conto V hanya berjumlah 29 conto sehingga kedua conto akan dibandingkan dengan penyesuaian. Conto I yang dianalisis harus yang memiliki pasangan conto V pada horison bijih yang sama. Penyesuaian jumlah kedua conto dimaksudkan untuk meminimumkan *error* pada kurva perbandingan conto.

Perbandingan menunjukkan jenis conto I memiliki kandungan R-SiO₂ lebih rendah dari jenis conto V. Namun, jenis conto V cukup sulit untuk dibuat serta jumlahnya lebih sedikit dari conto I. Oleh karena itu, metode pencucian I lebih efisien dari metode pencucian V dalam mengurangi kandungan R-SiO₂.

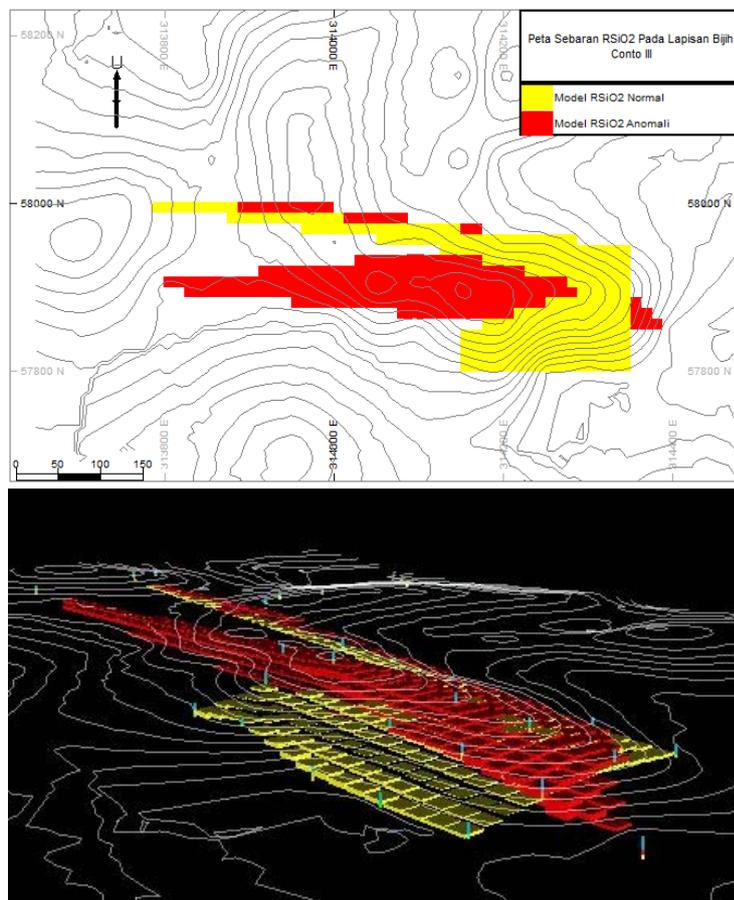
Perbandingan juga menunjukkan bahwa jenis conto IV mengandung %Al₂O₃ lebih besar dan %R-SiO₂ lebih kecil. Oleh karena itu, metode pencucian IV menjadi metode pencucian yang lebih efisien dalam mengurangi kandungan R-SiO₂.





Gambar 6. Visualisasi *Block Model* R-SiO₂ Anomali dengan *Assay* Jenis Conto II

Jenis Conto I dan IV dari perbandingan sebelumnya akan dianalisis dengan jenis conto II. Analisis akan difokuskan pada perbandingan kandungan R-SiO₂ dan nilai CF yang dihasilkan oleh ketiga metode pencucian. Hasilnya, metode pencucian IV menjadi metode pencucian paling efisien dalam mengurangi kandungan R-SiO₂.



Gambar 7. Visualisasi *Block Model* R-SiO₂ Anomali dengan *Assay* Jenis Conto III

Nilai CF I dihitung berdasarkan rata-rata jumlah berat washed ore fraksi +1cm dan +12# dibagi dengan berat *crude ore*, sedangkan nilai CF II dan IV merupakan hasil optimasi dari perbandingan terhadap berat *washed ore* fraksi asal dan berat *crude ore*. Perhitungan CF I, II, dan IV berturut-turut menghasilkan nilai 49,35%, 18,95%, dan 34,15%. Berdasarkan perolehan ini, metode pencucian I dan IV memiliki nilai CF yang cukup dalam pengolahan bijih.

Perbandingan kandungan T-SiO₂ dan R-SiO₂ bertujuan untuk mengetahui komposisi pembentukan R-SiO₂ terhadap T-SiO₂ yang terjadi dalam satu zona laterit serta hubungan pembentukan kedua mineral. Perbandingan akan dipaparkan dengan kurva perbandingan %T-SiO₂ dan

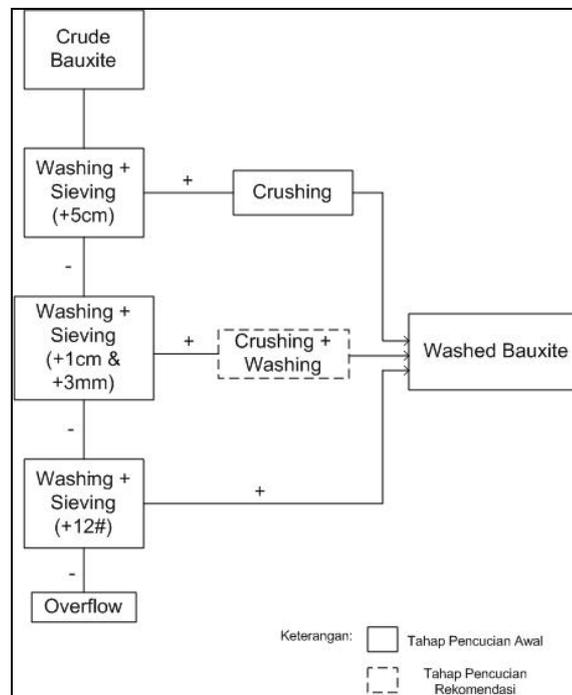
%R-SiO₂ dalam %berat dari berat conto. Perbandingan kedua variabel akan difokuskan pada jenis conto II dan III karena kedua jenis conto ini paling dekat dengan kondisi asli genesanya dari jenis conto lain. Hasil perbandingan menunjukkan tidak terlihatnya hubungan komposisi terhadap proses pembentukan kedua mineral.

Hasil analisis dapat disesuaikan dengan alur pencucian bauksit di pabrik pengolahan bijih. Alur pencucian bijih bauksit PT Antam Tbk di Kabupaten Landak, Kalimantan Barat ditunjukkan oleh Gambar 8. Penambahan tahap crushing dan washing pada hasil ayakan +1cm dan +3mm bertujuan untuk menghilangkan mineral R-SiO₂ di dalam bijih bauksit. Tahapan ini merupakan penyesuaian dari metode pencucian IV dengan tidak mengubah alur pencucian bauksit awal.

Berdasarkan hasil optimasi antara CF yang berasal dari ayakan +1cm/+3mm dan +12#, kandungan R-SiO₂ yang berpotensi dihasilkan dari alur pencucian pada skema di atas dihitung berdasarkan bobot campuran kedua fraksi dengan asumsi berat *crude ore* 100 kg. Perhitungan menghasilkan data pada Tabel 3.

Persamaan untuk menghitung kandungan R-SiO₂ kombinasi kedua jenis conto adalah sebagai berikut.

$$R_{SiO_2} \text{ I dan IV opt.} = \frac{(2.14 + 1.16)}{49.35 + 34.15} \times 100\% \times 1 \text{ kg} \quad (3)$$



Gambar 8. Skema Alur Pencucian Bauksit PT Antam Tbk
(Sumber: Kajian Teknologi Pengolahan dan Pemurnian Aluminium, Teknik Metalurgi ITB)

Tabel 3. Optimasi Kandungan R-SiO₂ Conto

Jenis Conto	Data (%)			Optimasi Tonase (kg)	
	Al ₂ O ₃	R-SiO ₂	CF	Al ₂ O ₃	R-SiO ₂
I	42.02	4.33	49.35	20.74	2.14
IV	43.01	3.40	34.15	14.69	1.16

Hasil persamaan di atas sebesar 3,95 kg. Artinya, dari 100 kg conto yang dicuci, kandungan R-SiO₂ hanya berjumlah 3,95 kg atau 3,95% dari berat crude ore. Hal ini menunjukkan kandungan R-SiO₂ dari metode pencucian ini berpotensi normal.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Block model* silika reaktif (R-SiO₂) anomali menunjukkan mineral R-SiO₂ yang terbentuk tidak dikontrol oleh topografi dan tidak memiliki pola sebaran tertentu sehingga *block model* sebaran R-SiO₂ anomali mengikuti persebaran bijih.
2. Berdasarkan kandungan R-SiO₂ dan kadar Al₂O₃ yang dihasilkan, metode pencucian IV merupakan metode pencucian paling optimal dengan menghasilkan 3,40% R-SiO₂ dan 43,01% Al₂O₃. Sedangkan berdasarkan nilai CF, metode pencucian I merupakan metode pencucian dengan nilai CF terbesar, yaitu 49,35%.
3. Metode pencucian IV merupakan metode pencucian paling efisien dalam mengurangi kandungan R-SiO₂. Namun dengan nilai CF 34,15%, metode pencucian IV tidak memperoleh bijih sebanyak metode pencucian I.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari riset PT Antam Tbk tahun 2013 sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Antam Tbk atas dukungannya dalam pelaksanaan riset.

DAFTAR PUSTAKA

- Bárdossy, György. (tahun tidak diketahui). Growing Significance of Bauxites. Hungarian Academy of Sciences.
- Fritz, B. dan Tardy, Y. 1973. Etude Thermodynamique Du Systeme Gibbsite, Quartz, Kaolinite, Gaz Carbonique; application a la genese des podzols et des bauxites: Sci. Geol. Bull.
- Government of India. 2012. Indian Minerals Yearbook 2011 (Part- II) 50th Edition: Laterite (Advance Release). Ministry of Mines, Indian Bureau of Mines. Indira Bhavan, Civil Lines, Nagpur.
- Gow, Neil N., Lozej, Gian Paolo 1993. Bauxite. Geoscience Canada, Ontario.
- Guilbert, John. M. Park, Jr, Charles F. Park. 2007. The Geology of Ore Deposits. Page 791-796. Waveland Press, Inc. Long Grove, Illinois.
- Lotze, J., 1978. Economic Evaluation of World Bauxite Resources: dalam Kongres Internasional ke-4 ICSOBA, Athens.
- Notosiswoyo, Sudarto. 2011. Slide Kuliah Teknik Eksplorasi K-05 03-10-2011. Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.
- W. Hedenquist, Jeffrey. Dkk. Economic Geology 100th Anniversary Volume 1905-2005. Page 681-723 Society of Economic Geologist, Inc. Littleton, Colorado.

ADA APA DENGAN WILAYAH BENTANG ALAM KARST?

Sukandarrumidi¹, Fivry Wellda Maulana²,

^{1,2}Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta

ABSTRACT

The life of people society depends on soil and water, including the people who live in the karst area. The occurrence of aquifer on the karst area is determined of the occurrence of cavities and pores spaces and also the occurrence of joints or cracks on the karst hills. The activities of limestone mining in the karst area will disappearing the occurrence of springs, ponds of water and underground rivers in the karst area. These are the main reasons, why the people refuse the occurrence of cement industry

Keywords: karst, aquifer, limestone

PENDAHULUAN

Tidak dapat disangkal lagi bahwa manusia modern hidup dari tanah, air, udara dan api. Keberadaan keempat kekayaan alam tersebut tampaknya tidak boleh berlebihan. Tanah dimanfaatkan manusia sebagai lahan tempat tinggal dan bertani/berkebun, air diperlukan untuk kebutuhan rumah tangga dan pertanian, udara diperlukan oleh manusia untuk bernafas, dan api disamping untuk keperluan rumah tangga dalam hal masak memasak dimanfaatkan sebagai penghasil bahan baku energy. Kekurangan akan keempat sumberdaya alam tersebut juga menimbulkan masalah yang serius. Dalam konteks lingkup yang besar, perebutan lahan tanah antar Negara saat ini menjadi trend yang terjadi dimana mana. Terlebih lagi apabila didalam tanah tersebut diketahui mengandung bahan galian atau minyak dan gas bumi. Perselisihan yang tidak pernah selesai salah satunya perang antara Israel dan Palestina di Jalur Gaza, tidak lain adalah memperebutkan lahan tanah. Pada mereka masing-masing merasa memiliki. Kelebihan kepemilikan lahan tanah juga tidak menguntungkan. Banyak lahan tanah yang “nganggur” padahal lahan tanah juga sebagai penghasil sumber berbagai makanan.



Gambar 1. Manusia tidak dapat lepas dari lahan tanah dan air

Kekurangan air (seperti yang saat ini terjadi di beberapa tempat di Jawa) telah mengakibatkan gagal panen, air minum dan untuk keperluan rumah tangga terpaksa dipasok dari daerah lain/atau dapat diperoleh dengan cara membeli. Alam memang telah menyediakan udara (baca oksigen) secara berlebih, bersih dengan tidak perlu diminta. Namun, akibat ulah manusia udara terkontaminasi asap pembakaran hutan, yang saat ini terjadi di beberapa daerah di Sumatera dan Kalimantan sebagai bukti yang paling nyata.



Gambar 2. Udara yang kotor dan keberadaan api yang berlebihan menyusahkan hidup manusia

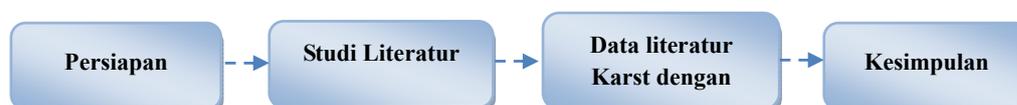
Masyarakat mengeluh berkepanjangan karena akses mendapatkan udara yang sehat tidak terpenuhi. Kelebihan udara dalam bentuk puting beliung ataupun tornado telah terbukti menimbulkan bencana dimana-mana, menghancurkan permukiman dan gagal panen. Keberadaan api yang terkendali sangat diperlukan dalam kegiatan rumah tangga dan industry. Industri besar seperti PLTU, industry mobil dan sejenisnya tidak akan terwujud bila tidak ada api. Namun, keberadaan api yang berlebihan dan tidak terkendali, seperti kebakaran hutan dan kebakaran tempat-tempat permukiman tidak lain karena api yang tidak dapat dikendalikan. Sebetulnya alam sangat bersahabat dengan manusia, namun persahabtan itu dicerai oleh manusia karena manusia menuntut lebih dari yang seharusnya diperlukan dengan berbagai macam dalih. Hal yang sama terjadi juga dalam pengambilan batugamping di daerah kawasan karst secara besar-besaran, untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku industry semen. Mengapa masyarakat setempat tidak setuju dengan kegiatan tersebut ?. Banyak orang mengatakan, kita tidak akan sengsara tanpa semen, tetapi kita akan sengsara dan berakhir dengan kematian bila tidak ada air.

Latar Belakang Masalah. Pada masa lampau pada saat manusia masih sedikit dan kemajuan teknologi belum seperti sekarang ini, pengambilan bahan tambang khususnya batugamping oleh masyarakat setempat tidak menimbulkan masalah. Mereka menambang untuk keperluan sendiri, tidak pernah terlantas untuk diperdagangkan. Pada saat ini “dagang” batugamping yang sudah direkayasa dengan teknologi, menjadi semen, merupakan bisnis yang sangat menguntungkan. Para investor memilih batugamping nonklastik yang oleh masyarakat awam disebut sebagai batugamping koral. Industry memerlukan hampir 70% batugamping sebagai bahan baku industry semen, sisanya diperlukan lempung, pasir kuarsa, pasir besi dan kadang-kadang gips. Batu kapur/gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO_3), sedangkan lempung/tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa: silika oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3) dan magnesium oksida (MgO) untuk menghasilkan semen. Bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk clinkernya, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (gypsum) dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dari proses produksi dikemas dalam kantong/zak dengan berat rata-rata 40 kg atau 50 kg.

Pengertian umum, semen adalah suatu binder, suatu zat yang dapat menetapkan dan mengeraskan dengan bebas, dan dapat mengikat material lain. Abu vulkanis dan batu bata yang dihancurkan yang ditambahkan pada batu kapur yang dibakar sebagai agen pengikat untuk memperoleh suatu pengikat hidrolis yang selanjutnya disebut sebagai “cementum”. Semen yang digunakan dalam konstruksi digolongkan kedalam semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah material yang menetap dan mengeras setelah dikombinasikan dengan air, sebagai hasil dari reaksi kimia dari pencampuran dengan air, dan setelah pembekuan, mempertahankan kekuatan dan stabilitas bahkan dalam air sekalipun. Pedoman yang dibutuhkan dalam hal ini adalah pembentukan hidrat pada reaksi dengan air segera mungkin. Kebanyakan konstruksi semen saat ini adalah semen hidrolis dan kebanyakan didasarkan pada semen Portland, yang dibuat dari batu kapur, mineral tanah liat tertentu, dan gypsum, padan proses dengan temperatur yang tinggi yang menghasilkan karbon dioksida dan berkombinasi secara kimia yang menghasilkan bahan utama menjadi senyawa baru. Semen non-hidrolis meliputi material seperti batu kapur dan gypsum yang harus tetap kering supaya bertambah kuat dan mempunyai komponen cair. Contohnya adukan semen kapur yang ditetapkan hanya dengan pengeringan, dan bertambah kuat secara lambat dengan menyerap karbon dioksida dari atmosfer untuk membentuk kembali kalsium karbonat. Penguatan dan pengerasan semen hidrolis disebabkan adanya pembentukan air yang mengandung senyawa-senyawa, pembentukan sebagai hasil reaksi antara komponen semen dengan air. Reaksi dan hasil reaksi mengarah kepada hidrasi dan hidrat secara berturut-turut. Sebagai hasil dari reaksi awal dengan segera, suatu pengerasan dapat diamati pada awalnya dengan sangat kecil dan akan bertambah seiring berjalannya waktu. Setelah mencapai tahap tertentu, titik ini diarahkan pada permulaan tahap pengerasan. Penggabungan lebih lanjut disebut penguatan setelah mulai tahap pengerasan.

METODE PENELITIAN

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Jenis-jenis semen. Berdasarkan atas bahan utama dan bahan *additive* yang dipergunakan dibuat beberapa jenis semen. Jenis-jenis semen tersebut adalah: 1) Semen abu atau semen Portland adalah bubuk/ bulk berwarna abu kebiru-biruan, dibentuk dari bahan utama batu kapur/gamping berkadar kalsium tinggi yang diolah dalam tanur yang bersuhu dan bertekanan tinggi. Semen ini biasa digunakan sebagai perekat untuk memplester. Semen ini berdasarkan prosentase kandungan penyusunannya terdiri dari 5 tipe, yaitu tipe I sampai tipe V; 2) Semen putih (*gray cement*) adalah semen yang lebih murni dari semen abu dan digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*), seperti sebagai filler atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) batugamping murni; 3) *Oil Well Cement* atau semen sumur minyak adalah semen khusus yang digunakan dalam proses pengeboran minyak bumi atau gas alam, baik di darat maupun di lepas pantai; 4) *Mixed & Fly Ash Cement* adalah campuran semen abu dengan Pozzolan buatan (*fly ash*). Pozzolan buatan (*fly ash*) merupakan hasil sampingan dari pembakaran batubara yang mengandung *amorphous silica*, aluminium oksida, besi oksida dan oksida lainnya dalam variasi jumlah. Semen ini digunakan sebagai campuran untuk membuat beton, sehingga menjadi lebih keras.

Berdasarkan prosentase kandungan penyusunannya, semen Portland terdiri dari 5 tipe yaitu: 1) Semen Portland tipe I adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 55% (C_3S), 19% (C_2S), 10% (C_3A), 7% (C_4AF), 2,8% (MgO), 2,9% (SO_3), 1,0% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO ; 2) Semen Portland tipe II dipakai untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal, dan dapat digunakan untuk bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat dan lain-lain. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 51% (C_3S), 24% (C_2S), 6% (C_3A), 11% (C_4AF), 2,9% MgO ; 2,5% (SO_3); 0,8% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO ; 3) Semen Portland tipe III dipakai untuk konstruksi bangunan dari beton massa (tebal) yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, misal bangunan dipinggir laut, bangunan bekas tanah rawa, saluran irigasi, dam-dam. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 57% (C_3S), 19% (C_2S), 10% (C_3A), 7% (C_4AF), 3,0% MgO , 3,1% (SO_3), 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 1,3% bebas CaO ; 4) Semen Portland tipe IV dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, misal untuk pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan bertingkat, bangunan-bangunan dalam air. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 28% (C_3S), 49% (C_2S), 4% (C_3A), 12% (C_4AF), 1,8% (MgO), 1,9% (SO_3), 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO ; 5) Semen Portland tipe V dipakai untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 89-38% (C_3S), 43% (C_2S), 4% (C_3A), 9% (C_4AF), 1,9% MgO , 1,8% (SO_3), 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO . Dari uraian tersebut di atas, baik pada jenis apapun semen yang akan diproduksi memerlukan bahan baku utama batugamping dengan komposisi utama *calcium carbonat* ($CaCO_3$) dalam keadaan murni/tanpa pengotor mineral lain yang tidak diperlukan. Keberadaan kontaminan akan menurunkan mutu semen yang dihasilkan.

Macam batugamping, berdasarkan atas genesa/cara terbentuknya dikenal: 1) Batugamping klastik, yaitu batugamping yang merupakan rombakan/detrital batugamping nonklastik. Karena merupakan hasil rombakan, maka batugamping jenis ini sarat dengan sejumlah kontaminan dari mineral yang lain. Jenis batugamping klastik tidak dimanfaatkan/merupakan pilihan sebagai bahan baku dalam pembuatan semen Portland sejauh masih terdapat batugamping nonklastik. Kenampakan batugamping klastik dilapangan dicirikan oleh adanya perlapisan; 2) Batugamping non-klastik, yaitu batugamping yang terbentuk dari rumah-rumah (*calyx*) binatang laut, khususnya anggota Filum Coelenterata. Batugamping ini mempunyai komposisi calcium carbonat dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Oleh orang awan jenis batugamping ini disebut dengan istilah masyarakat batugamping koral. Ciri utama dilapangan dari batugamping non-klastik adalah tidak berlapis dan banyak mengandung pori-pori atau rongga-rongga. Batugamping jenis ini yang diutamakan sebagai bahan baku dalam pembuatan semen Portland.

Sifat-sifat batugamping non-klastik, selain komposisi kimia yang hampir murni (terdiri dari calcium carbonat), batugamping non-klastik mempunyai ciri khas lain yang tidak dimiliki oleh jenis batugamping klastik. Ciri-ciri tersebut adalah: 1) Mempunyai rongga-rongga ataupun pori-pori yang terbentuk pada saat perkembangan dan koloni calyx. Rongga-rongga ataupun pori-pori ini dapat berfungsi sebagai aquifer (lapisan batuan penyimpan air). Jumlah rongga-rongga atau pori-pori ini

akan meningkat seiring dengan umur geologi dan proses pelarutan yang terjadi sebagai akibat kinerja air hujan/air tanah; 2) Jumlah pori-pori akan makin bertambah kapasitasnya sebagai penyimpan air tanah bila formasi batugamping non-klastik tersebut mengalami tektonik. Akibat dari tektonik ini formasi batugamping non-klastik menjadi pecah-pecah. Rekahan-rekahan dapat berfungsi sebagai pori-pori sekunder yang terjadi akibat kinerja tektonik ini kemudian akan berfungsi sebagai akuifer (lapisan batuan penyimpan air); 3) Dari uraian no,1 dan no.2 tersebut diatas, maka akuifer pada batugamping non-klastik berada pada seluruh tubuh Formasi batugamping koral. Makin luas dan makin tinggi formasi batugamping non-klastik akan makin banyak air hujan yang masuk kedalamnya. Air ini akan muncul kembali ke permukaan topografi dalam bentuk mata air. Mata air-mata air tersebut akan membentuk telaga (di permukaan topografi) dan sungai bawah tanah (dibawah permukaan topografi); 4) Penyebaran bukit-bukit batugamping non-klastik secara keseluruhan merupakan conical hills (deretan bukit berbentuk kerucut). Makin banyak bentuk conical hills akan makin banyak air hujan yang jatuh di permukaan topografi dan makin banyak pula air tanah yang terkandung dalam batugamping non-klastik. Makin tinggi dan makin besar conical hills makin lama retensi air hujan berada pada tubuh formasi batugamping non-klastik. Retensi tersebut akan meningkat bila pada permukaan topografi ditubuhi hutan yang cukup lebat. Akar tanaman dari hutan tersebut juga akan menambah pori-pori sekunder.

Dari uraian tersebut diatas dapat disimpulkan keberadaan batugamping non-klastik berkaitan dengan kemampuan retensi air (hujan) adalah sebagai berikut: 1) Makin tinggi ukuran/dimensi *conical hills* dan makin luas penyebaran *conical hills*, makin banyak kandungan air yang dapat diretensi; 2) Makin sering *conical hills* terkena tektonik, makin banyak pori-pori sekunder terbentuk dan makin besar retensi air yang tersimpan; 3) Makin banyak tumbuhan yang hidup dan menutup permukaan topografi *conical hills* makin banyak pula pori-pori sekunder terbentuk dan makin lama retensi air yang tersimpan. Timbul masalah utama: apa yang akan terjadi bila batugamping non-klastik pada *conical hills* itu ditambang terhadap kehidupan masyarakat setempat.

Keberadaan bentang alam karst di Indonesia. Dari peta geologi regional yang telah berhasil disusun oleh geologist di Indonesia terdapat beberapa mandala bentang alam karst. Di daerah tersebut banyak yang sudah dihuni oleh masyarakat sebagai dan diolah sebagai lahan pertanian, telah menghidupinya secara turun-temurun. Sejalan dengan kearifan lokal, masyarakat yang bermukim di daerah karst disamping sebagai pilihan untuk permukiman dan pertanian, karena ditempat-tempat tersebut banyak terdapat mata air yang cukup potensial. Berbagai parameter yang berpengaruh pada sistem bentang alam karst, yang lazim disebut dengan istilah ekosistem karst. Ekosistem karst memiliki keunikan baik secara fisik maupun dalam aspek keanekaragaman hayati. Keduanya merupakan kekayaan ekosistem karst yang tidak ada duanya. Beberapa karakteristik fisik dari karst yang merupakan ciri daerah karst antara lain: 1) Daerahnya berupa cekungan-cekungan; 2) Terdapat bukit-bukit kecil; 3) Sungai-sungai yang nampak di permukaan hilang dan terputus masuk ke dalam tanah; 4) Adanya sungai-sungai di bawah permukaan tanah disebut sebagai sungai bawah tanah; 5) Adanya endapan sedimen lempung berwarna merah hasil dari pelapukan batugamping; 6) Permukaan yang terbuka nampak kasar, berlubang-lubang dan runcing. Di kawasan karst banyak dijumpai goa dan sungai bawah tanah yang juga menjadi pemasok ketersediaan air tanah yang sangat dibutuhkan oleh kawasan yang berada di bawahnya. Termasuk di dalamnya ketersediaan air tawar (dan bersih) bagi kehidupan manusia, baik untuk keperluan harian maupun untuk pertanian dan perkebunan.



Gambar 6. Bukit-bukit batugamping berjejer, sebagai kenampakan morfologi daerah karst (gambar kiri) telaga di antara bukit-bukit batugamping sebagai penampung mata air sekitar (gambar kanan)



Gambar 7. Keadaan sungai bawah tanah di daerah karst dengan stalaktit dan stalamit

Daerah karst di Indonesia. Kawasan karst di Indonesia mencakup luas sekitar 15,4 juta hektare dan tersebar hampir di seluruh Indonesia. Perkiraan umur dimulai sejak 470 juta tahun lalu sampai yang terbaru sekitar 700.000 tahun. Keberadaan kawasan ini menunjukkan bahwa pulau-pulau Indonesia banyak yang pernah menjadi dasar laut, namun kemudian terangkat dan mengalami pengerasan. Wilayah karst biasanya berbukit-bukit dengan banyak goa. Berikut adalah wilayah karst di Indonesia: 1) Gunung Leuser (Aceh); 2) Perbukitan Bohorok (Sumut); 3) Payakumbuh (Sumbar); 4) Bukit Barisan, mencakup Baturaja (Kabupaten Ogan Komering Ulu); 5) Sukabumi selatan (Jabar); 6) Gombang, Kebumen (Jawa Tengah); 7) Pegunungan Kapur Utara, mencakup daerah Kudus, Pati, Grobogan, Blora dan Rembang Jawa Tengah); 8) Pegunungan Kendeng, Jawa Timur; 9) Pegunungan Sewu, yang membentang dari Kabupaten Bantul di barat hingga Kabupaten Tulungagung di timur; 10) Sistem perbukitan Blambangan, Jawa Timur; 11) Perbukitan di bagian barat Pulau Flores, tempat lokasi banyak goa, salah satu di antaranya adalah Liang Bua (Nusa Tenggara Timur, NTT); 12) Perbukitan karst Sumba (NTT); 13) Pegunungan karst Timor Barat (NTT); 14) Pegunungan Schwaner (Kalbar); 15) Kawasan Pegunungan Sangkulirang - Tanjung Mangkaliat seluas 293.747,84 hektare, memiliki goa-goa dengan lukisan dinding manusia purba (Kalimantan Timur); 16) Perbukitan Maros Pangkajene, terletak di Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan, seluas 4.500 hektare dan beberapa di antara goa-goa yang ada memiliki lukisan purba; 17) Kawasan karst Wowolesea, memiliki sistem air asin hangat (Sulawesi Tenggara); 18) Pulau Muna; 19) Kepulauan Tukangbesi; 20) Pulau Seram (Maluku); 21) Pulau Halmahera (Maluku Utara); 22) Kawasan karst Fakfak (Papua Barat); 23) Pulau-pulau Biak dan Pegunungan Tengah dan Pegunungan Lorentz (Papua); 24) Kawasan Batu Hapu, Tapin, Kalimantan Selatan. Sisa-sisa permukiman manusia purba ditemukan di Leang Cadang, Leang Lea, dan goa-goa lainnya di Maros, Goa Sampung dan Goa Lawa di Ponorogo, Goa Marjan dan Goa Song di Jember, Song Gentong (Tulungagung), Song Brubuh, Song Terus, dan Goa Tabuhan di Pacitan. Lukisan atau cap dinding ditemukan di kawasan Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan dan Tenggara, Kepulauan Kai, Seram, Timor, serta Papua. Ini menunjukkan indikasi migrasi manusia ke arah timur. Selain itu ditemukan pula berbagai sisa jenis vertebrata berusia 1,7 juta tahun hingga 700.000 tahun.

Masalah Utama. Pada era sebelum tahun 1950-an mendirikan pabrik semen tidak ada masalah sama sekali. Masyarakat pada saat itu menerima dengan "legawa" meskipun keberadaan pabrik semen terbukti belum "mensejahterakan" masyarakat setempat. Beberapa pabrik semen terkenal di Indonesia antara lain: 1) PT Semen Padang didirikan pada tanggal 18 Maret 1910 dengan nama NV Nederlandsch Indische Portland Cement Maatschappij (NV NIPCM) yang merupakan pabrik semen pertama di Indonesia. Kemudian pada tanggal 5 Juli 1958, perusahaan dinasionalisasi oleh pemerintah Republik Indonesia dari pemerintah Belanda. Selama periode ini, telah dibangun pabrik Indarung II, III, dan IV. Pada tahun 1995, pemerintah mengalihkan kepemilikan sahamnya di PT Semen Padang ke Semen Gresik; 2) PT. Indocement berdiri sejak 16 Januari 1985. Perusahaan ini merupakan hasil penggabungan enam perusahaan semen yang memiliki delapan pabrik. Pabrik pertama Indocement sudah beroperasi sejak 4 Agustus 1975. Saat ini PT. Indocement memiliki 12 buah pabrik, sembilan diantaranya berada di Citeureup, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Dua berada di Cirebon, Jawa Barat dan satu di Tarjun, Kotabaru, Kalimantan Selatan. Indocement pertama kali mencatatkan sahamnya di Bursa Efek Indonesia pada 5 Desember 1989. Sejak tahun 2001, Heidelberg Cement Group, yang berbasis di Jerman dan merupakan produsen utama di dunia dengan pabrik di lebih dari 50 negara mengambil alih kepemilikan mayoritas saham di Indocement. Semen yang dipasarkan adalah semen dengan merk "Tiga Roda"; 3) PT.Semen Gresik (Persero) Tbk diresmikan di Gresik pada 20 Desember

1957. Pada 20 Desember 2012 PT.Semen Gresik (Persero) Tbk berganti nama menjadi PT,Semen Indonesia (Persero) Tbk. Semen Indonesia memiliki anak perusahaan PT Semen Gresik, PT Semen Padang, PT Semen Tonasa dan Thang Long Cement; 4) PT.Semen Cibinong, terlahir sebagai 'Semen Cibinong' pada 15 Juni 1971, pabrik semen ini merupakan pabrik semen swasta pertama di Indonesia. Pada 1993,mengakuisisi PT Semen Nusantara, Cilacap. Aksi akuisisi berlanjut dua tahun kemudian dengan mengambil alih PT Semen Dwima Agung, perusahaan semen yang belum beroperasi tapi punya 800 hektar lahan quarry di Tuban, Jawa Timur. Pada Desember 2001, mayoritas saham PT Semen Cibinong Tbk berpindah tangan ke Holcim Ltd, raksasa semen berdarah Swiss. Perlahan nama 'Semen Cibinong' pun diganti menjadi Holchim. Pada tahun 2006, nama perusahaan pun akhirnya resmi berganti menjadi PT Holcim Indonesia Tbk; 5) PT.Semen Bosowa, didirikan pada tahun 1995 dan mulai produksi pada 16 April 1999 PT Semen Bosowa yang terkonsentrasi menggarap pasar Indonesia timur akan melakukan ekspansi ke Jawa. Produsen semen yang pabriknya berlokasi di Maros, Sulawesi Selatan, dan Batam, Kepulauan Riau, itu akan membangun tiga pabrik baru di tiga provinsi Pulau Jawa, yaitu Cilegon (Banten), Rembang, Jawa Tengah, dan Banyuwangi, Jawa Timur; 6) PT.Semen Nusantara lokasinya di Desa Karangtalun,kecamatan Cilacap Utara, Cilacap, Jawa Tengah, Indonesia. Terdapat sebuah pabrik semen yang dahulu bernama Semen Nusantara, kemudian bernama PT. Semen Cibinong Tbk, Pabrik Cilacap, Pada tahun 2006 Holcim mengakuisisi pada tahun 2006, sekarang bernama PT. Holcim Indonesia. PT.Holcim Indonesia mengambil batugamping dari Pulau Nusa Kambangan.PT. Holcim Indonesia mengoperasikan dua pabrik: di Narogong, Jawa Barat, dan di Cilacap, Jawa Tengah, serta satu stasiun penggilingan di Ciwandan, Banten. Pabrik semen ketiga di Tuban, Jawa Timur, dijadwalkan mulai berjalan pada tahun 2013; 7) PT. Semen Gresik diresmikan pada tanggal 7 Agustus 1857 merupakan pabrik semen terbesar di Indonesia. Pada tanggal 20 Desember 2012 resmi berganti nama menjadi PT.Semen Indonesia (Persero) Tbk. Saat ini PT. Semen Indonesia memiliki anak perusahaan PT Semen Gresik, PT Semen Padang, PT Semen Tonasa dan Thang Long Cement. PT Semen Tonasa adalah produsen semen besar di Indonesia yang beroperasi sejak tahun 1968. Perusahaan yang bemarkas di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan ini memiliki 4 pabrik besar yaitu Pabrik Tonasa II, Pabrik Tonasa III, Pabrik Tonasa IV dan Pabrik Tonasa V yang mampu menghasilkan 590.000 ton semen per tahun untuk Unit II dan III, 2.300.000 ton semen per tahun untuk Unit IV serta 2.500.000 ton semen; 8) PT Semen Kupang, yang berada di Kupang, Pulau Timor yang kini mati suri.



Gambar 9. Salah satu pabrik produksi semen di Indonesia (gambar kiri) & kegiatan proses pembuatan semen (gambar kanan)

PEMBAHASAN

Tampaknya ketidaksesuaian pendapat antara masyarakat yang bermukim di daerah karst dengan keinginan investor pabrik semen tidak akan ada-nada titik temu. Beberapa hal yang perlu mendapat perhatian bersama adalah sebagai berikut.

Masyarakat daerah karst bagaimanapun perlu air baik untuk rumah tangga maupun untuk usaha pertanian. Keberadaan air tanah sebagai penampung air hujan berada pori-pori dan rongga-rongga serta rekahan-rekahan yang jumlahnya tidak terhingga. Semuanya itu berada pada bukit-bukit bentang alam karst.

Sebagai akibat keberadaan bentang alam karst yang terpelihara secara alamiah, timbul beberapa telaga yang dapat berfungsi sebagai pengatur kelembaban udara dalam suatu ekosistem lingkungan. Akibat selanjutnya, hutan lindung (bila ada), hutan adat (bila ada), hutan masyarakat serta

persawahan milik masyarakat dapat tumbuh dengan subur. Sudah terbukti daerah-daerah karst semula merupakan daerah hutan yang cukup subur dan tidak pernah kekurangan air. Rumah-rumah joglo/tradisional berbahan kayu sebagai bukti yang tak terbantahkan. Bila bukit-bukit karst dihilangkan karena ditambang habis, quifer hilang, telaga-telaga kering, terjadi perubahan ekosistem lingkungan paling tidak selama kegiatan industri semen berlangsung. Berapa puluh tahun pabrik semen akan beroperasi. Terutama di Jawa, masyarakat sudah terdesak dan harus “naik gunung” salah satunya bermukim dan bertani di daerah karst, untuk mempertahankan hidup dan kehidupan. Tanah-tanah tersebut pada umumnya sudah milik perseorangan secara turun-temurun. Pemindahan permukiman (transmigrasi) hingga saat ini belum dapat menjamin dan meyakinkan hidup lebih bahagia. Mereka berpendapat bermukim dan bertani di daerah karst masih lebih baik dengan catatan keberadaan air secara alami tidak terganggu. Keberadaan hutan di daerah karst mampu menimbulkan mata air. Hal ini sudah terbukti di daerah hutan buatan Wanagama, Gading. Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 10. Deretan bukit batugamping non klastik yang merupakan *aquifer* air tanah di daerah bentang alam karst (gambar kiri); bila bukit hilang karena ditambang *aquifer* pun juga hilang



Gambar 11. Telaga sebagai penampung air permukaan, penyeimbang ekosistem lingkungan (gambar kiri); pertanian di daerah karst sangat tergantung pada keberadaan mata air dari bukit-bukit karst.



Gambar 12. Hutan lestari, mata air pun bermunculan

Keberadaan pabrik semen dengan bahan baku utama batugamping, akan berakibat hilangnya bukit-bukit karst yang merupakan salah satu bentuk *aquifer* air tanah. Kesanggupan untuk mempekerjakan masyarakat setempat pada kegiatan pabrik semen, tampaknya tidak akan mampu meluluhkan aktivitas penolakan masyarakat petani di daerah karst. Hilangnya lahan pertanian/tegalan yang telah menghidupi masyarakat secara turun temurun dalam waktu puluhan tahun juga merupakan bahan pertimbangan aksi penolakan tersebut.

KESIMPULAN

Masyarakat yang bermukim di bentang alam karst tidak sependapat dengan rencana pembangunan pabrik semen. Mereka meyakini berdasarkan atas pengalaman selama ini:

1. Pengambilan bahan baku pabrik semen dalam bentuk batugamping akan menghilangkan bukit-bukit karst.
2. Keberadaan bukit-bukit karst merupakan satu-satunya akuifer air tanah yang menghidupi mereka. Hilangnya bukit berarti hilangnya akuifer air tanah. Kekeringan akan terjadi dimana-mana, kehidupan tidak dapat berlangsung tanpa air. Kesengsaraan dan nasib yang kurang menguntungkan telah membayangi mereka.
3. Agar kondisi geokonflik tidak terjadi berkepanjangan, disarankan pendirian pabrik semen tidak dilakukan di daerah karst yang sudah padat penduduk, dan bukan di wilayah adat masyarakat yang dilindungi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C., 2014. Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Anonim, 2014. Warga Kendeng Utara gugat SK Gubernur ke PTUN. Kompas 2 September 2014.
- Anonim, 2014. Cekungan air tanah Watuputih Oasis di Jateng Timur. Kompas 13 September 2014.
- Anonim, 2014. Warga tolak pabrik semen. Kompas 20 September 2014.
- Anonim, 2014. Tetapkan kawasan lindung Bukit Bulan. Kompas 22 September 2014.
- Sukandarrumidi, 1999. Bahan galian industri. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Taylor, H.F.W., 1997. Cement chemistry. Thomas Telford Publishing, London.

SELEKTIFITAS PELINDIAN REDUKTIF BIJIH MANGAN NUSA TENGGARA TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN MOLASES SEBAGAI REDUKTOR DALAM SUASANA ASAM

Slamet Sumardi¹, Mohammad Zaki Mubarak², Nuryadi Saleh³

¹UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung-LIPI ²Jurusan Metalurgi ITB,

³Teknologi Mineral dan batubara,

Email: slumuth@yahoo.com

INTISARI

Manganese is a metal that is commonly used fourth in their daily lives besides iron, copper and nickel. Manganese is used as a compound in the steel making process with the needs of the total manganese in the world is 90% used for steel industry. While the use of other metals used as a chemical manganese as manganese sulfate for additional fodder, potassium permanganate as an oxidant disinfectant and chemical reactions as well as manganese dioxide as a dry battery components that can prevent the occurrence of polarization. In this research has been done taking the metal manganese from manganese ore area East Nusa Tenggara Kupang with reductive leaching method in an atmosphere of sulfuric acid. Reducing agents were used beruba sugar cane mill waste called molasses. The purpose of this study was to compare the effectiveness of the reagent pelindi in melindi manganese to iron solubility. The study begins with the preparation of manganese ore that is by reducing the size to 140 mesh and then make an analysis of the composition of the metal content of ore samples using XRF. A number of manganese ore samples introduced into the leaching reactor which already contain sulfuric acid and molasses. Variation experiments used in this study is the concentration of sulfuric acid reagent pelindi ie, leaching temperature and percent solid used. Which is reductive leaching is carried out for 6 hours with stirring speed of 200 rpm was made remain. Leaching resulting solution is then filtered to separate the filtrate with the residue obtained. The filtrate was then analyzed using AAS to determine levels of manganese and iron. While the residue dried and weighed. Percent extraction of manganese were obtained and the number of elements in the dissolved iron leaching participating in the percent used to calculate the leaching of manganese to iron slektifitas. Selectivity pelindiang manganese will be effective when the results of the calculation approach. Based on the calculation of the leaching of manganese to iron selectivity in reductive leaching manganese ore using sulfuric acid as a reagent pelindi can be concluded that sulfuric acid is used as a reagent pelindi quite effective because it has a high selectivity is 0.78 with the operating conditions used in the form of sulfuric acid 6%, temperature leaching 800C and 10% percent solid. In these conditions manganese can be extracted to reach 92.31%.

Keywords: reductive leaching, molasses, leaching selective, reagent

PENDAHULUAN

Mangan merupakan logam yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari selain besi, tembaga dan nikel. Hampir 90% mangan yang ada di dunia ini dipergunakan untuk industri besi dan baja. Mangan digunakan dalam produksi Mild steel, High carbon ferromanganese dan silicomanganese^{1,2}. Selain itu penggunaannya untuk produksi low carbon steels, medium carbon ferromangan atau electrolytic manganese dioxide. Fungsi logam mangan ini jika dipadukan dengan baja maka baja akan memiliki keuletan sehingga tidak mudah patah. Selain untuk kepentingan metalurgi logam mangan juga di gunakan untuk produksi senyawa kimia seperti KMnO₄ yang digunakan untuk desinfektan, MnSO₄ untuk pakan ternak dan manganese dioxide yang digunakan sebagai komponen baterai kering yang berfungsi untuk depolarisator.³

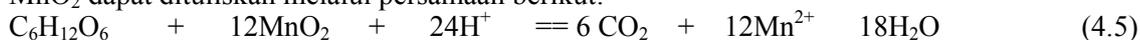
Menurut data International Manganese Institute produksi mangan alloy mencapai 11.7 juta metric ton pada tahun 2009, dan hampir 67%- nya atau sekitar 6.6 juta metric ton di produksi oleh negara China. Negara-negara yang memproduksi bijih mangan adalah china yang merupakan negara terbesar penghasil mangan sekitar 2.7 juta metric ton atau sekitar 24 % diikuti oleh Afrika selatan dan Australia sekitar 17% (1.9 juta metric ton), Brazil sekitar 9 % sebesar 1.9 juta metric ton, Gabon (956 ribu mt), India (845 ribu mt), Kazakhstan (377 ribu mt) dan negara lain termasuk Indonesia sekitar 13% atau 1.4 juta metric ton.² Sedangkan untuk di Indonesia bijih mangan dalam bentuk pirolusit ini terdapat di daerah Nusa Tenggara Timur, Jawa dan tersebar di daerah Sumatra.

Dengan adanya Peraturan Pemerintah Nomor 7 tahun 2012 mengenai aturan pelarangan menjual bahan tambang secara mentah ke luar negeri mengisyaratkan kita untuk melakukan proses pengolahan menjadi barang setengah jadi atau produk akhir sehingga bahan tambang tersebut memiliki nilai tambah. Bijih logam berharga yang dilarang penjualannya keluar negeri ada 14 jenis

barang tambang termasuk didalamnya adalah bijih mangan⁴. Dengan hadirnya aturan tersebut diharapkan munculnya beberapa smelter-smelter baru atau pabrik pengolahan bahan galian menjadi konsentrat siap diolah menjadi logam murni yang siap di pasarkan. Peraturan yang bersifat multiplayer effect ini nantinya akan menguntungkan bangsa kita sendiri mulai penyerapan tenaga kerja lokal dan meningkatkan kesejahteraan bangsa.

Pengolahan bijih mangan sendiri terbagi menjadi dua bagian yaitu secara pirometalurgi dan hidrometalurgi. Bijih mangan dengan kadar diatas 40% atau biasa disebut dengan metallurgical grade diolah secara pirometalurgi menjadi logam ferromangan⁵. Sedangkan bijih mangan dengan kadar dibawah 40% digunakan untuk produksi senyawa kimia seperti kalium permanganat, MnO₂ dan lain-lain. Bijih mangan jenis mineral pirolusit ini dapat dilakukan pelarutan selektif dalam suasana asam. Pelindian mangan ini bersifat reduktif, dalam pelaksanaannya dibutuhkan senyawa tertentu untuk menurunkan bilangan oksidasi logam Mn dari Mn(IV) menjadi Mn(II) sehingga dapat dilarutkan dengan menggunakan senyawa asam.⁶

Studi yang dilakukan oleh Das dan kawan-kawan⁷ menunjukkan terjadinya reaksi antara MnO₂ di dalam bijih mangan kadar rendah dengan ferro sulfat. Mangan yang dapat diambil dari bijihnya ini lebih dari 90% dengan kondisi operasi meliputi temperatur diatur pada suhu 90⁰C dan dengan sejumlah ferro sulfat sesuai hitungan stoikiometri dan perbandingan solid: liquid 1:10. Dalam kondisi ini *slury* yang dihasilkan menjadi susah disaring karena berbentuk gelatin. Pelindian reduktif dari bijih mangan dari dasar laut dan bijih mangan kadar rendah dengan aqueous SO₂ atau garam sulfat sudah mulai banyak dipublikasikan. Bahan reduktor yang sering digunakan sebagai pengawet makanan ini cukup efektif untuk bijih mangan kadar tinggi. Aqueous SO₂ sudah dilaporkan dalam perkolasi maupun agitasi leaching. Dalam proses ini SO₂ dioksidasi menjadi SO₄²⁻ dengan S₂O₆²⁻ sebagai produk samping tergantung kondisi seperti pH larutan, temperatur dan potensial redoknya. Rata-rata ekstraksi mangan yang dihasilkan pada penelitian itu di atas 90%.¹⁸ Selain itu Glukosa juga digunakan sebagai agen pereduksi dalam melindi bijih mangan kadar rendah⁹. Dalam penelitian ini adakan dipelajari selektifitas pelindian bijih mangan menggunakan molases yang masih memiliki kandungan glukosa yang cukup tinggi. Reaksi yang terjadi antara glukosa dengan MnO₂ dapat dituliskan melalui persamaan berikut:



Beberapa alasan penggunaan molases dalam percobaan ini adalah molases merupakan limbah pabrik gula yang keberadaannya cukup melimpah dan harganya murah. Sedangkan kadar glukosa dalam penelitian ini sekitar 24%.

METODE PENELITIAN

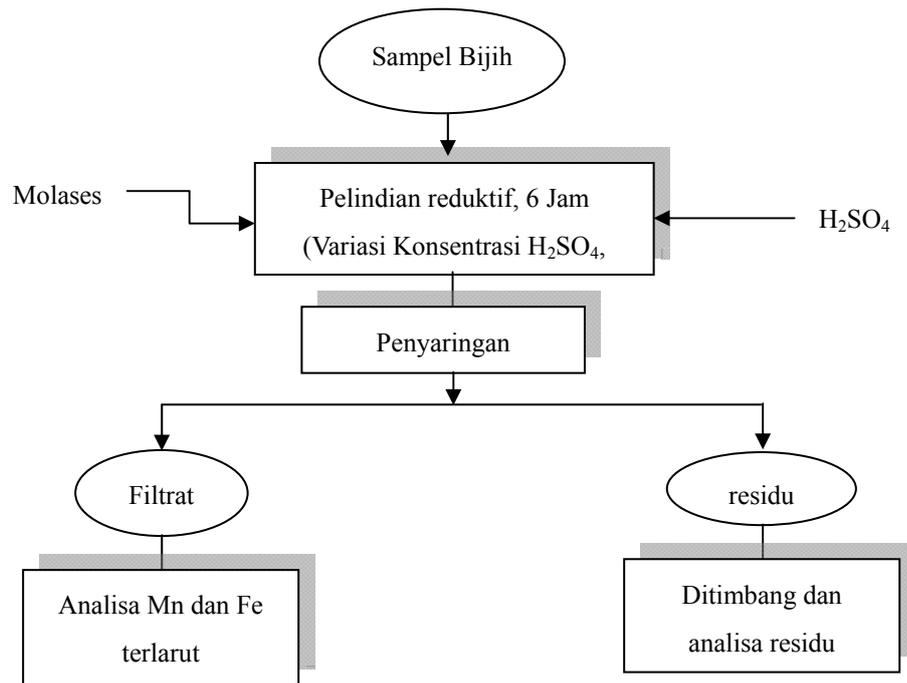
Bahan percobaan. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih mangan yang diambil dari daerah Kupang, Nusa Tenggara Timur dengan komposisi kandungan logamnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa XRF Bijih Mangan

Senyawa	Jumlah (% berat)	Unsur	Jumlah (% berat)
MnO ₂	71,90	Mn	45,44
SiO ₂	19,71	Si	9,21
Al ₂ O ₃	0,73	Al	0,39
Fe ₂ O ₃	1,04	Fe	0,73
TiO ₂	0,26	Ti	0,22
K ₂ O	0,10	K	0,08
CaO	1,71	Ca	1,22
MgO	1,03	Mg	0,62
Na ₂ O	0,20	Na	0,15
P ₂ O ₅	0,14	P	0,06
SO ₃	0,35	S	0,140

Diagram alir percobaan. Percobaan pelindian reduktif dengan menggunakan molases sebagai agen pereduksi dalam asam sulfat ini diawali dengan melakukan preparasi terhadap sampel yang

akan digunakan. Preparasi ini dengan mereduksi ukuran hingga minus 200 mesh. Sampel digerus dengan menggunakan mini *jaw crusher* hingga ukuran plus 10 mesh, dilanjutkan dengan menuangkan sampel kedalam *roll mill* hingga ukuran lolos 10 mesh, sedangkan sampel yang tertampung dalam mesh 10 di kembalikan ke dalam *roll mill*. Sampel kemudian disampling dengan menggunakan metode quartening dan splitting sampai berat yang diinginkan, kemudian sampel tersebut di gerus halus hingga minus 200 mesh. Tabel 1 menunjukkan hasil analisis XRF untuk bijih mangan yang akan digunakan dalam penelitian ini. Diagram alir percobaan ini disajikan pada Gambar 1. Pelindian dilakukan selama 6 jam dengan beberapa variasi percobaan diantaranya konsentrasi H_2SO_4 , temperatur pelindian dan persen solid. Larutan pelindian yang kaya akan logam mangan kemudian di lakukan penyaringan. Filtrat yang diperoleh dianalisa kadar Mn dan Fe dengan menggunakan AAS sedangkan residu atau senyawa yang tidak larut dikeringkan dan ditimbang serta dilakukan analisa SEM.



Gambar 1. Diagram alir percobaan pelindian bijih mangan menggunakan molases dalam suasana asam

PEMBAHASAN

Selektifitas pelindian reduktif mangan dengan menggunakan reduktor molases dalam suasana asam sulfat pada penelitian ini dapat dilakukan secara kuantitatif menurut persamaan sebagai berikut

$$S_{Mn} = \frac{[Mn]}{[Mn] + [Fe]}$$

Dimana $[Mn]$ adalah persen ekstraksi mangan yang diperoleh dan $[Fe]$ adalah persentase kelarutan logam besi. Untuk menghitung selektifitas pelindian mangan maka diperlukan data persentase ekstraksi mangan dan persentase keterlarutan logam lain dalam hal ini besi dari beberapa percobaan.

Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Selektifitas Pelindian Reduktif Mangan. Persen ekstraksi mangan dan persentase keterlarutan logam besi dari proses pelindian reduktif mangan dengan molases dan perhitungan selektifitas pelindian dengan kondisi percobaan dilakukan pada suhu $80^{\circ}C$, persen solid 10% selama 6 jam disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan selektifitas pelindian mangan dengan variasi konsentrasi asam sulfat

No	Kondisi pelindian	Waktu (menit)	Persen ekstraksi mangan (%)	Persen keterlarutan besi (%)	Selektifitas pelindian
1.	H ₂ SO ₄ : 4%	15	53,84	24,91	0,68
	Suhu : 80 ⁰ C	30	57,55	23,14	0,71
	Persen solid : 10%	60	62,41	19,63	0,76
	Kecepatan pengadukan : 200 rpm	120	66,15	21,13	0,76
		240	81,44	19,50	0,81
		360	86,85	20,75	0,81
2.	H ₂ SO ₄ : 6%	15	73,33	26,96	0,73
	Suhu : 80 ⁰ C	30	78,33	28,61	0,73
	Persen solid : 10%	60	83,98	31,95	0,72
	Molases : 100 g/l	120	88,26	25,69	0,77
	Kecepatan pengadukan : 200 rpm	240	92,31	26,00	0,78
		360	94,88	30,79	0,75
3.	H ₂ SO ₄ : 8%	15	76,82	31,24	0,71
	Suhu : 80 ⁰ C	30	84,31	36,08	0,70
	Persen solid : 10%	60	87,17	37,67	0,70
	Molases : 100 g/l	120	88,07	39,33	0,69
	Kecepatan pengadukan : 200 rpm	240	88,87	54,92	0,62
		360	92,61	61,09	0,60
4.	H ₂ SO ₄ : 10%	15	84,10	50,21	0,63
	Suhu : 80 ⁰ C	30	84,56	39,00	0,68
	Persen solid : 10%	60	82,04	40,67	0,67
	Molases : 100 g/l	120	85,40	54,66	0,61
	Kecepatan pengadukan : 200 rpm	240	85,01	69,43	0,55
		360	86,43	70,55	0,55

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 2 tersebut terlihat bahwa rata-rata selektifitas pelindian mangan terhadap logam besi relatif tinggi yaitu hampir diatas lima puluh persennya. Ketika asam sulfat dinaikkan konsentrasinya maka keterlarutan besi menjadi semakin besar meskipun logam Mn yang larut relatif jauh lebih besar. Artinya asam sulfat merupakan reagen yang cukup selektif untuk digunakan sebagai reagen pelindian dengan menggunakan molases sebagai reduktornya.

Pengaruh suhu terhadap selektifitas pelindian reduktif mangan. Persen ekstraksi mangan dan keterlarutan logam besi serta perhitungan selektifitas pelindian mangan terhadap logam besi pada percobaan pelindian bijih mangan dengan reduktor molases untuk mempelajari pengaruh suhu terhadap persen ekstraksi mangan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persen ekstraksi mangan, persen keterlarutan besi dan perhitungan selektifitas pada pelindian bijih mangan dengan reduktor molases pada berbagai variasi suhu

No	Kondisi pelindian	Waktu (menit)	Persen ekstraksi mangan (%)	Persen keterlarutan besi (%)	Selektifitas pelindian
1.	H ₂ SO ₄ : 6%	15	14,00	25,00	0,36
	Suhu : 50 ⁰ C	30	19,43	24,09	0,45
	Persen solid : 10%	60	29,86	24,39	0,55
	Kecepatan pengadukan : 200 rpm	120	50,16	25,18	0,67
		240	74,26	27,19	0,73
		360	84,82	28,01	0,75
2.	H ₂ SO ₄ : 6%	15	20,73	29,12	0,42
	Suhu : 60 ⁰ C	30	32,25	34,62	0,48
	Persen solid : 10%	60	50,97	32,08	0,61
	Kecepatan pengadukan : 200 rpm	120	74,48	38,59	0,66
		240	88,74	42,61	0,68

No	Kondisi pelindian	Waktu (menit)	Persen ekstraksi mangan (%)	Persen keterlarutan besi (%)	Selektifitas pelindian
3.	H ₂ SO ₄ : 6% Suhu : 70 ⁰ C Persen solid : 10% Kecepatan pengadukan : 200 rpm	360	93,88	59,30	0,61
		15	38,43	37,72	0,50
		30	65,07	36,03	0,64
		60	79,10	35,29	0,69
		120	88,13	36,80	0,71
		240	94,84	54,03	0,64
4.	H ₂ SO ₄ : 6% Suhu : 80 ⁰ C Persen solid : 10% Kecepatan pengadukan : 200 rpm	360	95,33	41,68	0,70
		15	73,33	26,96	0,73
		30	78,33	28,61	0,73
		60	83,98	31,95	0,72
		120	88,26	25,69	0,77
		240	92,31	26,00	0,78
		360	94,88	30,79	0,75

Selektifitas pelindian merupakan salah satu parameter keefektifan suatu reagen yang dipakai dalam pelindian. Dalam pelindian bijih mangan dengan variasi suhu terlihat bahwa rata-rata keterlarutan besi menjadi lebih tinggi bila suhu di naikan. Pada suhu 80⁰C selektifitas pelindian mangan terhadap besi memiliki angka yang tinggi yaitu 0,78. Idealnya selektifitas pelindian yang paling baik adalah mendekati satu yang artinya logam berharga yang diinginkan terambil semua sedangkan logam lain yang tidak diinginkan tetap berada dalam residu.

Pengaruh Persen Solid Terhadap Selektifitas Pelindian reduktif Mangan. Persen ekstraksi mangan, keterlarutan logam besi serta hasil perhitungan selektifitas pelindian mangan terhadap besi pada percobaan pelindian bijih mangan dengan reduktor molases untuk mempelajari pengaruh persen solid pelindian terhadap persen ekstraksi mangan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persen ekstraksi mangan dan persen keterlarutan besi pada pelindian bijih mangan dengan reduktor molases pada berbagai variasi persen solid

No	Kondisi pelindian	Waktu (menit)	Persen ekstraksi mangan (%)	Persen keterlarutan besi (%)	Selektifitas pelindian
1.	H ₂ SO ₄ : 6% Suhu : 80 ⁰ C Persen solid : 5% Molases : 100 g/l Kecepatan pengadukan : 200 rpm	15	20,84	52,78	0,28
		30	29,92	50,22	0,37
		60	39,71	54,34	0,42
		120	42,01	45,30	0,48
		240	41,06	47,85	0,46
		360	44,52	51,63	0,46
2.	H ₂ SO ₄ : 6% Suhu : 80 ⁰ C Persen solid : 10% Molases : 100 g/l Kecepatan pengadukan : 200 rpm	15	73,33	37,72	0,66
		30	78,33	36,03	0,68
		60	83,98	35,29	0,70
		120	88,26	36,80	0,71
		240	92,31	54,03	0,63
		360	94,88	41,68	0,69
3.	H ₂ SO ₄ : 6% Suhu : 80 ⁰ C Persen solid : 20% Molases : 100 g/l Kecepatan pengadukan : 200 rpm	15	56,91	47,42	0,55
		30	75,21	59,22	0,56
		60	79,95	67,55	0,54
		120	82,30	54,64	0,60
		240	87,12	53,48	0,62
		360	84,55	59,19	0,59

Pada menit-menit awal besi yang terlarut meningkat hingga hampir 70% yaitu pada persen solid 20%, namun dengan semakin lama pelindian hingga menit ke 360 keterlarutan Fe cenderung menurun yaitu pada angka persen ekstraksi 59,19%. Hal ini disebabkan karena larutan asam menjadi

jenuh sehingga kemungkinan besi yang tadinya terlarut menjadi terlepas dan sebagian mengendap. Untuk persen solid 5 % selektifitas pelindian mangan tidak cukup baik karena besi yang terlarut lebih banyak bila dibandingkan dengan logam mangan yang terekstraksi. Namun ketika persen solid dinaikkan Mn yang terekstraksi mencapai 945 dengan keterlarutan besi sekitar 50%. Besi memang mudah larut dalam larutan asam sehingga pada tahap selanjutnya *pregnant solution* yang dihasilkan harus dilakukan pemurnian supaya logam yang dianggap pengotor seperti besi sudah tidak terdeteksi di dalam larutan yang kaya akan logam Mn.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan selektifitas pelindian mangan terhadap besi dalam pelindian reduktif bijih mangan dengan menggunakan asam sulfat sebagai reagen pelindi dapat disimpulkan bahwa asam sulfat cukup efektif dijadikan reagen pelindi karena memiliki selektifitas yang tinggi yaitu 0,78 dengan kondisi operasional berupa asam sulfat yang digunakan 6%, suhu pelindian 80°C dan persen solid 10%. Dalam kondisi ini mangan yang dapat diekstraksi mencapai 92,31%.

DAFTAR PUSTAKA

- Svere,E, Olsen, Tangstad M, 2007, Production of Manganese Ferro Alloys, Tapir Academic Press
[Http://www.manganese.org/production/php](http://www.manganese.org/production/php)
- Habasi, fathi, 1997, Handbook Of Extractive Metallurgy, Volume IV, Wiley-VCH, Canada.
- Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 07 tahun 2012 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral melalui kegiatan Pengolahan Dan Pemurnian Mineral
- Yucel Onauraip and Emir Ari M, 2001, Carbothermic Smelting of Tavas Manganese Ore Turkey, Vol.20, No 5-6
- Zhang W, Cheng,C,Y, 2007, Manganese metallurgy review. Part I: Leaching of Ores/Secondary materials and recovery of electrolytic/Chemical Dioxide, Hydrometallurgy 89, pp 137-159
- Das,S,C., Sahoo P,K, 1982, Extraction of Manganese from Low Grade Ores by Ferrous Sulfat Leaching, Hydrometallurgy 8(I), pp. 35-47
- Petric,L,M, 1995, Molecular Interpretation for SO₂ Dissolution Kinetics of Pyrolusite, Manganit and Hematite, Applied geochemistry 10(3), pp 253-267
- Pagnanelli, F, Furlani, G, valentini, P, Veglio F, Toro,L, 2004, Leaching of Low Grade Manganese Ores Using Nitric Acid and Glucose: Optimization of the Opretaing Conditions, Hydrometallurgy 75, pp 157-167

ANALISIS GEOKIMIA MINERAL LOGAM DARI *STREAM SEDIMENT* DAN BATUAN ALTERASI DAERAH WONOTIRTO DAN SEKITARNYA, KECAMATAN WONOTIRTO, KABUPATEN BLITAR PROPINSI JAWA TIMUR

Ferdinandus Wunda¹ dan Miftahussalam²

^{1,2}Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta
¹ferdinanduswunda@gmail.com, ²miftah_akprind@yahoo.co.id

ABSTRACT

The purpose of the research for study facilities to use geology science, usefull for the orther researchers need information about melats minerals, give an information for the government about geology resource, disaster of geology and minerals and the last was to determine the geochemistry base metal distribution of stream sediment samples and altered rock samples around Wonotirto area, Wonotirto Subdistrict, Blitar Regency, East Java Province. The method used in the research of this paper is a surface geological mapping, petrography analysis, micropaleontology analysis, and laboratory analysis (atomic absorption spectometry) of the samples from 7 diffirent areas about the elements of base metal (copper, gold, silver, iron, pyrite, and zinc). Stratigraphy of the research area is divided into 7 unofficial lithostratigraphy units from the oldest to the youngest, which are: altered tuff unit, pumiceous tuff unit, altered andesite breccia unit, diorite intrusion unit, layered limestone unit, reef limestone unit, and unit of alluvial deposits. Five samples of stream sediment and 2 rock samples which metal mineral were analyzed using the method of atomic absorption spectometry (AAS) for the elements of base metal Cu, Au, Ag, Fe, FeS₂, and Zn. The results of the geochemical analysis shows that the content of Iron (Fe) mineral is the highest (7,4 %) and Zinc (Zn) mineral (134,87 ppm).

Keywords: *geochemistry, mineral, stream sediment, Atomic Absorption Spectometry (AAS)*

PENDAHULUAN

Daerah penelitian secara administrasi terletak di daerah Wonotirto, Kecamatan Wonotirto, Kabupaten Blitar, Propinsi Jawa Timur dan secara astronomis terletak pada kordinat 08° 11' 00" LS – 08° 16' 00" LS dan 112° 08' 30" BT - 112° 13' 30" BT (meridian 0° dari *Greenwich*) dengan luas daerah penelitian 81 km² (9 km x 9 km), termasuk dalam Lembar Lodojo 16/45 1507-632 dan Lembar Tambakrejo 4/45 1507-614, dengan skala 1 : 25.000 (Bakosurtanal, 1999) dan interval kontur 12,5 m. Daerah tersebut merupakan salah satu daerah yang sangat menarik untuk diteliti, karena memiliki keanekaragaman litologi, morfologi, maupun struktur geologi. Hal ini dapat diketahui dari interpretasi peta geologi regional yang telah dibuat dan diterbitkan oleh peneliti terdahulu (Sjarifudin dan Hamidi, 1992), dan penelitian langsung ke lokasi yang telah dilakukan. Litologi penyusun utama stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi 7 satuan litostratigrafi tidak resmi dari yang tertua ke yang termuda yaitu: satuan tuf teralterasi, satuan tuf berbatuapung, satuan breksi andesit teralterasi (dengan kandungan mineral logam), satuan intrusi diorit, satuan batugamping berlapis, satuan batugamping terumbu, dan endapan aluvial.

Tujuan penelitian adalah sebagai sarana penunjang pembelajaran dalam menerapkan ilmu geologi, dapat berguna sebagai bahan informasi bagi peneliti lain yang memerlukan informasi mengenai geokimia mineral logam daerah Wonotirto, dan untuk mengetahui persebaran mineral ekonomi yaitu mineral logam (peta persebaran mineral logam dasar), diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi pihak pengambilan keputusan, dalam hal ini adalah Pemerintah Daerah setempat untuk menentukan kebijakan yang berkaitan dengan sumber daya geologi, bahaya geologi serta kemungkinan identifikasi bahan galian lain yang terdapat di dalamnya.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam pemetaan geologi daerah penelitian adalah metode pemetaan geologi langsung di lapangan pada kenampakan dan kondisi geologi yang tersingkap di permukaan. Metode pengelompokan lapisan-lapisan batuan hasil pemetaan geologi di daerah penelitian dilakukan berdasarkan ciri litologi yang dominan, yang dapat dikenali di lapangan dengan sistem penamaan satuan batuan tidak resmi. Dalam melakukan pengamatan secara langsung di lapangan, arah lintasan diusahakan sedapat mungkin tegak lurus dengan arah jurus perlapisan batuan.

Sedangkan untuk pengambilan contoh batuan, dilakukan pada singkapan batuan yang segar dan dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan, dan untuk memperkuat data hasil pemetaan geologi harus didukung dengan studi pustaka terdahulu, analisis megaskopis dan analisis di laboratorium.

Tahap penelitian yang dilakukan untuk pemetaan geologi, dibagi menjadi 5 tahap yaitu: tahap persiapan dan pendahuluan, tahap penelitian lapangan, tahap pengolahan data dan analisis laboratorium dan studio, serta tahap pembuatan laporan. Tahap persiapan dan pendahuluan merupakan tahap paling awal untuk melakukan suatu penelitian (pemetaan). Pada tahap ini dilakukan studi pustaka atau studi literatur, survei lapangan (*recognize*), dan mengurus surat izin penelitian pada pihak terkait.

Tahap penelitian lapangan dibagi menjadi yaitu: 1) Perencanaan lintasan dan pengamatan geologi, dilakukan saat survei tinjau dan sambil mencari data berupa litologi, struktur geologi, geomorfologi, geologi ekonomi, dan geologi lingkungan, sehingga nanti lebih mudah untuk melakukan penelitian lanjut. Tujuan lain dari survei tinjau adalah untuk mengenal daerah penelitian. Untuk melakukan lintasan pengamatan dapat dilakukan dengan 3 macam lintasan yaitu: lintasan terbuka, lintasan tertutup, dan lintasan kombinasi, tergantung kondisi medan di lapangan yang akan dilalui. Lintasan dilakukan melalui jalur jalan yang telah ada atau melalui jalur sungai, sebaiknya melalui jalur sungai karena sepanjang jalur sungai kita akan lebih mudah menjumpai litologi yang lapisan penutupnya berupa *soil* telah terkikis oleh air. Tahap ini disertai dengan mencari dan mengplotkan jalur yang akan dilakukan untuk stratigrafi terukur; 2) Pemetaan detail, dilakukan pemetaan secara detail dan teliti untuk mengumpulkan semua data geologi yang dijumpai pada lokasi pengamatan, dan mengplot lokasi pada peta topografi dan pada GPS, disertai pengambilan contoh litologi, paleontologi, dan lain-lain yang akan dianalisis di laboratorium sesuai kebutuhan, pengambilan sketsa atau gambar (foto) dari kenampakan litologi yang tersingkap, bentang alam, bahan galian dan geologi lingkungan.

Tahap pengolahan data dan analisis laboratorium dan studio ini dilakukan beberapa pekerjaan untuk menyelesaikan rangkaian dari penelitian ini, antara lain: 1) Pembuatan peta. Dari data lapangan yang diperoleh seperti data litologi, struktur geologi, geomorfologi, kontak dan hubungan satuan batuan, dan geologi lingkungan. Dari data tersebut nantinya dibuat peta tematik daerah penelitian yaitu berupa: peta lintasan dan lokasi pengamatan, peta geologi, peta geomorfologi, serta peta persebaran mineral logam (peta studi kasus). Dari hasil penelitian dengan mengplot data pada setiap lintasan pengamatan Setelah dibuat peta lintasan pengamatan, selanjutnya dari peta tersebut dibuat interpolasi antara batas satuan batuan dengan menghubungkan setiap titik. Selain untuk peta geologi, juga dibuat pada peta geomorfologi berdasarkan data analitik dan sintetik yang nantinya digabung dan membuat batas satuan geomorfik berdasarkan data yang diperoleh dari lokasi penelitian; 2) Analisis laboratorium. Setelah tahap penelitian lapangan selesai, dilakukan analisis petrografi dari *sample* batuan untuk mendapatkan gambaran dari komposisi mineral-mineral penyusun batuan yang terdapat di daerah penelitian. Hasil analisis petrografi (sayatan tipis) ini dipakai sebagai data pendukung dalam menentukan nama batuan dan petrogenesanya. *Sample* batugamping berlapis dipreparasi dilakukan di Laboratorium Sumberdaya Mineral, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, untuk menganalisis mikropaleontologi, dengan tujuan untuk menentukan umur dan lingkungan bathymetri dari batugamping tersebut. *Sample* batuan dan pasir sungai yang diperoleh dari lapangan, kemudian di analisis untuk mengetahui persentase dari komposisi mineral logam yang bernilai ekonomi pada lokasi penelitian. *Sample* ini dilakukan analisis geokimia *Atomotic Absorbtion Spectrometri Logametri* (AAS), di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada; 3) Penyusunan laporan. Penyusunan laporan ini berdasarkan atas data yang diperoleh dari lokasi penelitian, dan data dari hasil analisis di laboratorium. Laporan tersebut dilengkapi dengan peta lintasan dan lokasi pengamatan, peta geologi, peta geomorfologi, peta geokimia persebaran unsur, dan disertai dengan hasil pembahasan studi khusus dari lokasi penelitian.

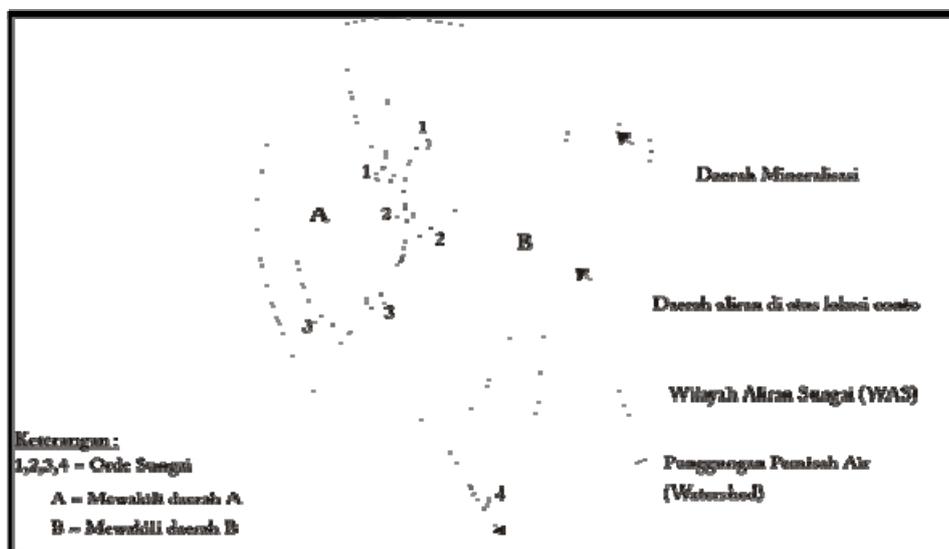
PEMBAHASAN

Geokimia adalah ilmu yang mempelajari keberadaan berbagai jenis unsur serta sebarannya, penggunaan geokimia sebagai metode yang telah berkembang dengan pesat sangatlah tepat karena geokimia merupakan suatu cabang ilmu kimia yang mempelajari kelimpahan (*abundance*), sebaran (*distribution*) dan perpindahan atau migrasi (*migration*) dari unsur-unsur bijih atau yang berhubungan dengan bijih dengan tujuan mendeteksi endapan bijih. Eksplorasi mineral makin lama makin sulit,

mahal, dan kompetitif, maka eksplorasi perlu dilakukan seefisien mungkin, dengan biaya yang betul-betul efektif. Tiap eksplorasi geokimia umumnya terdiri dari tiga komponen, yaitu pengambilan conto (*sampling*), analisis conto (analisis *sample*), dan interpretasi. Ketiganya merupakan fungsi bebas yang saling terkait. Kegagalan pada tahap yang satu akan mempengaruhi tahap berikutnya.

Dalam tahapan penyelidikan geokimia ada beberapa tahapan kerja yang dilakukan yaitu: 1) tahap persiapan; 2) tahap pekerjaan lapangan; 3) tahap analisis data dan pekerjaan laboratorium; 4) tahap penyusunan laporan. Pada tahap persiapan, persiapan dilakukan untuk melancarkan kegiatan di lapangan antara lain: membuat usulan penelitian, pengumpulan data sekunder, buku literatur dan diktat kuliah, menyusun rencana kerja, membuat perijinan, dan pengadaan peralatan lapangan.

Pada tahap pekerjaan lapangan, ada beberapa metode penelitian yang dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Metode yang peneliti gunakan antara lain: *sampling* geokimia. Metode penyelidikan *sampling* geokimia (*geochemical sampling*) adalah pengambilan conto endapan sungai berupa pengumpulan *sample* pasir, *gravel* serta lempung di sungai dan anak-anak sungainya. Pengambilan *sample stream sediment* umumnya merupakan tahap pertama dalam eksplorasi mineral dan biasanya digunakan pada daerah yang sangat luas. Karena selain akurat juga cepat pelaksanaannya. Tempat-tempat pengambilan *sample* ditentukan di dalam masing-masing sistem sungai yang mana di daerah tersebut terdapat gejala mineralisasi. Endapan sungai dan batuan merupakan media conto yang dipilih untuk penyelidikan geokimia. Conto jenis ini merupakan conto komponen mewakili sebagian atau seluruh daerah aliran yang ada di bagian hulu conto (Levinsin, 1974 dalam Soepriadi, 2003) (Gambar 1). Luas daerah aliran yang diwakilinya tergantung pada dimana conto tersebut diambil. Jumlah atau kerapatan conto ditentukan oleh tujuan atau metode penyelidikan yang dilakukan (Saigusa, 1975 dalam Soepriadi, 2003) mengatakan bahwa untuk daerah seluas 10.000 km² kerapatan conto yang baik adalah satu conto untuk setiap kilometer persegi. Akan tetapi batasan yang tegas yang memberikan berapa kerapatan sebenarnya belum ada. Tabel 1 menunjukkan kerapatan conto berbeda di berbagai daerah atau negara. Kerapatan conto biasanya lebih besar lagi diambil dari sungai orde 1,2 dan paling besar dari orde 3



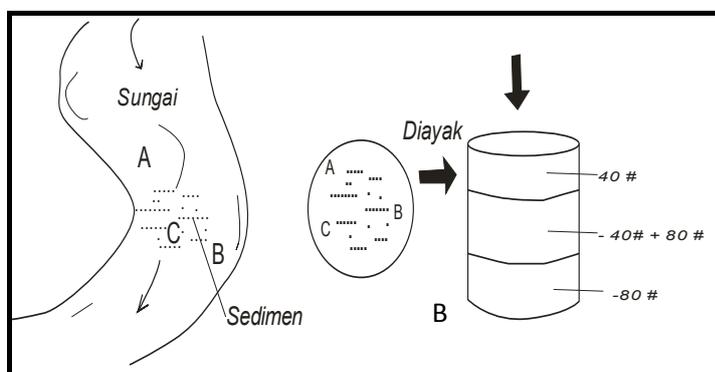
Gambar 1. Letak penyontohan sedimen sungai aktif dan orde sungai (Levinsin, 1974 dalam Soepriadi, 2003)

Contoh endapan sungai diambil dari endapan sungai yang diambil secara acak pada daerah penelitian yang ditentukan dari sistem daerah aliran sungai (DAS), dan memperoleh material basah yang disaring dengan menggunakan ayakan berukuran 40# dan 80# mesh (*Testing Sieve*) mencapai berat kurang lebih 500 gram setiap ayakan (Gambar 2). Tidak lupa juga dilakukan pencatatan keadaan fisik sungai yaitu, lebar sungai, kedalaman, komposisi material sedimen yang ada, pH air, dan cadangan endapan sedimen. Sedangkan untuk pengambilan conto batuan, dilakukan pada singkapan batuan yang tersingkap dan yang memiliki indikasi adanya kandungan mineral logam.

Tabel 1. Regional kerapatan conto endapan sungai dalam penyelidikan geokimia
(Saigusa,1975 dalam Soepriadi, 2003)

Daerah Penyelidikan	Kerapatan Contoh	Nama Penyelidikan	Tahun
Sierra Leone	1 contoh/180 km ²	Garrer dan Nichol	1967
Zambia	1 contoh/75 km ²	Armour-Brown dan Nichol	1970
Kanada	1 contoh/13 km ²	Hornbrook dan Garret	1976
Uganda	1 contoh/260km ²	Geol. Survey Uganda	1973
Irlandia Utara (*)	1 contoh/2,8 km ²	Webb, dkk	1973
Amerika Utara	1 contoh/13 km ²	US Geol. Survey	1975
Inggris dan Wales (*)	1 contoh/2,8km ²	Webb, dkk	1978
Amerika Utara	1 contoh/13 km ²	US Geol. Survey	1975
Alaska Utara	1 contoh/25 km ²	US. Geol. Survey Alaska Stephensen, dkk	1975
Indonesia	1 contoh/100 km ²	(Kerjasama IGS-DSDM)	1982

Keterangan : (*) Acuan kerapatan *sampling* yang digunakan oleh penulis.



Gambar 2. Conto endapan sungai aktif diayak menggunakan ukuran 40# dan 80#
(Partoyo dkk, 2013)

Conto pasir masing-masing 40# dan 80# mesh, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dengan berat 0,5 kg, kemudian conto yang diberi label, kode daerah, dan kode peneliti. *Sample* yang sudah ada, kemudian dipilah dan dirapuhkan pada kotak yang telah disediakan, agar memudahkan untuk penganalisisan geokimia (Partoyo dkk, 2013).

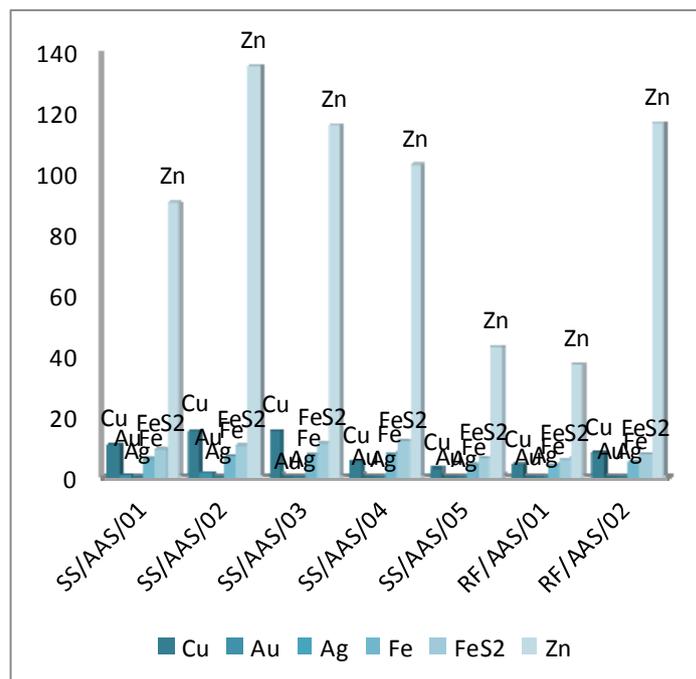
Pada tahap analisis data dan pekerjaan laboratorium, pengolahan data geokimia ditujukan untuk mengetahui beberapa nilai anomali dan bagaimana pola sebaran serta kaitannya dengan suatu kondisi geologi tertentu, seperti jenis batuan, struktur geologi, atau indikasi mineralisasi. Analisis geokimia bertujuan untuk menentukan mineral lain yang tidak dapat dianalisis secara megaskopis maupun mikroskopis. Metode yang dipakai dalam analisis geokimia yaitu metode *Atomic Absorbtion Spectrometri* (AAS). Metode ini digunakan untuk menganalisis unsur utama (*major elemen*), dengan cara sebagai berikut. Conto endapan sungai pengayakan antara 80-200 mesh dikeringkan dengan oven pada temperatur 100⁰C (kurang lebih 1 jam) kemudian dihaluskan dengan mesin prep (RM 2000/LM2000). *Sample* ditimbang kurang lebih 0.25 gr kemudian masukan kedalam tabung penguji (*test tube*) ukuran 24x150 ml. Tambahkan 2 ml HClO₄ dan panaskan pada plat panas pada T=180⁰C selama 30 menit kemudian dinginkan kurang lebih 5 menit setelah itu tambahkan 5ml (HCL 50% + H₂O 50%) lalu panaskan lagi pada plat panas pada T=140⁰C selama 10 menit, didinginkan kembali kurang lebih 5 menit dan tambahkan H₂O 3,3ml lalu masukan ke dalam mesin AAS (Anonim, 2013). Hasil analisis kandungan kimia akan direkam dalam seperangkat komputer dan kadar kandungan mineral atau unsur dinyatakan dalam ppm atau persen (%).

Untuk menganalisis kandungan unsur mineral logam pada conto endapan sungai aktif dan batuan yang terdapat pada daerah penelitian, telah dipilih 7 (tujuh) titik lokasi pengambilan *sample*,

yaitu dengan rincian 5 (lima) lokasi pengambilan *sample stream sediment* dan 2 (dua) lokasi pengambilan *sample* batuan alterasi. Analisis conto ini meliputi analisis conto endapan sungai (*stream sediment*) dan batuan dengan catatan bahwa unsur-unsur logam dasar (*base metal*) Cu, Au, Ag, Fe, FeS₂, dan Zn yang mempunyai nilai di bawah batas pendeteksian dari hasil analisis kimia dianggap nol, kecuali untuk logam Au pada conto endapan sungai (*stream sediment*) juga batuan, penulis menaruh batas minimum 0,05 ppm, dan untuk unsur Ag penulis menaruh batas minimum 0,01. Berikut ini akan diuraikan satu persatu analisis conto endapan sungai (*stream sediment*) dan batuan dengan menggunakan metoda *Atomic Absorbtion Spectrometri* (AAS). Dari conto endapan sungai (*stream sediment*) dan batuan, penulis akan menampilkan hasil analisis kimia (*base metal*) Cu, Au, Ag, Fe, FeS₂, dan Zn yang ada di daerah penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 2. Penyebaran kandungan unsur Cu, Au, Ag, Fe, FeS₂, dan Zn, dari ke 7 *sample*

Kode <i>sample</i>	Koordinat (<i>South dan East</i>)	Cu (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Fe (%)	FeS ₂ (%)	Zn (ppm)
SS/AAS/01	08 ^o 14'50"; 112 ^o 08'39"	10,56	0,77	<0,01	5,70	8,96	90,05
SS/AAS/02	08 ^o 14'37"; 112 ^o 09'44"	15,40	1,63	<0,01	6,58	10,34	134,87
SS/AAS/03	08 ^o 13'30,2"; 112 ^o 09'52,3"	15,29	<0,05	<0,01	6,98	10,97	115,44
SS/AAS/04	08 ^o 14'18,3"; 112 ^o 10'22,7"	4,91	<0,05	<0,01	7,48	11,75	102,40
SS/AAS/05	08 ^o 13'42,11"; 112 ^o 10'48,2"	2,81	<0,05	<0,01	3,83	6,02	42,71
RF/AAS/01	08 ^o 13'52,5"; 112 ^o 11'9,6"	3,80	<0,05	<0,01	3,58	5,63	36,73
RF/AAS/02	08 ^o 14'51"; 112 ^o 11'18"	7,79	<0,05	<0,01	4,74	7,45	116,04



Gambar 3. Histogram kadar unsur mineral logam dari 7 conto endapan sungai dan batuan

Dari hasil analisis 6 unsur mineral logam pada 5 *sample stream sediment* atau endapan sungai, dan 2 *sample* batuan dengan lokasi yang berbeda, menunjukkan kandungan mineral logam yang kehadirannya paling tinggi adalah mineral besi (Fe) dan seng (Zn). Dari ke-7 *sample* yang telah dilakukan analisis kandungan mineral logam, membuktikan bahwa pada endapan sungai aktif menunjukkan nilai kandungan mineral logam yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan

kandungan mineral logam pada batuan induknya. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah penelitian proses erosi, transportasi, dan pemilahan dari material *stream sediment* cukup berkembang dengan baik.

KESIMPULAN

Dari hasil pengambilan data, pengamatan langsung di lapangan, pengolahan data, dan analisis studio maupun laboratorium yang dilandasi konsep geologi tertentu, maka penulis dapat menyimpulkan bahwa keadaan geologi daerah penelitian, yaitu Daerah Wonotirto dan sekitarnya, Kecamatan Wonotirto, Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Timur, dari 5 conto endapan sungai (*stream sediment*) dan 2 conto batuan, yang dianalisis kandungan mineral logam menggunakan metoda *Atomic Absorption Spectrometri* (AAS), yang dinyatakan dalam ppm dan persen (%). Kandungan unsur tembaga (Cu) yang paling tinggi pada *sample* 02 sebesar 15,40 ppm, emas (Au) yang paling tinggi pada *sample* 02 sebesar 1,63 ppm, kandungan perak (Ag) persebarannya merata dari setiap *sample* yaitu sebesar 0,1 ppm, besi (Fe) terbesar pada *sample* 04 sebesar 7,48%, mineral pirit (FeS₂) paling banyak pada *sample* 04 sebesar 11,75%, dan kandungan mineral zinc (Zn) tertinggi pada *sample* 02 sebesar 134,87 ppm.

Dari ke-7 lokasi pengambilan *sample stream sediment* dan *sample* batuan yang berbeda dan diperoleh hasil persebaran unsur logam, merupakan kandungan mineral logam yang bernilai ekonomi relatif tinggi dan kandungan mineral logam yang kehadirannya paling tinggi adalah mineral besi (Fe) dan mineral seng (Zn), dan dari ke-7 *sample* yang telah dilakukan analisis kandungan mineral logam, membuktikan bahwa pada endapan sungai aktif menunjukkan nilai kandungan mineral logam yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan mineral logam dari batuan induknya. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah penelitian proses erosi, transportasi, dan pemilahan dari material *stream sedimen* cukup berkembang dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2013. Proses analisis atomic absorption spectrometri (AAS), Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Bakosurtanal, 1999, Peta Rupa Bumi Digital Indonesia Lembar: 1507-632 Lodoyo dan Lembar 1507-614 Tambakrejo Skala 1:25.000, Bogor.
- Partoyo. E, dkk, 2013, Standard Operasional procedure (S.O.P) Kegiatan Pemetaan Geokimia, Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung. (tidak diterbitkan)
- Sjarifudin dan Hamidi, 1992, Peta Geologi Lembar Blitar skala 1 : 100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Soepriadi, 2003. Geologi dan Geokimia Mineral Logam Endapan Sungai Aktif, Kecamatan Bojong Picung, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat. Jatinangor. (Tidak diterbitkan)

KARAKTERISTIK SIFAT FISIK KEMBANG SUSUT LUMPUR SIDOARJO DAN IMPLIKASINYA TERHADAP POTENSI BENCANA AMBLESAN BERIKUT MITIGASINYA DI KECAMATAN PORONG DAN SEKITARNYA, KABUPATEN SIDOARJO, PROPINSI JAWA TIMUR

Arie Noor Rakhman¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta
e-mail: arie_rakhman@akprind.com

ABSTRACT

This research aims to know the characteristic properties of expansive mud soil in Sidoarjo which is following potential implications for the risk of subsidence-prone. Research sites in Porong, Sidoarjo, East Java Province. Utilization of research results for the public to be responsive the potential of subsidence disaster. The method used is the analysis of mud samples as disturbed samples which is done in the field and in the laboratory. Data collected include physical properties, index properties and mineral constituent. In addition, the data of geological conditions and inundated as the controller. The data is useful for analyzing the potential of subsidence problems following recommendations for treatment. Mud bursts is a cohesive clays that have a high plasticity. The clay has properties which swells along with the addition of saturated properties of water. The unit weight of clay soil increases ranged between 14.52% and 18.66%. Swell-shrinkage properties of mud is controlled by clay minerals that it dominated by smectite minerals (montmorillonite). Properties of saturated water in the field is influenced by the overflow of rainwater and groundwater that comes out along with the mud from the subsurface. The internally cause of subsidence by increasing the vertical load due to the weight increase when clay loam in water saturated conditions. External factors that cause subsidence potential is the presence of a weak zone. The weak zone in the form of subsurface geological structures controlled by the presence of fractures, faults and carbonate rocks. Carbonate rocks are susceptible to dissolution. Treatment recommendations for disaster mitigation of subsidence can be wary, supervise and make good surface drainage engineering in the spillway when it rains, especially in the northern pond.

Keywords: characteristic properties, mud, clay, subsidence, mitigation

PENDAHULUAN

Semburan lumpur di Kecamatan Porong dan sekitarnya, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur tergolong besar. Sejak awal semburan lumpur pada tanggal 29 Mei 2006 di lokasi pengeboran Lapindo Brantas Inc di Dusun Balongnongo Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo dalam kurun waktu satu tahun telah menggenangi daerah di wilayah Kecamatan Porong, Kecamatan Tanggulangin dan Kecamatan Jabon, kurang lebih mencapai seluas 5 km² (Sudarsono dan Sujarwo, 2008B). Lumpur berbahaya ini telah menyebabkan ribuan orang mengungsi dan menyebabkan kerugian ekonomi mencapai 4 miliar dollar AS atau Rp 47,9 triliun (Kompas, 17 Desember 2013). Semburan lumpur ini telah menggenangi kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian di tiga kecamatan di sekitarnya, serta mempengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur.

Lumpur tersebut tersusun dari kerikil, pasir, lanau serta lempung plastis dan air. Material tersebut berasal dari batuan fasies lempung Formasi Pucangan atau Formasi Lidah berumur Plistosen dari kedalaman 750 hingga 1900 meter (Sudarsono dan Sujarwo, 2008B). Menurut Ibrahim, dkk. (2010), lumpur atau *mud vulcano* tersebut yang terbentuk sejak jutaan tahun lalu (5 juta tahun) tersebut dapat menyembur ke permukaan hingga kini dikarenakan tekanan tektonik. Lumpur di Porong tersebut merupakan bagian dari Blok Brantas berada pada jalur *active mud volcano* yang membentang dari Purwodadi, Cepu, Bojonegoro hingga Porong. Selain di Porong, fenomena gunung lumpur juga didapati di Sangiran, Kuwu Purwodadi, Tuban, Koneng, Bangkalan, Gunung Anyar di Rungkut Surabaya, Gedangan Sidoarjo, Banjarpanji fase erupsi besar, sebelah utara Probolinggo, sebelah utara Bali sampai sebelah utara Lombok (NTB). Tiga lokasi terakhir ini semuanya di bawah permukaan laut. Menurut Kadar dkk. (2007) dalam Anonim (Agustus, 2013), keberadaan fenomena semburan lumpur merupakan bagian dari gunung lumpur yang sebarannya membentuk suatu kelurusan. Kelurusan gunung-gunung lumpur diperkirakan dikontrol oleh keberadaan Sesar

Watakosek yang terindikasi dengan adanya gawir sesar di Desa Watakosek dan rembesan minyak di Desa Carat. Gugusan gunung-gunung lumpur mulai dari Kalang Anyar, Pulungan, dan Gunung Anyar (masih aktif) yang terdapat di sekitar bandara Juanda, Waru, Sidoarjo. Struktur ini berliniasi menerus ke arah timur laut melewati Selat Madura sampai ke Bangkalan, Pulau Madura dengan ditemukannya gunung lumpur Geger.

Berdasarkan informasi implikasi lumpur di sekitar daerah penelitian menunjukkan bahwa gunung lumpur Kalang Anyar yang terletak di sebelah selatan Bandara Juanda, Waru, Sidoarjo, masih mengeluarkan lumpur, air, gas dalam volume kecil (Zaennudin, dkk., 2010 dalam Anonim, Agustus 2013). Endapan yang dihasilkan mencapai jarak beradius 500 m dari titik pusat, dengan ketebalan lebih dari 5 m. Hasil penggalian pada endapan tersebut digunakan untuk mengurug lahan pada pembuatan Lapangan Terbang Internasional Bandara Juanda. Selain menghasilkan bentukan pengangkatan (*uplift*) berupa naiknya permukaan atau elevasi permukaan tanahnya bertambah, lumpur tersebut di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur berpotensi amblesan (Sudarsono dan Sujarwo (2008A). Amblesan terjadi sebagai akibat besarnya volume semburan lumpur yang dikeluarkan. Sifat semburan lumpur tergolong aktif dan Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) mencatat volume lumpur di dalam kolam penampungan sangat rawan meluber dan dalam kondisi waspada mengingat kondisi tanggul yang ada dapat sewaktu-waktu berpotensi jebol (Kompas, 13 Juli 2013).

Karakteristik sifat kembang susut lumpur dipengaruhi oleh sifat ekspansif dari lempung penyusun lumpur tersebut yang berinteraksi oleh keberadaan air. Oleh karena itu keberadaan potensi amblesan dan pembungungan lumpur ataupun lempung di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur menarik untuk diteliti mengingat sepanjang pengetahuan penulis, hingga kini belum teridentifikasi karakteristik sifat kembang susut lumpur tersebut oleh peran kontrol geologi secara spesifik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ciri dan karakteristik sifat kembang susut lumpur Sidoarjo di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur berikut peran pengaruh kontrol geologinya. Penelitian ini bermanfaat untuk membantu masyarakat di dalam menyikapi dan menghadapi sebagai bagian dari upaya memitigasi potensi bencana amblesan. Sehingga harapan ke depan, penelitian ini dapat bermanfaat memberi arahan rekomendasi akan mitigasi bencana yang ditimbulkan oleh fenomena gunung lumpur di Porong, Sidoarjo, Jawa Timur.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu tahapan studi pustaka, penelitian di lapangan, analisis di laboratorium / studio dan pembuatan laporan. Data yang telah terkumpul kemudian disintesa guna mendapat kesimpulan dan saran. Masing-masing tahap tersebut akan diuraikan sebagai berikut.

Untuk mendapatkan informasi terkini dan data sekunder, penulis melakukan studi pustaka dengan mengeksplorasi data sekunder berupa meninjau publikasi penelitian terdahulu dan kajian teoretik, terutama tentang lumpur Sidoarjo di Kecamatan Porong dan sekitarnya, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur. Data dari peta-peta peneliti terdahulu yang dibutuhkan berupa peta geologi dan peta rupa bumi. Peta geologi dimanfaatkan guna menelaah peran geologi sebagai pengontrol pembentukan dan sebaran lumpur di daerah penelitian. Pemanfaatan peta rupa bumi dilakukan untuk mengetahui luasan dan penggunaan lahan, batas-batas wilayah administrasi, dan jalur transportasi akses pencapaian lokasi penelitian di Kecamatan Porong dan sekitarnya, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur.

Penelitian di lapangan meliputi pengambilan data posisi lokasi, data litologi dan keairan. Sampel tanah berupa lumpur diambil dari lokasi dekat titik keluar semburan lumpur dan tepi luapan lumpur. Pengambilan data karakteristik lumpur meliputi: plotting lokasi pengamatan, identifikasi/pendeskripsian lumpur, pencatatan data geologi serta pengambilan sampel lumpur. Teknik pengambilan sampel mempertimbangkan jenis sampel yaitu sampel terganggu (*disturb sample*). Sampel lumpur ini digunakan untuk pengujian sifat fisik lumpur di laboratorium, meliputi: analisis distribusi butir, kadar air dan berat jenis, serta analisis difraksi sinar X (XRD) guna mengetahui mineral penyusun lumpur tersebut. Penelitian lapangan baik untuk tahapan pengambilan data karakteristik sifat fisik lumpur memerlukan beberapa bahan dan perlengkapan, antara lain: lumpur, sekop, jerigen 10 liter, ember besar, ember kecil, cangkul, plastik sampel, palu geologi, kompas

geologi, lup, meteran, piranti *global positioning system* (GPS), peta pendukung rupa bumi digital, peta geologi, kamera dan perangkat alat tulis catatan lapangan.

Pengambilan sampel lumpur di Porong dilakukan dekat titik semburan lumpur dan tepi kolam luapan lumpur. Sampel jenis tidak terganggu (*undisturb sample*) sulit dilakukan medan tepi kolam yang licin, berair dengan keairan kolam yang dalam dan resiko amblesan lumpur tempat pengambilan sampel. Lokasi pengambilan beberapa sampel lumpur di sekitar lokasi dekat semburan pada posisi koordinat 7°31'53,35" LS 112°42'30,37" BT.

Pada tiap lokasi pengambilan sampel dilakukan pengambilan sampel jenis terganggu (*disturb sample*) hingga kedalaman antara 20 hingga 40 cm dari permukaan lumpur. Di lokasi pengambilan sampel, diamati sifat fisik lumpur, seperti: warna, ukuran butir, sifat liat, vegetasi, kondisi keairan, kadar air, dan komposisi mineral penyusun lumpur. Data hasil pengamatan lainnya juga dilakukan terutama pengamatan kondisi geologi dan lingkungan yang diperkirakan turut mempengaruhi sifat karakteristik lumpur di daerah penelitian.

Penelitian di laboratorium/studio dilakukan guna menganalisis sifat karakteristik lumpur dan mineral penyusun lumpur. Pada analisis sifat karakteristik lumpur seperti: warna, distribusi butir, kadar air dan berat jenis, digunakan peralatan berupa neraca/timbangan jolly, cawan, sendok, komparator skala *wentworth*, lup, air, tabung ukur/erlenmeyer, buku catatan, alat tulis, dan kamera. Analisis sifat karakteristik lumpur dilakukan pada kondisi lumpur tak jenuh (kering/lembab) dan lumpur jenuh (terendam). Untuk analisis mineral, sampel dianalisis menggunakan instrument *X-Ray Diffraction* (XRD).

Data primer sifat fisik lumpur baik dari lapangan maupun analisis laboratorium disertai dengan data sekunder menghasilkan data hasil sintesa. Sintesa data digunakan untuk pendekatan konsep teori geologi berupa pemodelan kondisi geologi pengontrol sifat fisik lumpur, mineral penyusun lumpur dan implikasi dari sifat fisiknya. Atas hasil analisis dan ataupun sintesa data diperoleh kesimpulan yang dapat dirumuskan arahan rekomendasi rekayasa hasil penelitian.

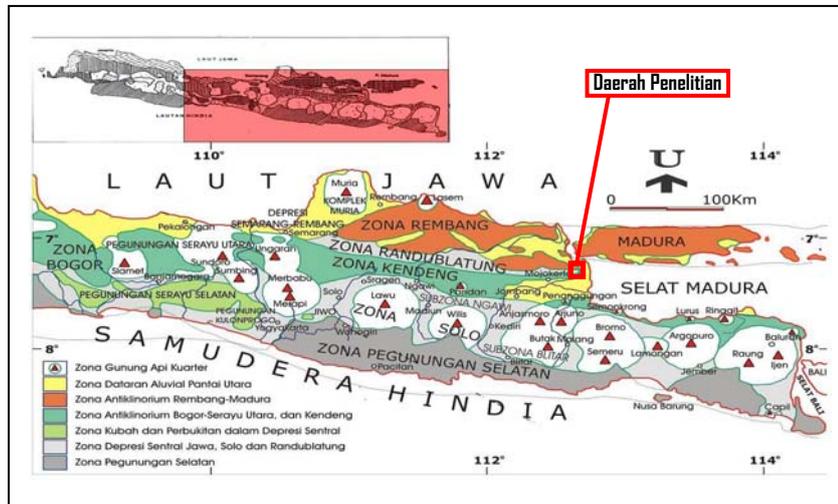
Lokasi penelitian berada di daerah Porong yang secara administrasi sebagian besar merupakan bagian dari wilayah Kecamatan Porong, sebagian kecil bagian dari wilayah Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur. Lokasi penelitian berada kurang lebih 12 kilometer di sebelah selatan pusat Kota Sidoarjo atau berlokasikan 23 kilometer dari Surabaya. Posisi astronomis lokasi penelitian berada pada posisi koordinat 7°30'40,16" LS 112°42'29,77" BT - 7°31'19,39" LS 112°43'45,78" BT dan 7°32'20,70" LS 112°42'17,10" BT - 7°32'20,76" LS 112°43'03,92" BT.

PEMBAHASAN

Morfologi daerah Porong dan sekitarnya merupakan dataran aluvial. Pada arah barat laut dari lokasi penelitian morfologi berupa perbukitan sebagai bagian morfologi Gunung Penanggungan. Menurut Santosa dan Suwanti (1992) dalam Suprpto, dkk. (2007), daerah penelitian merupakan bagian pemetaan geologi regional Lembar Surabaya dan Sapulu serta Lembar Malang dengan litologi penyusun daerah penelitian yaitu endapan aluvial. Beberapa kilometer di selatan Porong merupakan lereng kaki Gunung Penanggungan dan Gunung Arjuna dengan litologi penyusunnya yang didominasi endapan gunungapi Kuartar yang sampai saat ini masih aktif.

Berdasarkan informasi dari penduduk sekitar lokasi penelitian, pada lokasi semburan lumpur juga terdapat semburan gas, dimana keluarnya lumpur ataupun gas tersebut sejak awal semburan pada 29 Mei 2006 telah mengalami beberapa kali perpindahan. Berbagai upaya penutupan lubang semburanpun berakhir sia-sia, bahkan sumber semburan semakin bertambah banyak. Gas yang keluar dapat melalui lantai rumah penduduk di sekitar titik semburan lumpur. Secara fisiografi regional, Porong termasuk ke dalam Zona Randublatung di Jawa Timur sebagai bagian dari pertemuan dua zona yaitu Zona Rembang dan Zona Kendeng (Bemmelen, 1949). Sebagai bagian pertemuan Zona Rembang dan Zona Kendeng, maka secara struktur bawah permukaan Zona Randublatung terindikasikan sebagai zona segitiga (*triangle zone*) yang diapit zona-zona sesar yang mempunyai arah dan kemiringan yang saling berlawanan. Menurut Suprpto, dkk. (2007), Porong berada pada Zona Randublatung yang dikontrol oleh pertemuan Zona Rembang dan Zona Kendeng dimana Zona Rembang merupakan daerah paparan dan *slope* yang dicirikan dengan dominasi sesar naik yang mengarah (*vergency*) ke selatan, sedangkan Zona Kendeng merupakan *slope* dan *bathyal* dengan dominasi sesar naik ke arah utara. Pertemuan tersebut membentuk Zona Randublatung yang berupa zona yang sangat sempit, memanjang dan sangat dalam, berupa *subsided triangle zone* dengan *subthrust structure* di bawah zona sesar naik. Menurut Billings (1954), struktur kekar dapat terbentuk

sebagai struktur penyerta di sepanjang zona sesar naik yang terbentuk. Perpindahan lokasi semburan lumpur dan gas diinterpretasikan melalui zona lemah yang dikontrol oleh keberadaan struktur geologi berupa jalur struktur sesar utama berikut rekahan-rekahan bentukun kekar penyertanya.



Gambar 1. Fisiografi regional daerah penelitian (Bemmelen, 1949). Daerah penelitian merupakan bagian dari Zona Randublatung yang diapit antara Zona Rembang dan Zona Kendeng.

Hasil pengamatan menunjukkan semburan lumpur terlihat masih aktif. Jalur jalan di atas tanggul yang dibangun pada awal semburan di dekat semburan lumpur telah ambles akibat getaran oleh letusan gas saat semburan lumpur terjadi sehingga menghasilkan awan uap panas. Lokasi amblesan di sekitar titik lokasi pengambilan sampel lumpur pada posisi koordinat $7^{\circ}31'53,35''$ LS $112^{\circ}42'30,37''$ BT. Secara geologi regional, lokasi penelitian berada di cekungan sedimen belakang busur vulkanik. Menurut Suprpto, dkk. (2007), fenomena suhu lumpur yang panas mendekati 100°C selain dipengaruhi oleh faktor gradien geotermis dan aktivitas vulkanik dimana pada jarak dua kilometer di selatan pusat semburan dijumpai adanya batuan gunungapi Kuartar dan aktivitas gunung api. Ditinjau dari geologi regional dan keberadaan gunungapi Kuartar di selatan lokasi penelitian, maka letusan gas yang terjadi bersamaan keluarnya lumpur dari bagian cekungan sedimenter, diperkirakan juga dikontrol oleh proses magmatik.



Gambar 2. Pengambilan sampel lumpur (*disturb sample*) dekat lokasi amblesan pada posisi koordinat $7^{\circ}31'53,35''$ LS $112^{\circ}42'30,37''$ BT (gambar A) dan semburan lumpur dan gas pada posisi kurang lebih 1 kilometer utara lokasi pengambilan sampel (gambar B)

Sampel lumpur (*disturb sample*) di daerah penelitian merupakan lempung dengan berwarna hitam keabu-abuan, berukuran butir dominan lempung (96%) sisanya berukuran butir lanau hingga pasir sangat halus. Lumpur tersebut merupakan tanah kohesif dengan ukuran butir lempung bersifat plastisitas yang tinggi, dimana lempung tersebut ketika digulung hingga diameter gulungan lempung 3

mm, lempung tersebut tidak retak. Sampel lempung diambil di sekitar amblesan pada lokasi $7^{\circ}31'53,35''$ LS $112^{\circ}42'30,37''$ BT, dekat titik semburan lumpur. Pada lokasi luapan lumpur di tepi tanggul kolam umumnya telah mengering dan kondisi keairan tidak jenuh air, teramati di tepi tanggul bagian utara. Berdasarkan data *ploting* pada Google Earth (Keyhole, 14 Oktober 2013), teramati sebaran lumpur di daerah tersebut telah menjadi lempung kering dan pecah (*dry cracked mud*) pada posisi koordinat $7^{\circ}31'02,13''$ LS $112^{\circ}42'42,01''$ BT. Sifat plastisitas yang kurang atau cenderung kaku di permukaan lempung disebabkan pengurangan kadar air oleh pengaruh cuaca akibat proses penguapan akibat kenaikan temperatur oleh pengaruh cuaca mengakibatkan lempung yang dekat permukaan (Moum & Rosenqvist, 1957 dalam Brand & Brenner, 1981). Plastisitas lempung tersebut diduga dipengaruhi oleh kondisi keairan pada lokasi pengambilan sampel. Kondisi jenuh air oleh semburan lumpur mempengaruhi kadar air lempung.

Hasil pengujian sifat indeks pada sampel lempung berupa plastisitas dan berat lempung diketahui terdapat perubahan berat dari berat lempung tak jenuh yang berkisar antara 29,31 gr hingga 34,41 gr bertambah ketika lempung dalam kondisi jenuh sehingga berat lempung jenuh berkisar antara 33,92 gr hingga 40,13 gr dengan prosentase perubahan berkisar antara 14,52% hingga 18,66%. Dengan menggunakan asumsi bahwa sampel lempung bersifat homogen, maka dengan mengacu perhitungan kerapatan tanah model Bowles (1984) dan Rollings & Rollings (1996) diketahui kerapatan lempung tak jenuh berkisar $1,96 \text{ gr/cm}^3$ hingga $2,02 \text{ gr/cm}^3$ dan kerapatan lempung jenuh berkisar $2,25 \text{ gr/cm}^3$ hingga $2,40 \text{ gr/cm}^3$. Perbedaan nilai dalam kisaran nilai parameter berat dan kerapatan lempung yang dijumpai pada sampel diperkirakan karena pengaruh faktor temperatur saat pengujian sifat indeks berat dan kerapatan lempung dilakukan. Perubahan nilai berat dan kerapatan untuk kondisi kejenuhan air yang berbeda diperkirakan karena adanya keberadaan air pada lempung. Keberadaan air di lapangan selain oleh air yang keluar bersamaan semburan lumpur juga banyak dipengaruhi oleh air hujan. Kontrol kondisi air tersebut diperkirakan turut berperan terhadap peningkatan beban lumpur secara vertikal sehingga berpotensi terjadi amblesan.

Dalam klasifikasi tanah, partikel lempung merupakan partikel yang mempunyai diameter efektif kurang dari $2 \mu\text{m}$, dimana partikel yang berukuran lempung belum tentu merupakan mineral lempung (Chen, 1975). Berdasarkan hasil analisis difraksi sinar X, menunjukkan lempung mempunyai mineral penyusun yang didominasi *smectite (montmorillonite)*. Menurut Grim (1968) dan Chen (1975), keaktifan mineral *montmorillonite* untuk mengembang dipengaruhi oleh kemampuannya dalam menyerap air yang dikontrol oleh konfigurasi struktur kimiawi dan luas permukaan mineral tersebut. Sifat kejenuhan air dan keberadaan mineral lempung tersebut diduga turut mempengaruhi penambahan berat dan kerapatan lempung.

Menurut Santosa dan Suwanti (1992) dalam Suprpto, dkk. (2007), pada Zona Randublatung terdapat serpih napalan dan sedimen *calcareous* sebagaimana yang terbentuk pada Zona Kendeng. Zona Randublatung berprospek minyak dan gas dikarenakan adanya batuan karbonat Formasi Kujung. Pada masa Pleistosen, daerah penelitian merupakan daerah lingkungan laut. Struktur geologi yang berkembang di Zona Randublatung merupakan struktur geologi pertemuan Zona Rembang dan Zona Kendeng berupa *subsided triangle zone* dengan *subthrust structure* di bawah zona sesar naik. Sifat litologi penyusun batuan karbonat yang memungkinkan proses pelarutan terjadi dan keberadaan struktur geologi yang kompleks diinterpretasikan akan menjadi faktor yang mengontrol pembentukan batuan dasar menjadi zona lemah. Seiring dengan peningkatan beban lumpur secara vertikal pada batuan dasar yang rentan runtuh (zona lemah) maka potensi resiko amblesan yang terjadi semakin bertambah.

KESIMPULAN

Dari proses analisis data primer di lapangan dan laboratorium dan data sekunder pendukung, dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut:

1. Lumpur hasil semburan di Porong merupakan lempung kohesif bersifat kembang susut yang teridentifikasi dari sifat fisik dan indeks berupa sifat plastisitas, perubahan berat dan kerapatan lempung.
2. Penambahan berat lempung yang berbanding lurus dengan penjenjuran air akibat sifat aktivitas mineral montmorillonit terhadap air dapat meningkatkan beban lumpur. Sifat jenuh air akibat penambahan volume air dipengaruhi oleh hujan dan air yang keluar bersamaan semburan lumpur dari bawah permukaan.
3. Potensi amblesan dapat beresiko terjadi seiring dengan peningkatan beban lumpur ke arah vertikal.

Resiko terjadinya amblesan dapat semakin bertambah jika batuan dasar pengendapan lumpur mengalami keruntuhan. Keruntuhan terjadi dikarenakan batuan dasar tersebut rentan menjadi zona lemah akibat keberadaan struktur geologi berupa kekar dan sesar serta litologi penyusun batuan karbonat yang bersifat mudah mengalami pelarutan.

4. Sifat jenuh air pada lumpur perlu diwaspadai terutama saat hujan dengan mengontrol kondisi keairan pada kolam penampung berupa menata drainase *spillway*, terutama luapan yang mengarah ke kolam utara.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 31 Agustus 2013. Fenomena Semburan Lumpur Panas di Daerah Porong, Sidoarjo, Jawa Timur Ditinjau dari Aspek Geologi Lingkungan. diunduh 5 Maret 2014 dari situs <http://geologi278.blogspot.com/2013/08/fenomena-semburan-lumpur-panas-di.html?m=1>
- Bemmelen, R.W., 1949. The Geology of Indonesia. Vol IA, Netherland: The Haque Martinus Nijhroff, Government Printing Office.
- Billings. M.P., 1954. Structural Geology. N. J. Amerika Serikat: Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs.
- Bowles, J.E., 1984. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). edisi kedua, Jakarta: Erlangga, 562 hal.
- Brand. E.W. & Brenner. R.P., 1981. Soft Clay. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam: The Netherlands, 779 hal.
- Chen. F.H., 1975. Foundation of Expansive Soils. vol. 12, New York: Elseiver Scientific Publishing Company, 280 hal.
- Grim. R.E., 1968. Clay Mineralogy. edisi ke-2, New York: McGraw-Hill Book Company, 595 hal.
- Ibrahim, G., Subardjo, dan Sendjaja, P., 2010. Tektonik dan Mineral di Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan, Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Keyhole, 14 Oktober 2013. Google Earth. Keyhole, Inc., diunduh 18 Agustus 2014 dari laman situs <http://earth.google.com/download-earth.html>
- Kompas, 13 Juli 2013. BPLS: Lumpur Rawan Meluber. diunduh 4 Maret 2014 dari situs <http://regional.kompas.com/read/2013/07/13/2111005/BPLS.Lumpur.Rawan.Meluber>
- Kompas, 17 Desember 2013. Akhir Dekade Ini, Luapan Lumpur Sidoarjo Diprediksi Berhenti. diunduh pada tanggal 4 Maret 2014 dari situs <http://sains.kompas.com/read/2013/12/17/2111388/Akhir.Dekade.Ini.Luapan.Lumpur.Sidoarjo.Diprediksi.Berhenti>
- Rollings. M.P. dan Rollings. R.S., 1996. Geotechnical Material in Contruction. New York: McGraw-Hill, 524 hal.
- Sudarsono. U dan Sujarwo. I.B., 2008A. Amblesan di daerah Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. diunduh pada tanggal 5 Maret 2014 dari situs http://www.google.com/url?sa=t&rcet=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bgl.esdm.go.id%2Fpublication%2Findex.php%2Fdir%2Farticle_download%2F215&ei=wSsYU5OUBIa_rge1-YAI&usg=AFQjCNHwelfEftU998x8xAmuleU4gQJtag&sig2=d_M7sBAT02jJptfpy48e_g pada Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 3 No. 1 Maret 2008. Hal. 1-9
- Sudarsono. U dan Sujarwo. I.B., 2008B. Aspek Geologi Teknik Lumur Sidoarjo Jawa Timur. diunduh pada tanggal 5 Maret 2014 dari situs <http://pag.bgl.esdm.go.id/?q=content/aspek-geologi-teknik-lumur-sidoarjo-jawa-timur> pada Buletin Badan Geologi, Vol. 18. No.1. April 2008. Hal 1 – 14. Bandung: Badan Geologi Kementerian ESDM
- Suprpto, S.J., Gunradi. R. dan Ramli, Y.R., 2007. Geokimia Sebaran Unsur Logam pada Endapan Sumur Sidoarjo. diunduh pada tanggal 18 Agustus 2014 dari situs http://www.bgl.esdm.go.id/publication/index.php/dir/article_detail/537 pada Buletin Sumber Daya Geologi, Vol. 2 No. 2. Agustus 2007.