



**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

# B

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](http://snast.akprind.ac.id), Email : [snast@akprind.ac.id](mailto: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 TEKNIK MESIN DAN TEKNIK INDUSTRI

1	Pengaruh Pengarah Terhadap Unjuk Kerja Kincir Savonius <i>Khairul Muhajir</i>	B-1
2	Pengaruh Pwht Terhadap Struktur Mikro,Uji Kekerasan Dan Ketangguhan Pada Sambungan Las Tak Sejenis <i>Austenitic Stainless Steels</i> Dan Baja Karbon <i>Agus Duniawan , Erry Thriana Sasongko</i>	B-9
3	Karakteristik Gaya Magnetik Pada Sistem Pembangkit Gaya Magnetik <i>Wandi Arnandi, Sigit Iswahyudi</i>	B-19
4	Redesain Pola Motif Kain Tenun Cual Bangka dengan Menggunakan Metode Fraktal <i>Ilham Ary Wahyudie, Zanu Saputra</i>	B-25
5	Peningkatan Sifat Mekanis Baja Karbon Rendah Melalui Metode <i>Nitrocarburizing</i> DC Plasma <i>Warsito, Kurniawanjoko Nugroho</i>	B-31
6	Optimasi Tinggi Tekan Dan Efisiensi Pompa Sentrifugal Dengan Perubahan Jumlah Sudu Impeler Dan Sudut Sudu Keluar Impeler ( <i>B2</i> ) Menggunakan Simulasi Computational Fluid Dynamics <i>Thoharudin, Arif Setyo Nugroho, Stefanus Unjanto</i>	B-35
7	Perencanaan Kapasitas Daya Pompa Pada Perancangan Alat Penukar Kalor Jenis Shell And Tube Skala Laboratorium <i>Sulis Yulianto, Fadwah Maghfurah, Munzir Qadri</i>	B-41
8	Variasi Sudut Kemiringan Kolektor Surya Solar Water Heater <i>Galuh Renggani Wilis, Irfansantosa</i>	B-49
9	Performansi <i>Hibrid Basin Solar Still</i> <i>Irfan Santosa , Galuh Renggani Wilis</i>	B-55
10	Peningkatan Umur Fatik Paduan A356.0 Untuk Aplikasi <i>Velg</i> Sepeda Motor dengan Metode <i>Centrifugal Casting</i> Putaran Tinggi <i>Priyo Tri Iswanto, Muhammad Abdus Shomad</i>	B-65
11	Rancang Bangun Pintu Geser Kompak Pada Busway dengan Sistem Buka Tutup Puli dan Sabuk <i>Tono Sukarnoto, Sigit Subiantoro, Amal Witonohadi</i>	B-71
12	<i>Effect Of Ingestion Speed And Coolant Roughness On Wear Of Materials And Eyes Drill In Process Drilling In Steel SS 400</i> <i>Eko Budi Santoso, Bambang Heriyanto</i>	B-77
13	<i>Effect Of Cuting Speed Using Material Hss Tool And Carbide Tool For Lathe Pricess Of Material Aisi 1010 For Quality Lathe Tool Wear</i> <i>Joko Waluyo</i>	B-87

- 14 Rancang Bangun Mesin Pencetaj Profil Pelat Lamtai Mobil Dengan Ketebalan Pelat 0,8- 1,2 mm B-93  
***Sukanto, Erwanto***
- 15 Tinjauan Pembuatan Kopling Gesek Sepeda Motor dari Komposisi Serat Kelapa pada Kekerasan, Keausan dan Koefisien Gesek B-99  
***Pramuko Ilmu Purboputro, Rahmat Kusuma***
- 16 Penggunaan Analisis Dimensional Teorema II Buckingham pada Penyelidikan Pengaruh Kekerasan Material untuk Menentukan Kemudahan Proses *Electrical Discharge Machining* B-105  
***Nidia Lestari,, Muslim Mahardika***
- 17 Analisis Getaran pada Bantalan Luncur yang Diakibatkan oleh Pengaruh Kekentalan Pelumasan B-111  
***Noor Eddy, Andriyansa, Arifin Halim , R.Wibawa Purbaya***
- 18 Gaya Dorong pada Aktuator Elektromagnetik Silindris B-117  
***Sigit Iswahyudi, Wandu Arnandi***
- 19 Pengaruh Variasi Putaran Rendah dan Putaran Sedang pada Centrifugal Casting Terhadap Sifat Fatik Paduan A 356 Untuk Velg Sepeda Motor B-121  
***Nuhammah Abdus Shomad, Priyo Tri Iswanto***
- 20 Inspeksi Sambungan Las pada H Beam Roof Structure Tangki Amonika Menggunakan Metode Magnetic Particle Inspection B-127  
***Dewin Purnama, Yorgie***
- 21 Pembuatan Mesin Roller untuk Mempercepat Proses Pengeringan Pelepah Pohon Pisang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kerajinan Packing Kub Batik Kab. Tegal B-133  
***Rusnoto, Tofik Hidayat***
- 22 Prototype Mesin Pencetak Garam Briket Otomatis Dengan Sistem Crankshaft Penggerak Motor Listrik 2 PK B-139  
***Ariawan Wahyu p, V.S Tripriyo, Iwan Hermawan***
- 23 Simulasi Model Karakteristik Self Excited Vibrations Dalam Aliran Fluida Dengan Ansys B-143  
***Sufiyanto, Rudi Hariyanto, Darto***
- 24 Studi Eksperimental Pengaruh Perubahan Tipe Karburator Terhadap Unjuk Kerja Mesin Mobil Mataram Proto B-151  
***Apri Rahmadi, Hary Wibowo, A.Agung Putu Susatriawan***
- 25 Karakteristik Lelah Baja Poros Din 42CRMO4 Bertakik U dan V Akibat Beban Amplitudo Konstan dan Beban Tiba-Tiba B-159  
***Subarmono, Aris Sinta***
- 26 Analisis Kapasitas Produksi Plant III pada Mesin Moulding Disamatic B-165  
***Annisa Mulia Rani***
- 27 Penentuan Rute Distribusi Produk yang Optimal dengan Memperhatikan Faktor Kecepatan Kendaraan Guna Meningkatkan Efisiensi Penggunaan BBM B-169  
***Imam Sodikin***
- 28 Kajian Empiris Faktor faktor yang Mempengaruhi Retensi Karyawan (Studi Kasus : Pada PT KMK Global Sport) B-179  
***Wibawa Prasetya , Yoseph Stepanus Suryono***

- 29 Analisis Pengendalian dan Perbaikan Kualitas dengan Pendekatan Six Sigma dan Kaizen B-189  
*Joko Susetyo, Hartanto*
- 30 Pengukuran Kinerja Perusahaan dengan Menggunakan Kriteria *Malcolm Baldrige* Guna Menentukan Level Keunggulan B-199  
*I Kadek Agus Budiastawa, Risma Adelina Simanjuntak*
- 31 Analisa Studi *Conformity Of Production (COP)* untuk diterapkan di Balai Pengujian Laik Jalan dan Sertifikasi Kendaraan Bermotor (BPLJSKB) Bekasi B-207  
*Ellysa Kusuma Laksanawati Armansyah Putra*
- 32 Analisis Risiko Kegagalan Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Menggunakan Risk Failure Mode And Effect Analysis B-215  
*Danung Isdarto*
- 33 Pengembangan Model Matematika Supply Chain Daur Ulang Kertas dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian Pengembalian Produk dan Faktor Lingkungan B-225  
*Asgar Ali, Nur Aini Masrurroh*
- 34 *Daylighting* untuk Perumahan Sederhana B-235  
*Suprpto, Sodikin*
- 35 *Quantum States Approximation Of ABR Formulation For Josephson's Tunneling In Thx Sruo2 Nanomaterials In 525 Tesla Super Magnetic Field At LHC Accelerator* B-245  
*Moh. Hardiyanto*
- 36 Analisis Tingkat Kepentingan dan Tingkat Kepuasan Konsumen Terhadap Mobil Kategori LCGC B-253  
*Agustinus Eko Susetyo, Kusumawan Herliansyah*
- 37 Usulan Perbaikan Strategi Bauran Pemasaran Buku Persiapan Uan SMA dan SNMPTN Berdasarkan Correspondence Analysis dan Importance Performance Analysis (studi Kasus : Penerbit CV. YRMA WIDYA) B-259  
*Arif Suryadi, Armando S.M. Saragih*
- 38 Aplikasi Ergonomi Pada Perancangan Meja Batik Untuk Meningkatkan Produktivitas dan Mengurangi Keluhan Pembatik di Sentra Industri Batik Tulis Tegal B-263  
*Siswiyanti, Saufik Luthfianto*
- 39 Faktor-Faktor yang Berkontribusi Terhadap Keterlambatan Proyek Konstruksi di PT Newmont Nusa Tenggara B-273  
*Nugroho Adi*
- 40 Model Probabilistic Assessment Pada Industri Galangan Kapal Sub Klaster Surabaya B-283  
*Minto Basuki, A.A Wacana Putra*
- 41 Rancangan Model Peningkatan Industri Pariwisata Berbasis Kualitas Layanan : Studi Kasus Pariwisata Di Jawa Tengah B-291  
*Novi Marlyana, Nuzulian Khoiriyah*
- 42 Implementasi Sixsigma Pada Industri Jasa Untuk Peningkatan Kepuasan Pelanggan Koperasi Simpan Pinjam B-299  
*Endang Widuri Asih*
- 43 Perancangan Peralatan Produksi Bagi Pembatik Difabel Dengan Pendekatan Desain Inklusi dan Strategi Eko-Efisiensi B-307  
*Paulus Bawale, Eko A. Prawoto, Puspita Darsono, Winta Guspara*

- |    |   |       |
|----|---|-------|
| 44 | Investment Feasibility Analysis Procurement Of Computers(Case In The State High School 5)<br><i>Petrus Wisnubroto</i>   | B-317 |
| 45 | Strategi Pengembangan Klaster IKM Tanaman Pangan Dalam Kerangka Penguatan Sistem Inovasi Daerah Di Kabupaten Banyuwangi<br><i>Bambang Syairudin, Mahirul Mursid</i> | B-323 |
| 46 | Perencanaan Persediaan Bahan Baku Guna Mencapai Efisiensi Biaya Produksi<br><i>Darsini, Mathilda Sri Lestari</i>  | B-334 |
| 47 | Design Of Experiment (DOE) untuk Mendapatkan Komposisi Terbaik Methane Berbahan Sampah Padat Perkotaan<br><i>Agus Mansur, Agus Taufik, Dian Janari</i>              | B-343 |

## PENGARUH PENGARAH TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR SAVONIUS

Khairul Muhajir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta  
e-mail :<sup>1</sup>khairul.muhajir@ymail.com,

### ABSTRACT

*Savonius windmill is a windmill with a transverse shaft type wind flows . This type of windmill will be able to spin if one of the sides get a number of larger wind ( concave side ) of the other side ( convex side ) . The use of a barrier on one side of the smaller acquisition can make performasi wind turbines increase, but the use of a barrier made windmill does not obtain the maximum amount of wind . Usage guides in the wind on the side with the highest number less wind expected to increase the number of wind turbines that can be obtained. The method used is based on primary and secondary data , obtained either by observation or interviews and by observing the documents and literature studies. Furthermore, if the data is in and analyzed , both quantitatively and qualitatively to obtain a conclusion in accordance with the purpose of research. Research results show that : with the increasing use of shield power by 87 % and 19 % efficiency rate ranges . The use of the power steering increases ranging between 3-97 % with 16-22 % efficiency . the main steering and steering tambahn actual power to 97 % and the efficiency reaches 22 % usage . At steering without power steering peningkayan acquired additional 11%, an efficiency of 5 % .At use additional directional and directional main results obtained without the power increase by 62 % and an efficiency of 3 % .At use the main steering and power steering obtained by the addition of 16 % and the efficiency increased by 10 % , so it can be concluded that the use of both main and additional steering boost power , rotor rotation and windmill efficiency .*

**Keywords** : steering , performance , Savonius windmill

### PENDAHULUAN

Saat ini banyak terdapat berbagai macam bentuk kincir angin. Baik dalam bentuk yang sederhana maupun yang rumit. Dari berbagai macam bentuk itu kincir dapat dibagi dua menurut pemasangan porosnya, yaitu poros vertikal dan poros horizontal. Sedangkan menurut arah anginnya adalah arah angin yang sejajar poros dan arah angin yang melintang poros.

Kincir yang biasa kita temui adalah kincir dengan poros horizontal dan dengan arah angin yang searah dengan poros kincir. Kincir jenis ini banyak dipakai karena kincir tersebut selain modelnya yang sederhana juga mudah dalam pemasangannya. Kincir selain dengan kriteria diatas sedikit digunakan oleh karena lebih sukar dalam pemasangannya dan lebih banyak membutuhkan alat-alat tambahan untuk konstruksinya.

Kincir Savonius adalah satu kincir dengan poros melintang terhadap arah angin, kincir ini mempunyai sudu berbentuk S dan biasanya dipasang secara vertikal walaupun dapat juga dipasang secara horizontal. Kincir ini menurut konstruksinya lebih sederhana daripada kincir poros horizontal. Kincir Savonius dapat berputar dengan angin dari berbagai arah tanpa harus menggunakan pengarah seperti pada kincir biasa (horizontal). Meskipun lebih sederhana dan dapat berputar dengan angin dari berbagai arah, kincir jenis ini mempunyai kelemahan yaitu pada tipe dengan sumbu vertikal memerlukan konstruksi tiang penyangga yang kuat dan memerlukan beberapa tambahan penguat supaya penyangganya dapat berdiri dengan kokoh. Kincir ini juga mempunyai kelemahan yaitu pelemahan pada sisi sudu-sudunya. Pelemahan pada sudu kincir ini dikaraenakan bentuk sudunya yang bekerja saling berlawanan saat angin mengenai sisi dari sudu-sudunya.

Meskipun ada beberapa kelemahan dari kincir Savonius, pengembangan untuk pemakaian kincir ini perlu dilakukan agar didapat pilihan selain dari kincir yang biasa ditemui. Pilihan dan bentuk yang berlainan akan memberi kesempatan bagi kincir jenis lain agar di dapat kincir yang sesuai dengan kondisi angin yang ada pada daerah yang akan digunakan.

Rumusan masalah

Pada dasarnya kincir Savonius tidak memerlukan alat tambahan lain untuk dapat bekerja, akan tetapi penambahan alat-alat lain perlu dilakukan agar performa kincir dapat ditingkatkan. Penambahan pengarah pada kincir adalah agar angin yang menerpa sisi cembung dan terbuang karena pemasangan perisai dapat dimanfaatkan. Dengan mengalirkan angin yang menerpa sisi cembung menuju sisi cekung di harapkan kincir dapat bekerja dengan lebih baik.

Tujuan dari penelitian pemakaian pengarah pada kincir savonius adalah :

1. Mencari pengaruh pemakaian pengarah terhadap putaran, torsi dan efisiensi pada kincir savonius.
2. Mencari perbandingan kecepatan, torsi dan efisiensi sebelum dan sesudah pemakaian pengarah pada kincir.
3. Mencari penempatan sudut pengarah, agar didapatkan putaran, torsi dan efisiensi yang maksimal dari kincir.

Kincir angin adalah salah satu alat pengubah energi yang mengubah energi kinetik (angin) menjadi energi mekanik berupa energi gerak putar. Energi angin yang melewati kincir akan ditangkap oleh baling-baling pada kincir, kemudian menggerakkan poros sehingga akan terjadi putaran. Energi putar yang terjadi dapat diubah menjadi energi lain misalnya energi listrik atau energi gerak lainnya.

Sejarah pemanfaatan angin dimulai sejak abad ke-12 SM dan tersebar ke berbagai Negara seperti Persia, Babilonia, Mesir, China dan di benua Eropa dengan berbagai bentuk rancang bangun. Kincir angin poros vertical adalah kincir angin yang pertama kali dibuat manusia. Kincir angin Persia dibuat sekitar tahun 900 SM yang merupakan hasil dari pemikiran pemanfaatan angin pada layar perahu. Kincir model ini sampai sekarang masih digunakan, kincir jenis ini antara lain kincir Savonius, Madaras, Daerius dan lain-lain.

Pada perkembangan selanjutnya, kincir berubah bentuknya. Setelah sampai di Eropa, selanjutnya kincir angin dibuat dengan poros horizontal. Sebagian besar kincir angin Eropa menggunakan kincir angin horizontal. Kincir angin menjadi sumber energi utama di Eropa sampai masa revolusi industri, tetapi kemudian batu bara menjadi pengganti energi angin dengan alasan penggunaan batu bara sebagai sumber energy baru lebih menguntungkan.

Setiap benda yang bergerak mempunyai energi kinetik, begitu juga dengan angin. Angin mempunyai energi kinetik berupa aliran yang dapat diubah menjadi mekanis berupa energi gerak. Untuk mengubah energi alir diperlukan alat untuk mengubahnya antara lain dengan menggunakan kincir.

Energi kinetik angin mempunyai rumus sama dengan rumus energi kinetik fisika biasa. Energi kinetik angin dapat dihitung dengan rumus (Abdul Kadir, 1995;218)

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \dots\dots\dots (1)$$

Jika suatu blok udara yang mempunyai penampang  $A$  ( $m^2$ ) dan bergerak dengan kecepatan  $v$  ( $m/s$ ), maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah

$$m = A \cdot v \cdot \rho \dots\dots\dots (2)$$

Dengan demikian, maka energi yang dihasilkan persatuan waktu adalah

$$P = \frac{1}{2} A \rho v^3 \dots\dots\dots (3)$$

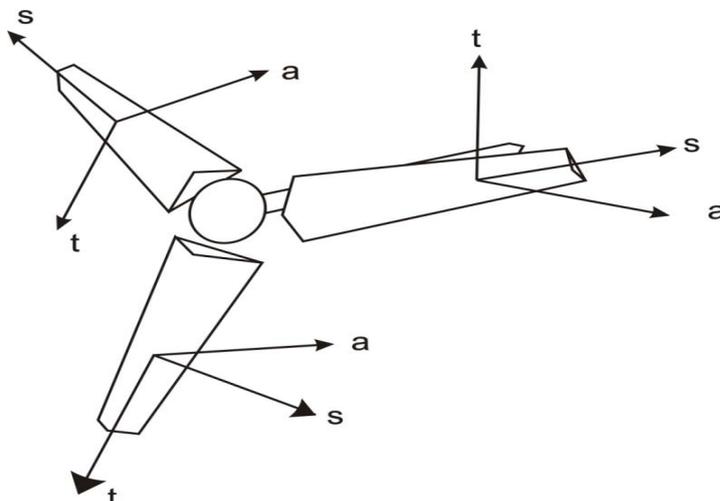
Untuk keperluan praktis sering kali dipakai rumus pendekatan berikut :

$$P = K \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (4)$$

Untuk keperluan estimasi sementara yang sangat kasar, sering dipakai rumus sederhana sebagai berikut :

Rumus yang dikembangkan oleh Godding berbentuk :

$$P = k F A E v^2 \dots\dots\dots (5)$$



Gambar 1. Gaya-gaya yang bekerja pada sudu-sudu (Abdul Kadir, 1995;219)

Gaya-gaya yang bekerja pada sudu-sudu kincir pada dasarnya terdiri atas tiga komponen yaitu :

- a. Gaya aksial  $a$ , yang mempunyai arah sama dengan angin. Gaya ini harus di tampung oleh poros dan bantalan.
- b. Gaya sentrifugal  $r$ , yang meninggalkan titik tengah. Bila kipas bentuknya simetrik, semua gaya sentrifugal  $s$  akan saling meniadakan atau resultannya sama.
- c. Gaya tangensial  $t$ , yang menghasilkan momen, bekerja tegak lurus pada radius dan yang merupakan gaya produktif.

Gambar memperlihatkan sebuah kincir yang mempunyai tiga sudu dengan gaya-gaya  $a, t$  dan  $s$  yang bekerja pada daun-daun sudu itu.

Untuk kincir menurut gambar, besar gaya-gaya itu dapat di hitung dengan rumus-rumus empiris sebagai berikut :

$$a = 0,00142v^3R^2 \quad (\text{kg})$$

$$s = 367 \frac{RP}{v^2} \quad (\text{kg})$$

$$t = 0,00219 \frac{Wv^2 v^2}{R_1} \quad (\text{kgm})$$

Menurut Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo dalam jurnal teknik mesinnya, jika:

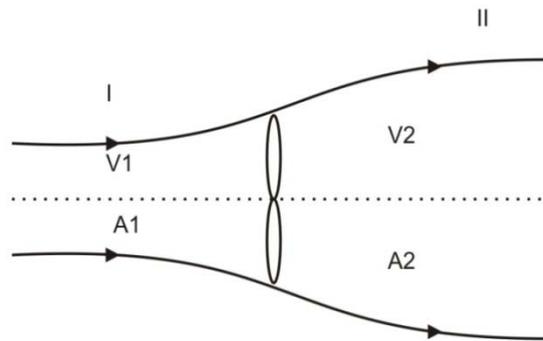
$v_1$  = kecepatan angin di depan rotor,

$v_2$  = kecepatan angin di belakang rotor, dan

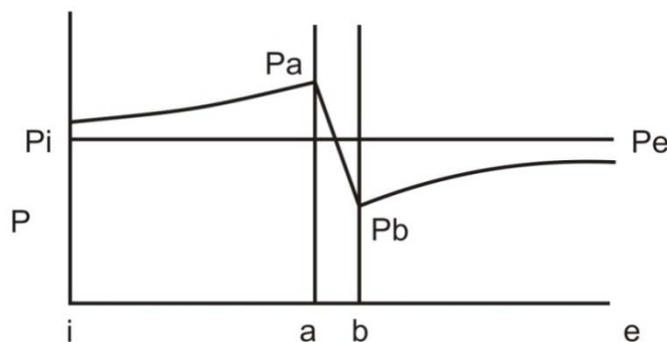
$v$  = kecepatan angin pada saat induksi rotasi gambar , maka berdasarkan persamaan

kontinuitas :

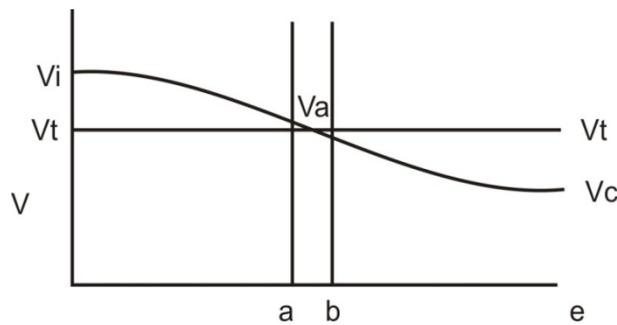
$$A_1v_1 = A_2v_2 = A_2v \quad \dots\dots\dots (6)$$



Gambar 2. Aliran udara yang melewati kincir



Gambar 3. Diagram tekanan udara pada sudu



Gambar 4. Diagram kecepatan aliran angin pada sudu

Selanjutnya berdasarkan teorema Euler, gaya yang bekerja pada rotor sama dengan  
 $F = \rho \cdot A \cdot v (v_1 - v_2)$  ..... (7)

Karena daya kinetik angin yang diserap rotor  
 $P = F \cdot v = \rho \cdot A \cdot v (v_1 - v_2)$  .....(8)

Selisih energi kinetik di depan dan di belakang rotor dapat dihitung dengan persamaan Bernoulli :

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2)$$
 ..... (9)

Persamaan ( 8 ) adalah = persamaan ( 9 ) sehingga dari kedua persamaan dapat diperoleh harga

$$V = \frac{v_1 + v_2}{2}$$
 ..... (10)

Jika hasil v tersebut disubstitusikan kedalam persamaan 10 akan menghasilkan persamaan

$$F = \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2)$$

dan

$$P = \frac{1}{4} \rho A v (v_1 - v_2) (v_1 + v_2)$$

Untuk kecepatan  $v_1$  tertentu dapat dicari besar P sebagai fungsi dari  $v_2$  dengan mendiferensiasi persamaan

$$\frac{dp}{dv_2} = d \left[ \frac{1}{4} \rho A (v_1^3 + v_1^2 v_2 - v_2^2 v_1 - v_1^3) \right]$$

$$\frac{dp}{dv_2} = d \left[ \frac{1}{4} \rho A (v_1^3 + 2v_1 v_2 - 3v_2^2 v_1) \right]$$

Pada  $\frac{dp}{dv_2} = 0$  diperoleh 2 akar persamaan  $v_2 - v_1$  yang berarti udara dalam keadaan tenang ( $B_N = 0$ )

dan  $v = \frac{v_1}{3}$  yang merupakan harga yang menghasilkan daya maksimum dengan demikian daya maksimum yang diperoleh

$$P_{maks} = \frac{8}{27} \rho A v_1^3$$
 ..... (11)

Persamaan menunjukkan bahwa daya maksimum yang diperoleh pada massa jenis udara (berubah dengan tekanan dan temperatur) . Secara ideal atau maksimum, efisiensi teoritik

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{P_{tot}} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :  $\eta_{max}$ = Efisiensi maksimal (%),  $P_{max}$  = Daya maksimum ( W.ft.lbf/s),  $P_{tot}$  = Daya maksimum (Wi ft.lbf)

Dalam hal ini nilai maksimum dihitung dengan persamaan :

$$P_{max} = \frac{1}{2qc} \rho A v ( v_i^2 - v_e^2 ) \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:  $P_{max}$  = Daya maksimum ( W.ft.lbf/s),  $\rho$  = Massa jenis udara ( kg/m<sup>3</sup>),  $A$  = Luas penampang area( m<sup>2</sup>),  $V_i$  = Kecepatan angin (m/s, ft/n)

Untuk nilai  $v_e = \frac{1}{3}v_i$ , maka:

$$P_{max} = \frac{8}{27qc} \rho A v_i^3 \dots\dots\dots (14)$$

Sehingga

$$H_{max} = \frac{P_{max}}{P_{tot}} = \frac{8}{27qc} \times 2qc = 0,529 (15)$$

Dari perhitungan diatas dapat dikatakan bahwa kincir mampu mengubah tidak lebih dari 60% daya total angin menjadi daya yang bermanfaat. Daya total suatu arus angin sama dengan jumlah energi kinetik (Kei) dari arus angin tersebut, yaitu (El-Wakil, 1985;593)

$$P_{tot} = mKei = mv_1 \frac{2}{2qc} \dots\dots\dots (16)$$

dengan:  $P_{tot}$  = daya total ( W.ft.lbf),  $v$  = laju aliran massa ( kg/s, ft/h, lbf/h),  $v_1$  = kecepatan angin ( m/s ),  $qc$  = faktor konversi (1,0 kg.m/(N.S<sup>2</sup>)) = 4,17x10<sup>8</sup> ( lbf.ft/lb.h<sup>2</sup>),  $m = \rho A v$

Sehingga

$$P_{tot} = \frac{1}{2qc} \rho A v_i^3 \dots\dots\dots (17)$$

Jadi daya total dari arus angin berbanding lurus dengan massa jenis, area dan pangkat 3 dari kecepatan

**METODE PENELITIAN**

Untuk dapat mengumpulkan data atau masukan dalam penelitian, digunakan beberapa metode pengumpulan data yaitu data primer dan data sekunder.

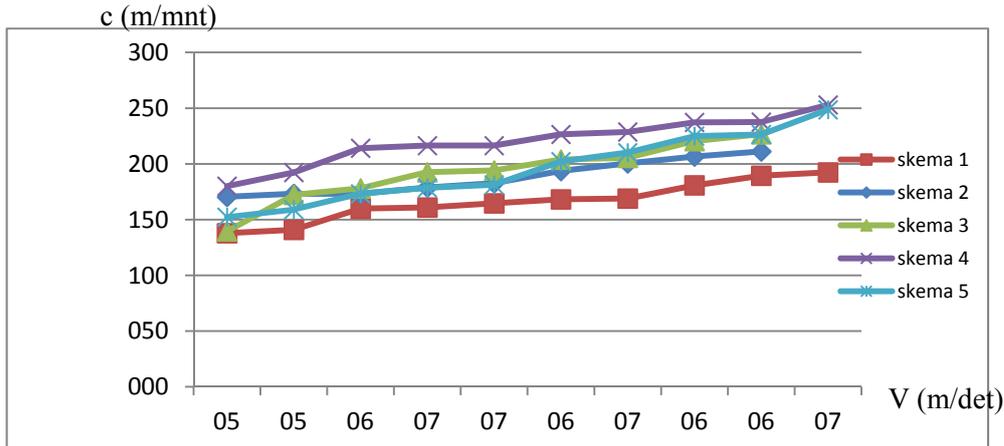
Data Primer, dengan metode ini peneliti memperoleh data atau masukan secara langsung dari obyek penelitian yang ditulis atau data yang pertama kali ditulis oleh peneliti. Untuk memperoleh data primer penulis menggunakan dua metode yaitu :

- a). Metode Observasi. Metode ini adalah metode yang penulis gunakan untuk memperoleh data atau informasi dengan melihat secara langsung pada obyek yang diteliti dan mencatat secara sistematis terhadap gejala atau proses yang terjadi.
- b).Metode Wawancara. Metode ini adalah metode pengumpulan data atau informasi melalui tanya jawab dengan semua pihak yang dapat memberikan keterangan dengan jelas tentang turbin angin penggerak generator listrik untuk membantu dalam penyelesaian laporan penelitian.

Data Sekunder, data Sekunder adalah data atau informasi yang didapat secara tidak langsung, yaitu studi literatur, dengan cara mempelajari buku-buku literatur dan juga mempelajari dokumen serta keterangan yang didapat dari instansi yang bersangkutan dan mencatat secara sistematis terhadap gejala yang terjadi.

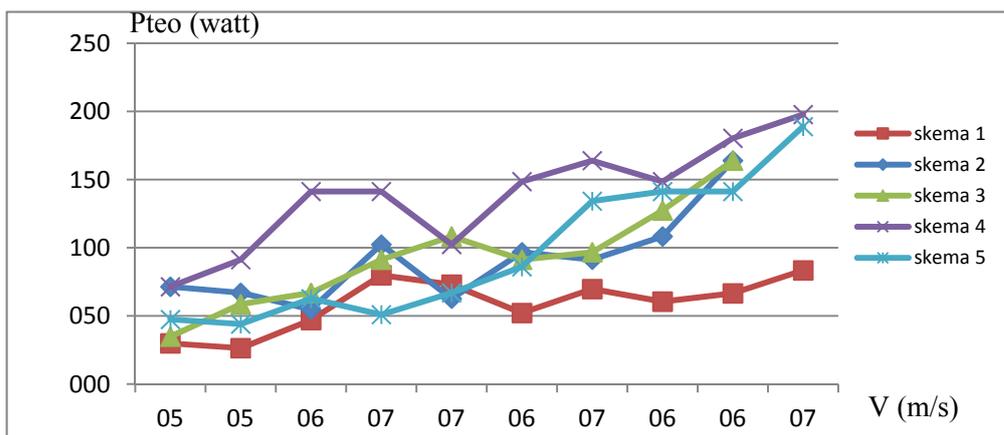
**PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di pantai Depok Bantul, di dapat beberapa data yang dibutuhkan antara lain : kecepatan angin rata – rata didaerah tersebut, jumlah putaran poros yang dihasilkan (rpm), Besarnya kecepatan angin datang minimal yang dapat menggerakkan sudu serta efisiensi sudu dalam pemanfaatan energi kinetik dari angin yang dapat dilihat dari kecepatan angin. Kemudian data tersebut dianalisa guna mendapatkan kesimpulan.



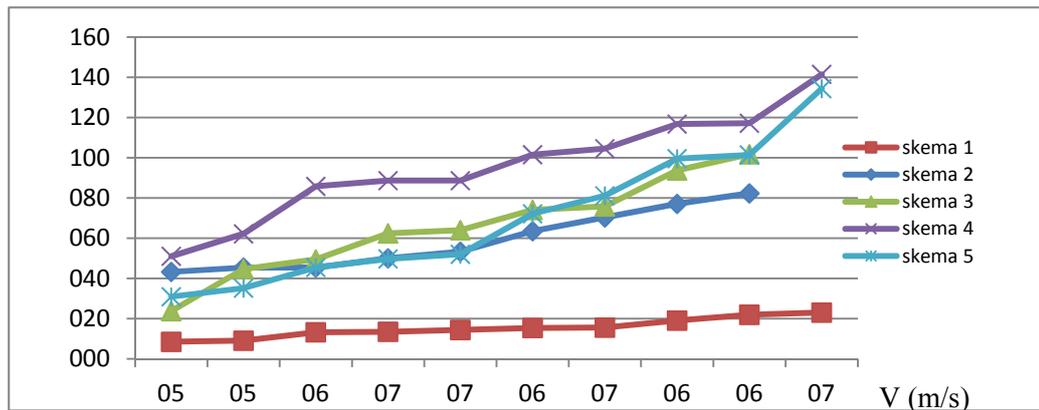
Gambar 5. Perbandingan kecepatan angin dan putaran poros (m/menit).

Diagram diatas dapat dilihat bahwa kecepatan putar dari kincir dengan skea 4 (kincir dengan pengarah tambahan dan tanpa pengarah utama mempunyai nilai paling besar. Hal ini dikarenakan angin yang masuk kedalam kincir tidak hanya berasal dari angin yang searah kerangka atau badan kincir, tetapi dapat berasal dari arah sisi kicir/ kerangka kincir. Disini angin yang masuk dari arah sisi kincir akan masuk kedalam kincir setelah melalui pengarah tambahan menuju baling-baling. Kincir dengan pengarah utama, yaitu kincir dengan skea 3 dan 5 mempunyai besar yang hampir sama. Sedangkan kincir tanpa pengarah dan perisai mempunyai nilai yang lebih rendah.



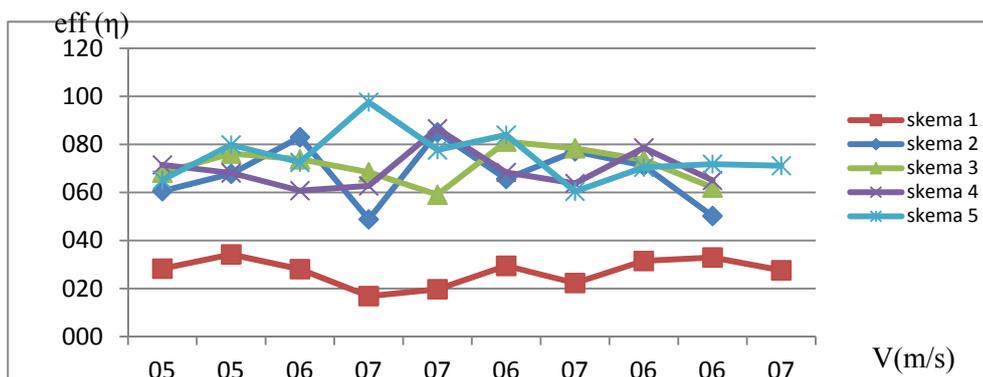
Gambar 6. Perbandingan kecepatan angin dan daya teoritis (P teoritis).

Nilai dari skema 2,3 dan 5 mempunyai nilai yang hampir sama, ini dikarenakan oleh karena nilai putaran poros yang hampir sama, jai hasil daya teoritis tidak berbeda jauh. Sedangkan nilai dari skea 4 mempunyai nilai yang paling besar. Pact (watt)



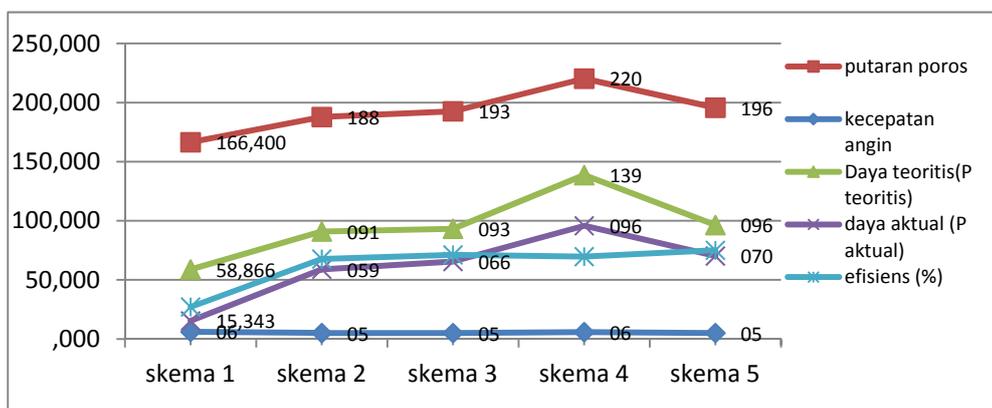
Gambar 7. Perbandingan kecepatan angin dan daya actual (P actual)

Daya actual yang didapat oleh kincir dengan skema 2,3 dan 5 tidak jauh berbeda, ini dikarenakan masing-masing skema mempunyai putaran poros yang hampir sama, namun skema 3 dan 5 mempunyai nilai yang lebih besar dari skema 2. Selain diatas, kincir dengan skema 2, yaitu kincir tanpa menggunakan perisai dan pengarah mempunyai daya actual yang lebih rendah dibanding dengan yang lainnya. Hal ini dikarenakan factor pengurang sudu yang menyebabkan putaran kincir menjadi berkurang.



Gambar 8. Kecepatan angin dengan efisiensi (η)

Disini nilai efisiensi dengan skema menggunakan pengarah dan perisai yaitu skema 2,3,4 dan 5, mempunyai nilai yang hampir seragam, sedangkan kincir dengan skema tanpa pengarah dan perisai mempunyai nilai yang paling rendah. Ini dikarenakan daya dan putaran poros yang didapatkan oleh skema 2,3,4 dan 5, lebih tinggi dari yang didapat oleh skema 1. Disini juga terlihat jika efisiensi akan turun saat angin bertambah besar.



Gambar 9. Hasil rata-rata skema.

Dari grafik diatas terlihat bahwa skea 4 mempunyai nilai yang besar dalam hal daya dan jumlah putaran namun efisiensinya hamper sama dengan skea lainnya.

## KESIMPULAN

Pemakaian skea 1 terhadap skea lainnya dapat disimpulkan :

- a. Dengan pemakaian perisai didapatkan peningkatan daya sebesar 87 % dan efisiensi berkisar angka 19 %.
- b. Saat pemakaian pengarah daya meningkat berkisar antar 3 - 97 % dengan efisiensi 16-22%
- c. Dengan pengarah utama dan pengarah tambahan daya aktual menjadi 97 % dan efisiensi mencapai 22%.

Saat pemakaian skea 2, hasil perbandingan yang di dapat dengan skea lainnya adalah sebagai berikut :

- a. Saat pemakaian pengarah tanpa pengarah tambahan didapat peningkayan daya sebesar 11% , efisiensi sebesar 5%.
- b. Saat pemakaian pengarah tambahan dan tanpa pengarah utama didapatkan hasil yaitu peningkatan daya sebesar 62 % dan efisiensi sebesar 3%.
- c. Saat pemakaian pengarah utama dan pengarah tambahn didapatkan penambahn daya sebesar 16 % dan efisiensi meningkat sebesar 10%.

Dapat pula disimpulkan bahwa pemakaian pengarah baik utama maupun tambahan meningkatkan daya, putaran rotor dan efisiensi dari kincir angin.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta yang telah memberi dana penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrilsyah, Rony, 2006, *"Pengaruh Jumlah Blade (Sudu) Datar Terhadap Unjuk Kerja Kincir Angin"*, ISTA, Yogyakarta.
- Reksoatmodjo, TedjoNarsoyo, jurnal teknik mesin, 2004: *" Vertical-Axis Different Dragmill Windmill"*, <http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/>
- El – Wakil, M.M. 1985; *"PowerPlant Technology"*, Mc Graw – Hill Book Company Co. Singapura.
- Lesmana, Ficky, 2006, Skripsi Teknik Mesin: *"Pengaruh Bentuk Blade Pada Perfomasi Kincir Angin Tiga Sudu"*, ISTA, Yogyakarta.
- [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com).
- ([www.dpa.unina.it/adag](http://www.dpa.unina.it/adag))
- ([www.sine.com](http://www.sine.com))
- Kadir, Abdul, 1995 : *"Energy: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, Potensi Ekonomi"*, Universitas Indonesia ( UI – Press).
- Manwell, J.F, McGowan, J.G, and Rogers, A.L, 2002 : *" Wind energy Explained "*, JhonWiley & Sons Ltd, Baffinsland, Chichester, WestSucssex, England.
- Yahya, SM, 1983 : *" Turbines, Comprresor and Fans"*, Tata Mc Graw – Hill, New Delhi , India.

## PENGARUH PWHT TERHADAP STRUKTUR MIKRO, UJI KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PADA SAMBUNGAN LAS TAK SEJENIS AUSTENITIC STAINLESS STEELS DAN BAJA KARBON

Agus Duniawan<sup>1</sup>, Erry Thriana Sasongko<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin IST AKPRIND Yogyakarta

Email : agusduniawan@gmail.com

### ABSTRACT

*Welding of dissimilar metals between austenitic stainless steel and carbon steel has been widely used in railways, automotive, ship, and many other engineering fields. Austenitic Stainless Steel has properties of high toughness at low temperature, good corrosion resistance, good machinability and good weldability while low carbon steel has properties of high strength and good machinability. However, Austenitic Stainless Steel becomes brittle when it is welded due to precipitation of Chromium Carbide ( $Cr_{23}C_6$ ) at austenite grain boundary. This precipitation occurs due to slow welded-cooling rate from temperature of  $900^{\circ}C$  to  $450^{\circ}C$ . On the other hand, low carbon steel has excessive hardening in HAZ if high welded cooling rate is employed decreasing in toughness. This research aims to improve mechanical properties of weld joint of Austenitic Stainless Steel with Carbon Steel by means of Post-Welding Heat Treatment (PWHT) process.*

*AISI304 stainless steel and low Carbon steel plates were welded using MIG welding with a filler of ER308, voltage 19 Volt, current of 100 Ampere DC, heat input of 1 kJ/mm and welding speed of 2 mm/s welding speed. PWHT at temperature of  $450^{\circ}C$ ,  $550^{\circ}C$  and  $650^{\circ}C$  for 3 hours were done after welding process. Microhardness test, microstructure test, toughness test, and SEM were then conducted on the weld specimen.*

*Keywords: Dissimilar metals, MIG, toughness, PWHT*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Pengelasan logam tak sejenis (*dissimilar metals*) antara baja karbon (CS) dan baja tahan karat (SS) semakin banyak diterapkan karena tuntutan desain dan tuntutan ekonomi, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sistem perpipaan dan lain sebagainya.

Permasalahan pada pengelasan baja tahan karat austenitik adalah terbentuknya tegangan sisa dan distorsi akibat angka pemuaian yang lebih besar dari pada baja, penurunan ketahanan korosi, penurunan sifat mekanis dan penggetasan akibat terbentuknya endapan halus (*precipitate*) karbida krom yang mengendap di antara batas butir austenit. Endapan halus ini dapat terbentuk karena pendinginan lambat dari temperature  $900^{\circ}C$  sampai dengan  $450^{\circ}C$ . Pada sisi lain, baja karbon rendah akan mengalami pengerasan dan ketangguhan yang rendah di daerah HAZ. Disamping itu baik pengelasan baja tahan karat maupun baja karbon biasanya menghasilkan tegangan sisa, efek tegangan sisa menyebabkan terjadinya stress corrosion cracking (SCC).

Dua hal yang perlu diperhatikan dalam pengelasan baja tahan karat adalah memberikan kondisi bebas retak pada lasan dan menjaga lasan maupun daerah yang terpengaruh panas (HAZ) memiliki sifat ketahanan korosi sama dengan logam dasarnya. Pengontrolan bahan pengisi (*filler*), masukan panas permukaan lasan dan menjaga prosentase delta-ferit di struktur mikro lasan dapat meningkatkan ketahanan korosi (Ahluwalia, 2003)

Kelemahan pengelasan dissimilar yang mendasar adalah perbedaan sifat fisik, mekanik dan sifat metalurgi, sehingga dua logam yang dilas menimbulkan permasalahan yang berbeda pada masing-masing logam.

Untuk mengatasi permasalahan yang timbul perlu adanya penelitian. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh PWHT (*post welding heat treatment*), terhadap sifat mekanis yang meliputi, kekerasan, kekuatan dan ketahanan. Penelitian ini bersifat eksperimen di laboratorium. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon S40C disambung dengan baja tahan karat AISI 304 dengan filler ER308. Pengujian sambungan meliputi pengamatan sifat mampu las (*weldability*), pengamatan struktur mikro dengan mikroskop logam, uji impak, dan uji kekerasan dengan standar ASTM.

## Kajian Pustaka

Pada pengelasan dissimilar masukan panas (*heat input*) dapat mempengaruhi sifat mekanis seperti kekerasan, ketangguhan, kekuatan tarik juga korosi. Banhouse dkk(2002) meneliti pengelasan *dissimilar* antara baja tahan karat martensit dan baja karbon menggunakan las MIG, hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan deposit logam las bervariasi terhadap masukan panas. Masukan panas las rendah menyebabkan kekerasan lebih tinggi dalam logam las dan disepanjang batas lebur (*fusion line*) baja karbon dari pada masukan panas tinggi. Kekerasan ini diakibatkan oleh terbentuknya martensit pada permukaan daerah tersebut. Keberadaan martensit dipengaruhi oleh komposisi logam dasar dan pengisi serta perbedaan dalam kecepatan *difusi* karbon. Bila mobilitas karbon terbatas, kemungkinan formasi martensit juga berkurang. Selain kekerasan masukan panas yang semakin tinggi dari 1,57 kJ/mm menjadi 2,60 kJ/mm akan meningkatkan ketahanan korosi dengan menurunnya prosentasi pengurangan berat.

Juan, dkk (2003) meneliti efek *heat input* pengelasan terhadap ketangguhan bahan dan struktur mikro daerah HAZ baja kekuatan tinggi. Hasilnya menunjukkan, Struktur mikro daerah HAZ adalah martensit bilah (*lath martensit*), makin tinggi *heat input* pengelasan maka ketangguhan bahan semakin turun.

Carrouge, dkk (2002) meneliti pengelasan dissimilar baja karbon rendah dan martensitic stainless steel dengan proses pengelasan *GMAW*. Hasil penelitian menunjukkan perubahan struktur mikro pada daerah HAZ *stainless steel* kandungan  $\delta$ -*ferrite* ditemukan daerah HAZ lebih besar dari baja paduan tinggi. Struktur austenit yang ditemukan pada logam las dan butir kasarnya lebih besar pada daerah HAZ dari paduan baja tinggi. Jumlah ferit pada daerah las sangat mempengaruhi hasil lasan, bila jumlah ferit terlalu kecil akan menyebabkan retak panas dan bila terlalu besar akan mengurangi ketahanan korosi.

. Dupont, dkk(2003) meneliti evaluasi mikrostruktur dan mampu las pada las *dissimilar* antara super austenite stainless steel dan paduan nikel serta pengaruh komposisi *filler* metal dan *dilusi* daerah cair, hasil penelitian memperhatikan bahwa penambahan besi pada las menurunkan koefisien distribusi Mo dan Nb, ini selanjutnya menghasilkan konsentrasi inti dendrit lebih kecil dengan meningkatkan *dilusi*.

ASME Boiler Pressure Vessel Code, menyebutkan dengan *postweld heat treatment* (PWHT), setelah pekerjaan pengelasan selesai sering dilaksanakan untuk tujuan memperkecil tegangan sisa yang terdapat pada pengelasan.

Laju pemanasan dan pendinginan baja selama PWHT mempunyai sedikit arti metalurgi. Meskipun demikian baja harus mendapat pemanasan atau pendinginan cukup perlahan untuk menghindarkan gradien suhu yang tinggi, karena bisa menyebabkan distorsi dan mempengaruhi tegangan tinggi.

## METODOLOGI

### Bahan

Bahan yang akan dipakai pada penelitian ini adalah lembaran baja tahan karat austenitic (AISI 304) dan baja karbon

sedang, Elektroda stainless steel AWS E-308, Resin dan katalis, Amplas, dan Larutan NHO<sub>3</sub>

Tabel : 1 Komposisi kimia Bahan

Material	C	Mn	Si
AISI 304	0.0567	1,25	0,485
Baja karbon	0.018	0.802	0.166
ER 308	≤ 0.08	1.0-2.5	≤ 0.60

### Pengelasan Dissimilar Metals

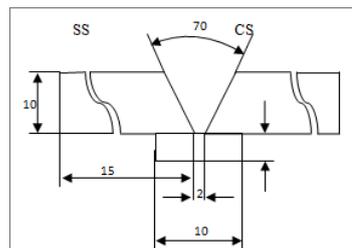
Tahap awal penelitian ini adalah melakukan pengelasan pelat baja karbon sedang dan Baja tahan karat dan bahan tambah ER.308 ( $\varnothing = 0,8$ ) menggunakan las filler dengan 3 kali pengelasan (layer) kondisi pengelasan pada arus (I) 100 A, tegangan (E) 19 volt dan kecepatan (V) 120mm/menit. Tebal pelat yang digunakan setebal 10 mm, alur las dibuat dalam bentuk V dengan sudut 70°.

**Prosedur Pengujian**

**Proses Pengelasan**

Proses pengelasan menggunakan mesin las MIG. Mekanisme proses las adalah torch dirangkai dalam satu kerangka yang digerakkan oleh motor yang dapat diatur kecepatannya dan bergerak di atas benda kerja, pemanasan dimasukkan dalam oven pemanas listrik diberikan setelah selesai pengelasan dengan variasi temperature 450°C , 550°C dan 650°C. selama kurang lebih 3 jam.

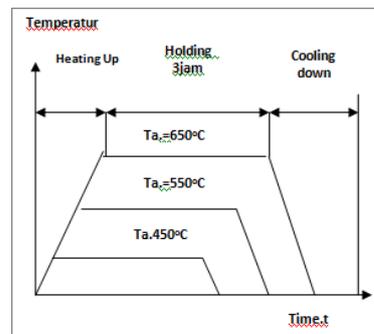
P	S	Cr	Ni
0.0989	0.0119	17,9	8,27
0.054	0.015	0,000	0,273
≤ 0.03	≤ 0.03	19.5-22.0	9.0-11.0



Gambar 1. Geometri sambungan las

**Proses PWHT**

- Heating merupakan proses pemanasan yang direncanakan sampai temperatur ,450 ,550,650 °C bertahan selama 3 jam.
- Holding adalah menahan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan adanya perubahan struktur mikro.
- Cooling adalah mendinginkan hasil pengelasan dengan kecepatan sesuai dengan lingkungan atau pada suhu kamar.



Gambar 2 .Siklus thermal PWHT

**Analisa Struktur Mikro**

Pengujian dilaksanakan dengan menggunakan mikroskop optik logam Olympus dan cairan etsa yang digunakan berupa larutan nital (propanol + 5% HNO<sub>3</sub> ).

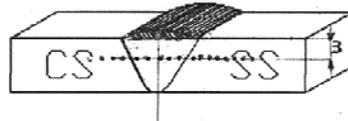
**Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode pengujian kekerasan mikro Vickers (VHN) dengan, beban 500gf dan jarak antar titik 400 µm mulai dari daerah las sampai logam induk seperti pada Gambar 3. Nilai kekerasan dihitung menurut persamaan:

$$VHN = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Dengan VHN =Nilaikekerasan spesimen  
 P = Beban skala mikro

D = Diagonal injakan penetrator



Gambar 3. Posisi pengujian kekerasan mikro

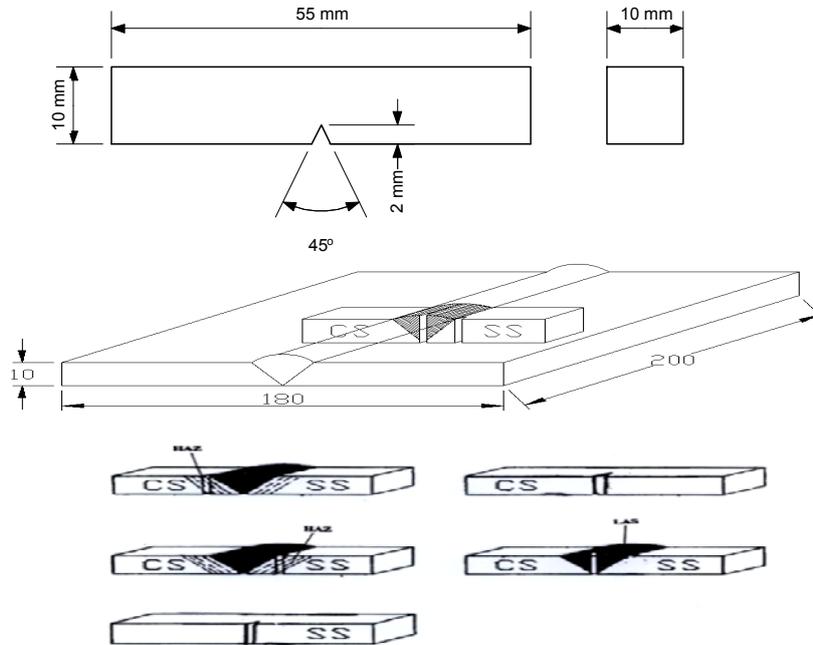
### Uji Impak

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketangguhan logam las setelah mengalami perlakuan panas melalui oven pemanas listrik terhadap beban mendadak (kejut). Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin charpy, dari hasil pengujian dapat diketahui harga tenaga patah dari logam las. Besarnya energi patah ditentukan dengan persamaan:

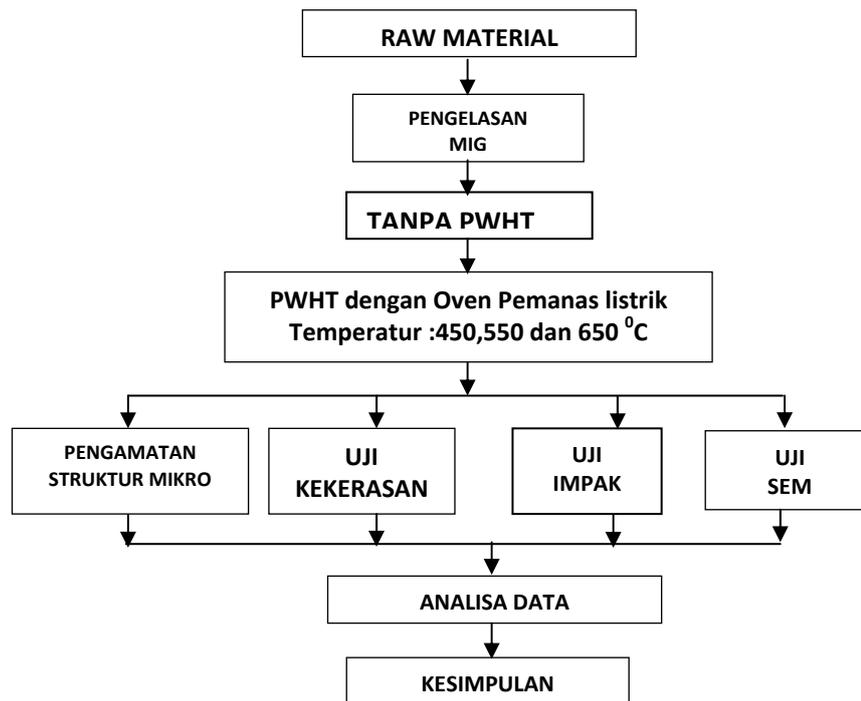
$$HI = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (\text{Joule } HK = \frac{HI}{A} \quad (\text{Joule/mm}^2))$$

dimana:

HI = Harga Impak, HK = Harga Keuletan,  $G = W \times g$  = berat beban (lihat pada mesin) x gravitasi, R = jarak titik beban ke pusat ayunan (R, lihat pada mesin),  $\beta$  = sudut ayunan mematahkan benda uji,  $\alpha$  = sudut ayunan tanpa benda uji, A = luas penampang patahan ( $\text{mm}^2$ )



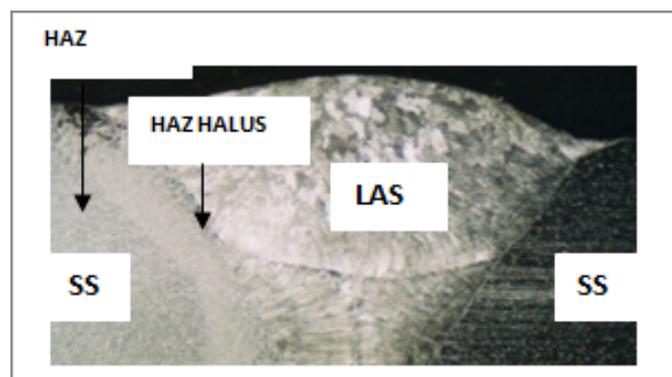
Gambar 4. Spesimen uji Impak



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

## PEMBAHASAN

### 1 Pengamatan Makro



Gambar 6. Foto makro sambungan las

Tujuan pengamatan Struktur Makro adalah untuk mengetahui bentuk visual sambungan las dan zona-zona las yang meliputi daerah logam induk, Heat Affected Zone (HAZ) (halus dan kasar) dan logam las pada pengelasan *dissimilar metals* seperti pada Gambar 6.

Struktur mikro masing-masing zona dengan variasi PWHT terlihat seperti pada Gambar .7

Daerah las adalah daerah gabungan antara logam induk baja tahan karat, baja karbon dan filler ER 308 dengan struktur mikro berupa dendrite kolom (*columnar dendritic*). Daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah daerah yang mengalami siklus termal selama proses pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro. Struktur mikro pada daerah HAZ baja karbon adalah bainit, dan pada HAZ baja tahan karat adalah pengasaran butir austenite. Logam Induk (CS/SS)

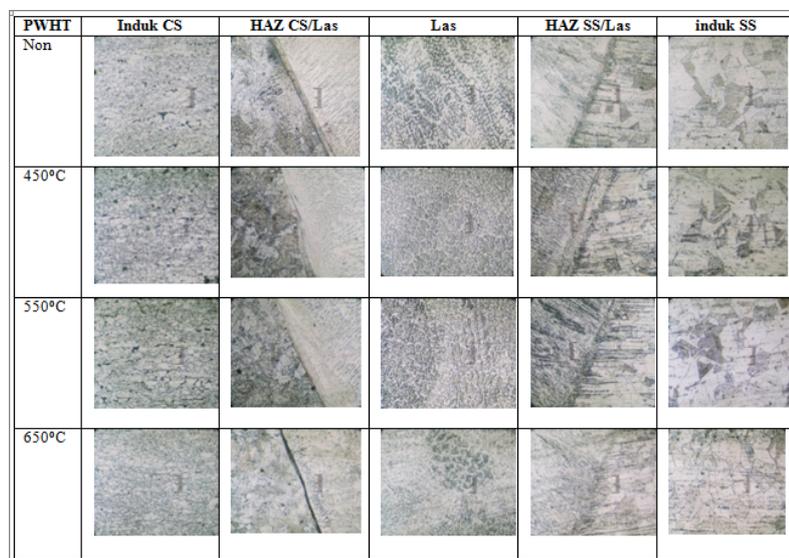
, merupakan salah satu daerah yang tidak terpengaruh terhadap siklus termal baik mikro struktur maupun sifat mekanik. Struktur mikro berupa butiran halus memanjang searah dengan arah rol. Gambar 7. terlihat bahwa PWHT tidak mengubah struktur mikro secara signifikan karena dilakukan dibawah suhu kritis. PWHT hanya menyebabkan penurunan kerapatan dislokasi (*dislocation density*) sehingga menyebabkan kenaikan keuletan dan penurunan kekerasan.

## 2. Pengamatan Struktur Mikro

Gambar.6. memperlihatkan struktur mikro HAZ kasar baja karbon berbentuk serpihan sejajar yang tumbuh dari batas butir menuju bagian dalam butir yang merupakan ciri khas struktur bainit. Daerah ini mengalami pertumbuhan butir fasa austenit saat proses pengelasan dan saat pendinginan fasa austenit bertransformasi menjadi bainit. Struktur mikro Heat Affected Zone (HAZ) halus, yang diperlihatkan oleh Gambar 6. Struktur mikro ini berupa butiran perlit dan ferit yang halus. Pada HAZ halus temperatur saat proses pengelasan mencapai fasa austenit, dan hanya terjadi rekristalisasi karena temperaturnya sedikit diatas titik kritis.

Daerah peralihan (transisi) antara HAZ kasar dan logam las dinamakan batas las (*fusion line*), secara lebih jelas bisa di lihat pada Gambar 6. Batas antara HAZ halus dan logam induk dinamakan daerah transformasi sebagian. Saat terjadi pengelasan mengalami transformasi menjadi fasa austenit dan sebagian lagi masih tetap dalam fasa ferit dan perlit ( $\alpha + Fe_3C$ ). Keadaan logam induk terlihat pada Gambar.7 memperlihatkan struktur mikro ferit dan perlit yang merupakan ciri utama baja *hypoeutectoid*. Bentuk struktur ferit dan perlit terlihat memanjang ke arah samping sebagai akibat proses pengerolan saat proses manufaktur pelat baja. Struktur mikro HAZ dibagian SS berupa butir austenit yang kasar akibat pemanasan selama proses pengelasan berlangsung.

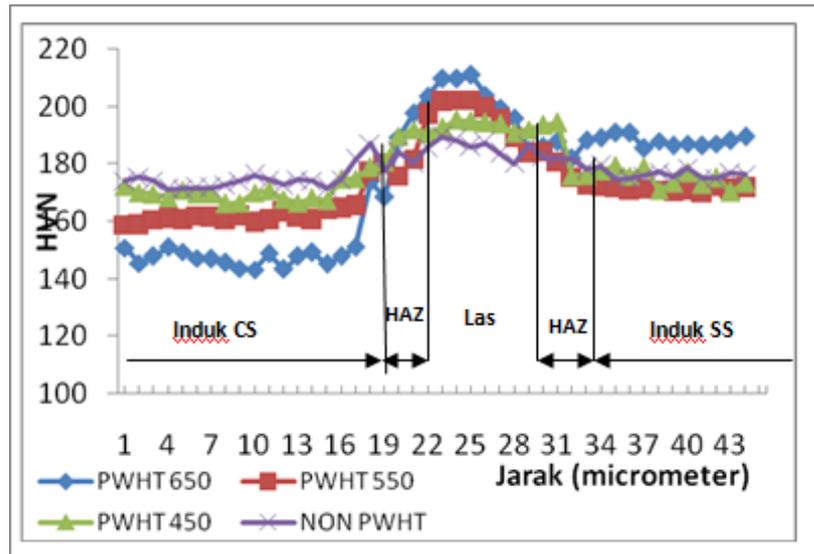
Gambar.7 memperlihatkan struktur mikro ferit dan perlit yang merupakan ciri utama baja *hypoeutectoid*. Bentuk struktur ferit dan perlit terlihat memanjang ke arah samping sebagai akibat proses pengerolan saat proses manufaktur pelat baja. Struktur mikro HAZ dibagian SS berupa butir austenit yang kasar akibat pemanasan selama proses pengelasan berlangsung.



Gambar 7. Struktur Mikro Las/HAZ dan Induk CS/SS

## Uji Kekerasan Vickers

Pengujian Kekerasan menggunakan metode *mikro vickers* dengan penggunaan beban 500 gf pada masing-masing specimen untuk memperoleh distribusi kekerasan mulai dari logam inti CS sampai ke logam induk SS, maka dibuat jarak antara injakan sebesar 400  $\mu m$ . Gambar 8. memperlihatkan distribusi kekerasan las.



Gambar. 8. Distribusi kekerasan pada las

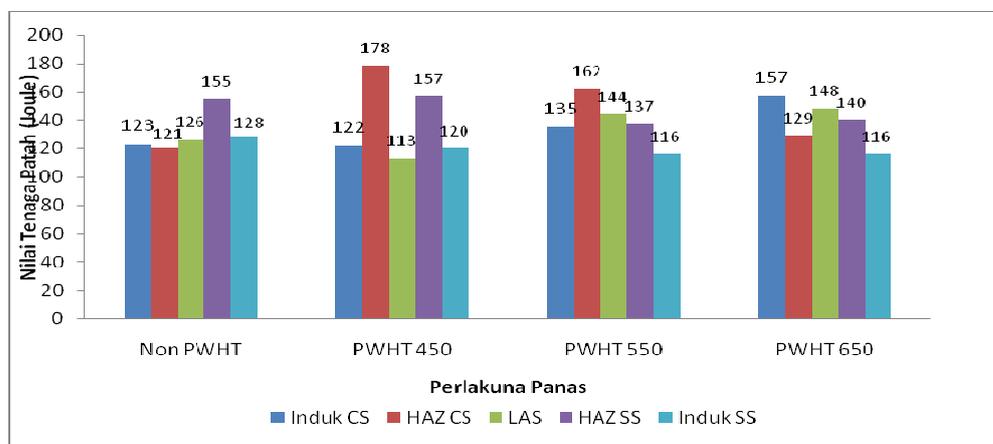
Nilai kekerasan pada masing-masing specimen tergantung pada variasi PWHT yang diberikan seperti terlihat pada Gambar 8. Nilai kekerasan pada logam induk lebih rendah dibanding daerah HAZ, hal ini disebabkan pengaruh proses PWHT dan juga mempengaruhi bentuk struktur mikro pada daerah HAZ yang mengakibatkan perbedaan kekerasan. Hasil uji kekerasan daerah CS, daerah las dan daerah HAZ SS memperlihatkan variasi PWHT terhadap kekerasan sambungan las. Nilai kekerasan rata-rata logam induk CS Non PWHT yaitu 174 VHN, sedang pada induk CS dengan PWHT 450 °C sedikit mengalami suatu penurunan kekerasan yaitu menjadi 168 VHN sedangkan pada PWHT 650 °C yaitu 147 VHN akan tetapi pada PWHT 550 °C terjadi kenaikan menjadi 161 VHN. Pada daerah HAZ CS non PWHT sebesar 180 VHN lebih tinggi dari kekerasan logam induk (177,3 VHN), PWHT 450 °C menyebabkan penurunan kekerasan HAZ menjadi 178 VHN sedangkan pada PWHT 550 °C menjadi 174 dan PWHT 650 °C menjadi 162 VHN dimana ini ditandai dengan adanya perubahan bentuk dari butir yang semakin besar. Nilai kekerasan rata-rata logam induk SS Non PWHT sebesar 176 VHN, sedangkan pada logam induk SS dengan PWHT 450 °C terjadi kenaikan 176 VHN, pada inti SS dengan PWHT 550 °C mengalami penurunan menjadi 171 VHN, sedangkan pada inti SS dengan PWHT 650 °C sedikit mengalami kenaikan menjadi 188 VHN. Variasi kekerasan ini disebabkan karena pada batas-batas butirnya terbentuk kromium karbida yang mempunyai sifat keras dan getas. Logam las non PWHT mempunyai kekerasan rata-rata yang tinggi karena mengalami pembentukan kromium karbida akibat dari siklus thermal berupa pemanasan sampai mendekati titik cair kemudian diikuti dengan pendinginan. Dengan PWHT 650 °C dan PWHT 550 °C terjadi pelarutan kembali karbon dalam austenit sehingga kekerasannya menurun, terutama pada daerah HAZ SS.

Tabel 2. Nilai rata-rata kekerasan

No	PWHT	INDUK.CS	HAZ. CS
1	NON	174	180
2	450 °C	168	178
3	550 °C	161	174
4	650 °C	147	162

## Uji Impact

Pengujian Impact dilakukan pada daerah logam lasan untuk mengetahui terjadinya perubahan sifat tenaga patah pada logam dari getas menjadi ulet.



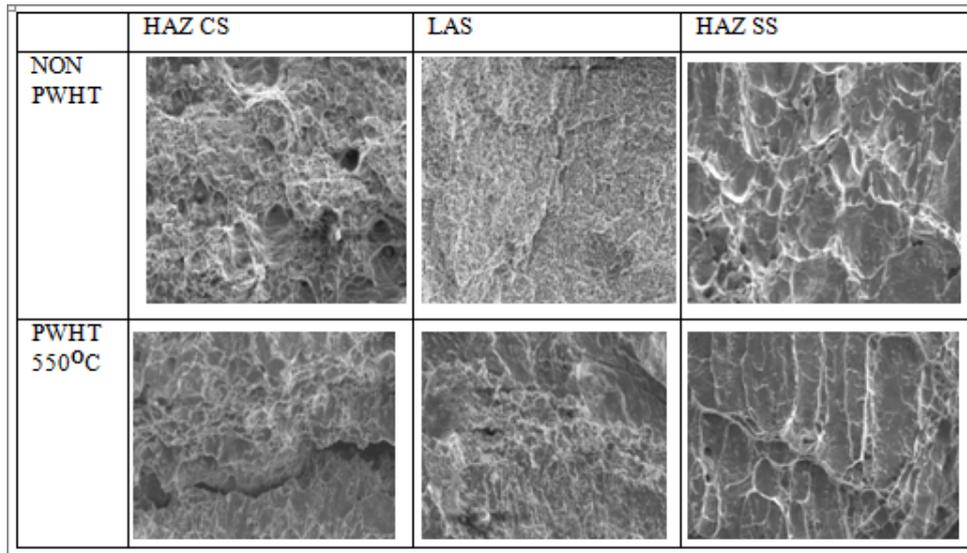
Gambar 9. Grafik Tenaga Patah

Gambar 9. Menunjukkan ketangguhan daerah las terbesar terjadi pada PWHT 650 °C sebesar 148 J dan ketangguhan terkecil pada PWHT 450 °C yaitu 113 J. Gambar 5.7 Menunjukkan ketangguhan daerah HAZ CS terbesar terjadi pada PWHT 450 °C sebesar 178 J dan ketangguhan terkecil terjadi pada non PWHT sebesar 121 J, sedangkan ketangguhan pada HAZ SS terbesar terjadi pada PWHT 450 °C sebesar 157 J dan ketangguhan terkecil pada PWHT 550 °C sebesar 137 J ditunjukkan pada Gambar 10, sedang pada ketangguhan daerah induk CS terbesar terjadi pada PWHT 650 °C sebesar 157 J dan ketangguhan terkecil pada PWHT 450 °C sebesar 122 J. Gambar 9 ketangguhan daerah induk SS terbesar terjadi pada non PWHT sebesar 128 J sedangkan ketangguhan terkecil pada daerah PWHT 550 °C dan 650 °C sebesar 116 J pada Gambar. 9.

## Pengamatan Fraktografi

Pengamatan *fraktografi* (patahan) dilakukan dengan cara pengamatan yaitu foto SEM. Pengamatan permukaan patahan hasil pengujian impact dengan foto seperti pada Gambar .10 dibawah ini.

Pada pengujian impact yang telah dilakukan pada ketiga kondisi daerah HAZ carbon steel, logam las dan HAZ stainless steel dihasilkan harga tenaga patah yang baik mulai terjadi kenaikan pada perlakuan panas (PWHT) 550 °C. Selanjutnya dilakukan pengamatan bentuk patahan yang terjadi dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dibandingkan dengan bentuk patahan pada material tanpa perlakuan panas (*non heat treatment*). Gambar 11 menunjukkan permukaan penampang patah yang berbeda. Kondisi daerah logam las pada material tanpa perlakuan panas (Non PWHT) bentuk penampang patahan berupa cekungan-cekungan kecil (*dimple*) dibanding bentuk penampang patah pada daerah yang sama untuk kondisi daerah logam las material PWHT 550 °C yang memiliki penampang patah relatif agak kasar dan rata (*cleavage fracture*). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi daerah logam las material PWHT 550 °C lebih getas akibat ketidakmampuan struktur menahan pembebanan mendadak (kejut). Daerah HAZ CS pada gambar 10 menunjukkan permukaan patah yang berbeda. Pada spesimen Non PWHT daerah Haz CS alur penampang patahan (stabil) relatif agak kasar dan rata (*cleavage fracture*) dibandingkan dengan spesimen PWHT 550 °C daerah HAZ CS pada daerah yang sama, yaitu dengan bentuk penampang cekungan-cekungan kecil (*dimple*) dan terdapat retakan memanjang yang diakibatkan adanya carbon yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen PWHT 550 °C daerah HAZ CS mengalami patahan yang lebih getas akibat ketidakmampuan struktur dalam menahan perambatan retak dari beban dinamik, karena itu sulit untuk mengambil kesimpulan dari uji struktur mikro dari SEM



Gambar 10. Fraktografi dengan SEM Non PWHT dan PWHT 55°C

Daerah HAZ SS Hasil pengamatan permukaan patah pada pengujian impak dengan SEM dari setiap daerah pengujian terdapat perbedaan bentuk patahan yaitu patahan getas dan patahan ulet. Patah ulet terjadi karena patahan *transgranular* yaitu putusannya ikatan atom sepanjang bidang kristalografi. Jenis patahan ini terjadi karena pembelahan (*cleavage*) sesuai dengan arah orientasi atom. Patah *dimple* terjadi karena penggabungan *microvoid* akibat adanya deformasi dari beban berlebih. Timbulnya *microvoid* dimulai dari tempat-tempat berkumpulnya konsentrasi tegangan seperti endapan, dislokasi, inklusi, dan cacat-cacat lain yang ada dalam logam. Bentuk permukaan patahan seperti pada daerah HAZ SS terlihat bahwa permukaan *dimple*-nya lebar dan dalam yang menunjukkan bahan tersebut sangat elastis atau ulet

## KESIMPULAN

Berdasarkan data dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. PWHT, pada temperatur 450 °C memberikan kekuatan tarik (*tensile strength*) termasuk kekuatan luluhnya (*yield strength*) yang terbaik karena semua bagian hamper sama kekuatan tariknya.
2. PWHT pada temperatur 450 °C memberikan nilai impak HAZ CS dan HAZ SS yang terbaik dan daerah las yang menunjukkan keuletan.
3. PWHT pada temperatur 450 °C menurunkan nilai kekerasan HAZ baja karbon dan baja tahan karat, hal ini disebabkan adanya endapan (*precipitation*) karbida krom diantara batas butir *austenite*. Kekerasannya rendah yang berarti makin baik karena semakin ulet.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM.,2003, *Metal Test Methods and Analytical Procedures*, Annual Book of ASTM Standard, Sec. 3, Vol. 03.01, E647-00, pp.615-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken.
- Barnhouse, E.J and Lippold,J.C., 2002, *Microstructure Property Relationship in Dissimilar Welds Between Duplex Stainless Steel and Carbon Steel*, Supplement to The Welding Journal.
- Callister,W.D.,2007,“*Material Science and Engineering an Introduction 7<sup>ed</sup>*”, Wiley
- Dupont,J.N.Banovic,S.W. and Marder,A.R.,2003, *Microstructural Evolution and Weldability of Dissimilar Welds between a Super Austenitic Stainless Steel and Nickel-Based Alloys*,Departement of Materials Science and Enggineering, Lehigh University, Bethlehem, Palestina.
- Jones, D.A., 1991, “*Principle and Prevention of Corrosion*”, Mc. Millan Publishing Company, New York

- Liu, S., 1992, Metallography of HSLA Steel Weldments Engineering Materials, volume 69 dan 70, pp 2-20.
- Messler, Robert W., 1999. *Principles of welding, Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy*. A Wiley-Interscience Publication. New York.
- McPherson N., A. *A Study of the Structure of the Dissimilar Submerged ArcWelds*. Metallurgical And Materials Transaction. Volume 29A, Marc 1998.
- Okumura, T., dan Wiryono Sumarto, H., 1987. *Teknik Pengelasan Logam*, edisi VII PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suharno, Ilman, M.N dan Jamasri., 2004, Pengaruh Masukan Panas pada Pengelasan Busur Terendam Terhadap Ketangguhan dan Suhu Transisi Baja SM 490, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, ISBN: 979-98888-0-8, pp.hal. 36-42.
- Thewllis, G., 1992, Factor Affecting Weld Metal Properties in Arc Welding, British Steel Cooperation.
- Trethewey, K. R. & Chamberlain, J., 1991, “*Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*” , PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Wiryo Sumarto, H. dan Okamura, T, 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Widharto, S., 2001, “*Karat dan Pencegahannya*”, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.

## KARAKTERISTIK GAYA MAGNETIK PADA SISTEM PEMBANGKIT GAYA MAGNETIK

Wandi Arnandi<sup>1</sup>, Sigit Iswahyudi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNTIDAR Magelang  
e-mail : <sup>1</sup>wandiarnandi@gmail.com, <sup>2</sup>sigit\_iswahyudi@yahoo.com

### ABSTRACT

Friction is the main problem on mechanical system. It cause wears on the component that reduces strength and life of the component. Friction on the component of vehicle's power train also reduces the efficiency of power transmission that result in more fuel consumption. In order to increase the efficiency of power transmission, it is needed a system with less friction. Propulsion system using magnetic forces has much less friction than mechanical one. To generate magnetic force, a magnetic force generator is needed. This study was aimed to understand the characteristics of magnetic force that generated by magnetic force generator. In order to reach the goal, a prototype of magnetic force generator has built and characterized. The prototype consists of magnetic field generator and force generator. The magnetic field generator was made of rectangular solenoid that made of copper wire coiled on a steel ST 37 core with 26 coils. The force generator was made of isolated copper wire with 2,6 mm in diameter and sank spirally inside a force element. Two adaptors were used as a source of direct current. The experiment was done by measuring the change of prototype weight on a digital scale while the electric potential of the solenoid was kept constant and the electric potential of force conductor was varied 3, 6, 9, and 12 volt. The change of prototype weight was recorded according to five operating conditions. First: the electric potential of force conductor ( $V_1$ ) and solenoid ( $V_2$ ) were switched off, 2<sup>nd</sup> condition:  $V_1$  off and  $V_2$  on, 3<sup>rd</sup> condition:  $V_1$  and  $V_2$  off, 4<sup>th</sup> condition:  $V_1$  on and  $V_2$  off, and 5<sup>th</sup> condition:  $V_1$  and  $V_2$  off. For each variation of electric potential and condition, the maximum and minimum value of the change of specimen weight was observed and recorded. Result shows that the prototype can generate magnetic forces at 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup>, and 5<sup>th</sup> conditions. The force is impulsive. Third condition that estimated can generate constant force, it also generates impulsive force. The magnetic force is decrease with the increase in electric potential of the force conductor.

**Keywords:** magnetic force generator, force conductor electric potential, magnetic force

### PENDAHULUAN

Gesekan merupakan masalah utama dalam sistem mekanis. Gesekan menyebabkan keausan pada komponen yang dapat mengurangi kekuatan dan umur komponen. Gesekan antar komponen dalam sistem pemindah tenaga kendaraan juga dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi pemindahan tenaga yang berakibat pada borosnya pemakaian bahan bakar.

Untuk meningkatkan efisiensi pemindahan tenaga, diperlukan sistem yang sedikit mengalami gesekan. Sistem penggerak dengan menggunakan gaya magnetik memiliki gesekan yang jauh lebih kecil dibandingkan sistem mekanis, sehingga lebih efisien. Selain itu, sistem penggerak yang menggunakan gaya magnetik tidak memerlukan proses pembakaran untuk membangkitkan tenaga gerak sehingga dapat menjadi alternatif solusi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Penelitian mengenai pemanfaatan magnet dan listrik yang disusun di dalam sistem propulsi telah dilakukan untuk kepentingan industri transportasi dan sudah sangat maju. Kemajuan penelitian ini dapat dilihat pada kereta api supercepat milik Jepang bernama Shinkansen yang telah dioperasikan sejak 1 Oktober 1964. Penerbangan suatu kendaraan magnetik menggunakan gaya angkat dan gaya dorong menggunakan medan magnet alami dan menggunakan arus eddy di darat dan air pada ketinggian yang rendah (Pulatov, 2005).

Propulsi listrik juga telah dikembangkan dengan berbagai macam metode. *Magneto-plasma-dynamic thruster (MPDT)*, *hall thruster*, *pulsed plasma thruster (PPT)*, *diode laser microthruster*, *laser propulsion*, *electrothermal PPT* dan *ion thruster* merupakan bagian dari penelitian penting di bidang ini untuk memfasilitasi peluncuran satelit-mikro dan operasionalnya (Kuninaka dan Komurasaki, 2007).

Konsep yang dikembangkan saat ini menggunakan prinsip gaya tarik-menarik antara kutub magnet yang berbeda dan gaya tolak menolak antara kutub magnet yang sejenis, dengan cara membolak-balik arus yang melalui kumparan pembangkit medan magnet seperti pada kereta api supercepat. Konsep ini sedang dikembangkan untuk pendorong roket dan peluncuran pesawat ruang angkasa (Bolonkin, 2009).

Matsoukas dan Akhmed (2012) meneliti kemungkinan pemanfaatan elektroda asimetri dalam sistem propulsi kendaraan. Sebuah model sederhana dan ringan dibuat dari kayu balsa dan elektroda asimetri dibuat dari aluminium foil dan kawat. Parameter penelitian meliputi geometri dan konstruksi elektroda, bahan dielektrik dan tegangan input. Hasil penelitian menunjukkan adanya gaya dorong yang dihasilkan dari sistem propulsi yang dibuat.

Penelitian mengenai pemanfaatan magnet dan listrik sebagai sistem penggerak memang sudah maju. Namun penerapan untuk penggerak kendaraan ringan yang diarahkan secara komersial belum nampak. Untuk dapat menerapkan magnet sebagai penggerak kendaraan perlu dilakukan penelitian untuk mengembangkan suatu sistem pembangkit gaya magnetik yang memanfaatkan magnet dan listrik sebagai sumber gaya gerak. Penelitian ini merupakan studi awal dalam upaya menerapkan gaya magnetik sebagai penggerak kendaraan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik gaya magnetik yang dibangkitkan oleh suatu pembangkit gaya magnetik. Karakteristik yang diteliti meliputi pengaruh perubahan tegangan konduktor gayaterhadap gaya magnetik yang dibangkitkan.

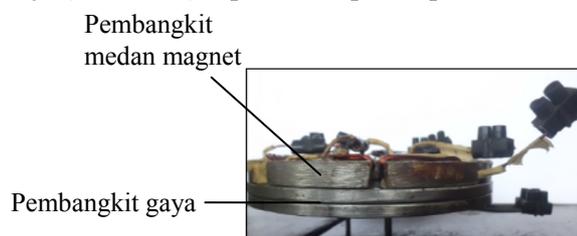
### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan mengikuti tahapan sebagai berikut.



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

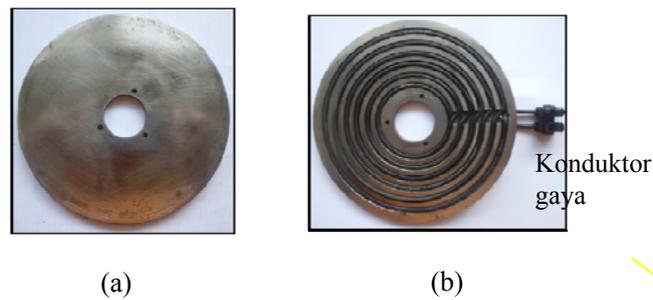
Prototipe pembangkit gaya magnetik yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 2. Prototipe ini memiliki dua bagian utama, yaitu pembangkit medan magnet dan pembangkit gaya. Pembangkit medan magnet berupa solenoida dengan penampang segi empat dibuat dari kawat tembaga berlaminasi berdiameter 1 mm yang dililitkan pada inti dari baja ST 37 dengan jumlah lilitan 26 tiap elemen (Gambar 3). Pembangkit gaya terdiri dari konduktor gaya dan elemen gaya. Konduktor gaya dibuat dari tembaga berisolator berdiameter 2,6 mm berbentuk spiral dan ditanam dalam elemen gaya berupa piringan baja (Gambar 4). Spesifikasi prototipe tercantum dalam Tabel 1.



Gambar 2. Prototipe Pembangkit Gaya Magnetik



Gambar 3. Pembangkit Medan Magnet



Gambar 4. Pembangkit Gaya. (a) Elemen Gaya Bagian Atas, (b) Elemen Gaya Bagian Bawah

Tabel 1. Spesifikasi Prorotipe

No	Nama Bagian	Spesifikasi
1	Pembangkit medan magnet: a. Bahan inti elemen b. Jumlah elemen c. Bahan kumparan medan d. Jumlah lilitan e. Hambatan total kumparan medan (solenoida)	Baja ST 37 8 Tembaga dilaminasi $\varnothing$ 1 mm 26 lilitan tiap elemen 0,5 $\Omega$
2	Pembangkit gaya: a. Bahan elemen gaya b. Tebal elemen gaya c. Bahan konduktor gaya d. Panjang konduktor gaya e. Hambatan total konduktor gaya	Baja ST 37 7,73 mm Tembaga berisolator $\varnothing$ 2,6 mm 1,136 m 0,2 $\Omega$

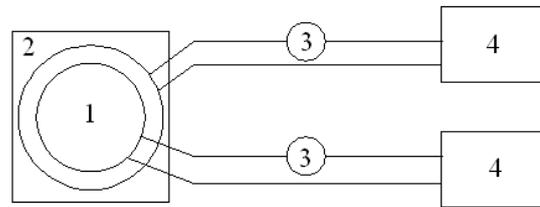
Alat yang digunakan terdiri dari.

1. timbangan digital berkapasitas 50 kg dengan ketelitian 0,001 kg,
2. dua buah adaptor berkapasitas 7 ampere dengan variasi tegangan luaran pada panel adaptor 3 V, 6 V, 7,5 V, 9 V, 12 V, dan 13,8 V. Nilai tegangan luaran nyata hasil pengukuran ditampilkan dalam Tabel 2.
3. koil pembatasarus dengan nilai hambatan 1,70  $\Omega$ , dan
4. multimeter digital dengan ketelitian 0,01  $\Omega$ .

Tabel 2. Tegangan Luaran Adaptor

Tegangan Pada Panel Adaptor (Volt)	Tegangan Luaran Hasil Pengukuran	
	Adaptor untuk Konduktor Gaya ( $V_1$ ) (Volt)	Adaptor untuk Kumparan Medan ( $V_2$ ) (Volt)
3	3,50	3,57
6	6,20	6,31
7,5	7,90	8,00
9	10,11	10,21
12	13,03	13,10
13,8	14,45	14,55

Skema rangkaian peralatan uji ditampilkan pada Gambar 5.



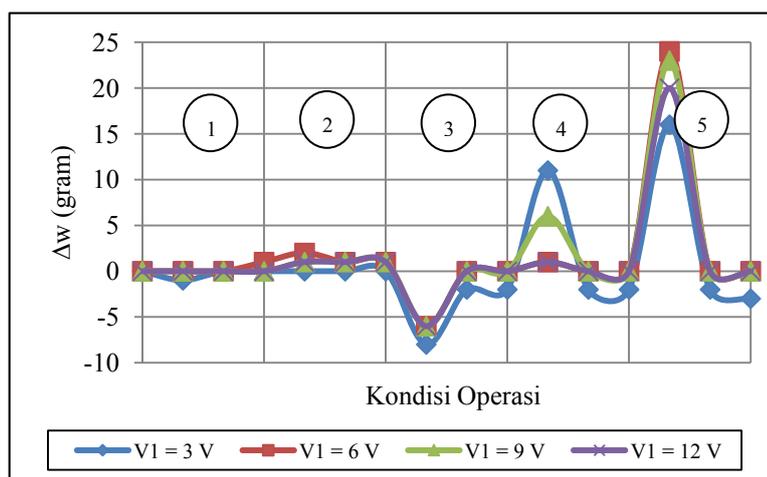
Keterangan: 1. Prototipe, 2. Timbangan digital, 3. Tahanan luar (koil), 4. Adaptor

Gambar 5. Skema Rangkaian Peralatan Uji

Pengujian dilakukan dengan cara mengukur perubahan berat prototipe ( $\Delta w$ ) di atas timbangan digital untuk empat variasi tegangan konduktor gaya ( $V_1$ ) dan lima kondisi operasi. Empat variasi tegangan konduktor gaya adalah 3V, 6V, 9V, dan 12V. Tegangan kumparan medan ( $V_2$ ) dipertahankan konstan 12V. Kondisi operasi 1 : tegangan konduktor gaya ( $V_1$ ) dan kumparan pembangkit medan magnet ( $V_2$ ) off, kondisi 2 :  $V_1$  off dan  $V_2$  on, kondisi 3 :  $V_1$  dan  $V_2$  on, kondisi 4 :  $V_1$  on dan  $V_2$  off, dan kondisi 5 :  $V_1$  dan  $V_2$  off. Untuk setiap variasi tegangan konduktor gaya dan pada setiap kondisi operasi, perubahan berat prototipe diamati dan dicatat nilai awal, nilai maksimum, dan nilai akhirnya.

### PEMBAHASAN

Pengujian prototipe bertujuan untuk mengetahui karakteristik gaya magnetik yang dibangkitkan oleh prototipe. Gambar 6 memperlihatkan grafik perubahan berat prototipe pada lima kondisi operasi untuk empat variasi tegangan konduktor gaya. Dari gambar diketahui bahwa prototipe yang dibuat dapat membangkitkan gaya magnetik pada kondisi operasi 3, 4, dan 5. Pada kondisi 3, gaya yang dibangkitkan mengarah ke atas. Ini ditunjukkan dengan perubahan berat prototipe yang bernilai negatif. Gaya magnetik terbesar yang dibangkitkan pada kondisi ini adalah 8 gram untuk nilai  $V_1 = 3$  Volt. Pada kondisi 4 dan 5, gaya yang dibangkitkan mengarah ke bawah yang ditunjukkan dengan perubahan berat prototipe yang bernilai positif. Pada kondisi 4, gaya terbesar yang dibangkitkan adalah 11 gram untuk nilai  $V_1 = 3$  Volt dan pada kondisi 5 sebesar 24 gram untuk nilai  $V_1 = 6$  Volt. Gaya yang dibangkitkan bersifat impulsif. Kondisi 3 yang diharapkan menghasilkan gaya yang bersifat stabil, ternyata menghasilkan gaya yang bersifat impulsif.



Gambar 6. Perubahan Berat Prototipe vs. Kondisi Operasi Empat Variasi Tegangan Konduktor Gaya

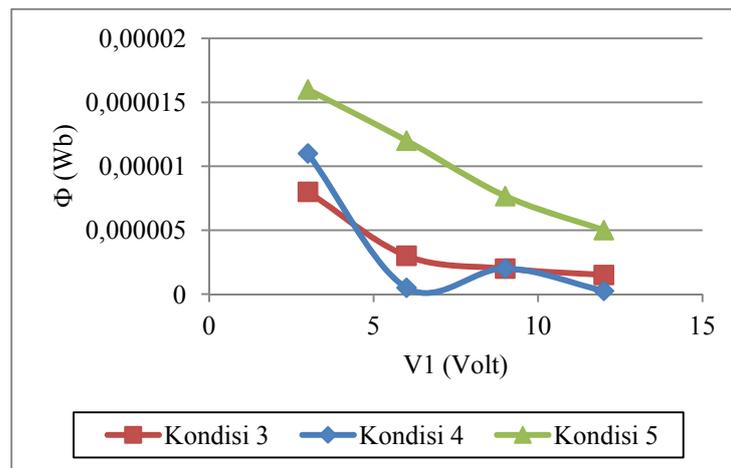
Gambar 6 juga menunjukkan bahwa gaya magnetik maksimum yang dibangkitkan cenderung turun dengan meningkatnya tegangan konduktor gaya. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh berkurangnya fluks magnetik pembangkit gaya di dalam elemen gaya akibat dari meningkatnya medan magnet yang dibangkitkan oleh konduktor gaya. Besarnya fluks magnetik pembangkit gaya ( $\Phi$ ) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\Phi = \frac{F}{cV_1} \dots\dots\dots(1)$$

dengan  $F$  adalah gaya magnetik yang dibangkitkan,  $V_1$  adalah tegangan konduktor gaya, dan  $C$  adalah konstanta yang diperoleh dari persamaan,

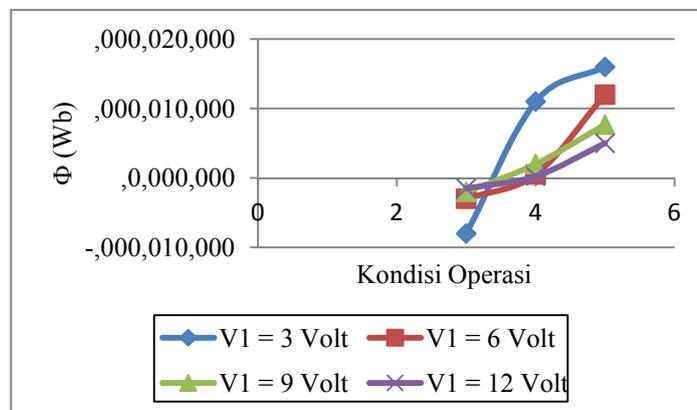
$$C = \frac{1}{R_1} \sum_{i=1}^{i=6} \frac{l_i}{A_i} \dots\dots\dots(2)$$

Hasil perhitungan fluks magnetik pembangkit gaya berdasarkan data pengukuran (Gambar 8) menunjukkan bahwasemakin besar tegangan konduktor gaya, fluks magnetik pembangkit gaya semakin berkurang. Berkurangnya fluks magnetik pembangkit gaya ini mengakibatkan gaya magnetik maksimum yang dibangkitkan mengalami penurunan.



Gambar 8. Fluks Magnetik Maksimum Pembangkit Gaya vs. Perbandingan Tegangan Konduktor Gaya dan Kumparan Medan

Pada kondisi 4 dan 5, gaya magnetik yang dibangkitkan mengarah ke bawah. Ini ditunjukkan dengan perubahan berat prototipe ( $\Delta w$ ) yang bernilai positif. Berdasarkan analisis data pengukuran, perubahan nilai dan arah gaya magnetik ini disebabkan oleh perubahan nilai dan arah fluks magnetik pembangkit gaya seperti ditunjukkan dalam Gambar 9. Fluks magnetik bernilai (-) menunjukkan bahwa arah fluks magnetik pembangkit gaya dalam elemen gaya mengarah radial keluar sedangkan fluks magnetik bernilai positif (+) menunjukkan arah fluks magnetik pembangkit gaya mengarah radial ke dalam. Fluks magnetik yang berarah radial keluar elemengaya menghasilkan gaya magnetik ke atas sedangkan fluks magnetik yang berarah radial ke dalam menghasilkan gaya magnetik ke bawah.



Gambar 9. Fluks Magnetik Maksimum Pembangkit Gaya v.sKondisi Operasi Untuk Empat Variasi Tegangan Konduktor Gaya

## **KESIMPULAN**

Dari hasil pengujian dan analisis data, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe yang dibuat dapat membangkitkan gaya magnetik ketika konduktor gaya dan kumparan medan dialiri arus listrik dan ketika arus listrik pada salah satu atau keduanya dimatikan.
2. Gaya magnetik yang dibangkitkan bersifat impulsif dan dipengaruhi oleh tegangan listrik pada konduktor gaya. Semakin besar tegangan listrik pada konduktor gaya, gaya magnetik yang dibangkitkan semakin kecil.
3. Gaya magnetik yang dibangkitkan mengalami perubahan nilai dan arah ketika tegangan listrik pada kumparan medan dan atau konduktor gaya dimatikan.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *reviewer*, teknisi, laboran, Kepala Laboratorium Teknik Mesin, Ketua Program Studi Teknik Mesin, Dekan Fakultas Teknik, Ketua Pusat Penelitian-HKI Universitas Tidar, Rektor Universitas Tidar, dan semua pihak yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materiil sehingga penelitian ini dapat terlaksana sesuai yang direncanakan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bolonkin, A., 2009. *The World's Future New Technologies and Revolutionary Projects*, Book New Technology, New York.
- Kuninaka, H., and Komurasaki, K., 2007. *Advancing Japanese Electric Propulsion, The 30th International Electric Propulsion Conference*, Florence, Italy.
- Matsoukas, G., and Ahmed, N. A., 2012. Experimental Investigation of Employing Asymmetrical Electrodes in Propulsion of Vehicles, *Procedia Engineering*, Vol. 49, pp. 247-253, Elsevier.
- Pulatov, V., 2005. Physics of Magnetic Propulsion, *Progress in Aerospace Science*, Vol. 41, pp. 64-91, Elsevier.

## REDESAIN POLA MOTIF KAIN TENUN CUAL BANGKA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FRAKTAL

Ilham Ary Wahyudie<sup>1</sup>, Zanu Saputra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, <sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro dan Informatika, POLMAN NEGERI BANGKA  
e-mail :<sup>1</sup>arywahyudie@yahoo.com, <sup>2</sup>zanoi\_sapoetra83@yahoo.com

### ABSTRACT

*Motifs woven fabric can be turned into a motif typical of certain regions. Redesign using fractal is one way to get the motif. In this study the redesign has made the "burung hong" and "kembang cina" motif taken from woven fabric cual bangka. Redesign with fractal method using software to facilitate jBatik researchers in conducting mathematical iteration. The use of software display a visual form jBatik directly. The purpose of this study was to answer the curiosity of researchers does cual bangka motifs woven fabric can be made into a motif typical fart using the concept of iteration. In a broader context, the author aims to participate in introducing textile motifs typical motifs of Bangka and develop into a unique motif and set of mathematical formulas. Based on the results of experiments that have been carried out conclusions that can be drawn, among others, the use of fractal method is feasible to do a redesign of the motifs woven into batik and fractal method can help the development of design ideas.*

**Kata kunci :** *cual bangka, fractal method*

### PENDAHULUAN

Bangsa Indonesia sangat kaya dengan keanekaragaman seni dan budaya. Setiap daerah memiliki ciri khas tersendiri dalam hal seni dan budaya tersebut. Seni maupun peinggalan seni Bangsa Indonesia seperti kain tenun, batik, dan lainnya. Batik pun memiliki corak-corak khas yang berbeda disetiap daerah, contohnya batik Cirebon, batik Pekalongan, batik Solo, batik Jogja, batik madura dan batik lainnya yang tentu sangat berbeda corak serta motifnya.

Salah satu peninggalan karya seni yang ada di Pulau Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung adalah kain tenun cual. Tenun cual mulanya merupakan kain adat bagi bangsawan di ujung barat Pulau Bangka, tepatnya di Kota Muntok. Tenun ini memadukan teknik sungkit dan tenun ikat dengan kekuatan utama pada susunan motif yang unik. Meski mirip songket, kain ini memiliki motif yang khas dengan warna-warni hasil pintalan beragam benang. Motifnya lebih luwes dengan banyak lengkungan dan hiasan yang terinspirasi dari bentuk tumbuhan, hewan, alam atau benda di lingkungan sekitar.

Kain tenun cual Bangka ini merupakan kain khas yang digunakan oleh para bangsawan Bangka pada masa lalu. Kain ini sepiantas menyerupai kain songket namun memiliki pola atau motif yang sangat berbeda. Keistimewaannya terletak pada lengkungan, serta motif flora dan fauna. Keseluruhan motif tersebut dipengaruhi dari budaya Tionghoa.

Kain cual tidak hanya ada di Bangka, namun ada pula di daerah lain seperti Anambas Kepulauan Riau yang tentu saja memiliki kekhasan dan motif tersendiri.

Kain tenun cual Bangka telah dikenal sejak abad XVI dan beberapa tahun terakhir tenun cual kembali populer. Menurut data yang ada bahwa permintaan kain tenun cual di Bangka terus meningkat. Produksi kain tenun didominasi oleh motif-motif tua (peninggalan). Dalam kurun waktu sebulan, produksi rumah tangga di Bangka hanya membuat sekitar 50 helai kain. Keterbatasan produksi kain cual tersebut diakibatkan oleh sedikitnya pengrajin tenun. Untuk membuat satu kain, tiap penenun membutuhkan waktu satu hingga dua belas minggu. Lamanya proses produksi tersebut dipengaruhi oleh rumitnya motif kain tenun. Dengan lama waktu produksi tersebut membuat harga sehelai kain cual tergolong mahal. Kisaran harga kain tenun cual berkisar antara Rp 3.000.000,00 hingga Rp 10.000.000,00.

Meskipun motif kain tenun tersebut merupakan motif "tua" namun motif tersebut tetap diproduksi dan motif-motif tersebut menjadi khas daerah. Makna motif tersebut diakui hanya orang-orang tertentu yang memahaminya. Orang-orang awan akan kesulitan karena motif kain tenun berbeda dengan motif batik. Agar motif yang dibanggakan ini menjadi lebih populer perlu dipikirkan bagaimana membuat redesign motif kain tenun menjadi motif batik.

Teknologi komputerisasi berkembang pesat diabad 21. Karya-karya seni rupa, suara, dan visual mulai menggunakan teknologi komputerisasi untuk memperluas bidang cakupan, keterbatasan

daya imajinasi serta kreasi. Seni visual dibuat secara berulang (iteratif) untuk memvisualkan bentuk sederhana yang pada akhirnya akan diperoleh pola-pola rumit dan kompleks. Pola seni ini bertumpu pada proses perulangan pola dan bentuk yang mirip. Pola berulang (iteratif) akan menghasilkan bentuk fraktal sebagaimana pola berulang aritmatik sederhana dapat menghasilkan pola chaos.

Pola iterasi dapat dicontohkan misalnya rumus utama adalah  $X$ , rumus detail adalah  $X = YX$ . Maksud iterasi adalah mengganti  $X$  dengan  $X = YX$  secara berulang-ulang. Seandainya kita melakukan iterasi  $X$  sebanyak 3 kali maka akan dihasilkan iterasi ke-1 =  $X$ , iterasi ke-2 =  $YX$ , iterasi ke-3 =  $Y YX$ . Demikian seterusnya sehingga terjadi pola pengulangan secara teratur.

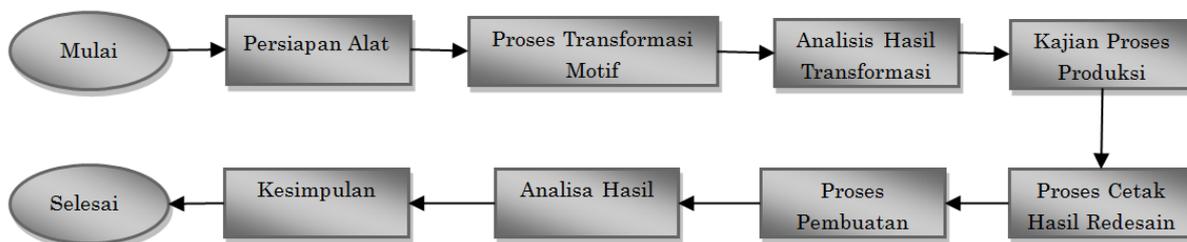
Batik fraktal adalah suatu batik yang dalam proses penggambaran motif menggunakan sebuah pengulangan (iterasi) rumus-rumus matematika. Dalam seminar "Mathematics in Batik Fractal", Kombinasi Seni, Sains, dan Teknologi yang diselenggarakan di ITB pada tahun 2008, dijelaskan bahwa fraktal muncul sebagai tanda keteraturan dalam kekacauan (chaos) pada suatu sistem yang kompleks. Suatu motif batik yang telah dibuat fraktalnya, dapat dihasilkan banyak motif desain lainnya.

Dalam makalah lainnya, Yun Hariadi, dkk (2009) telah meneliti tentang batik yang berasal dari daerah Garut ditinjau dari geometri fraktal. Disimpulkan dalam penelitian tersebut, bahwa batik setiap daerah memiliki perbedaan dan kekhasan tersendiri.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menjawab keingintahuan peneliti apakah motif kain tenun cual bangka dapat dibuat menjadi motif batik khas bangka menggunakan konsep iterasi. Dalam konteks yang lebih luas, penulis bertujuan ikut serta dalam memperkenalkan motif-motif kain khas Bangka serta mengembangkan motif tersebut menjadi motif yang unik dan dibentuk dari rumusan matematika.

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian yang telah dilakukan ini dibuat tahapan-tahapan agar memudahkan peneliti dalam melakukan penelitian. Tahapan dalam penelitian ini dibuat seperti berikut ini.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, peneliti dibatasi waktu sehingga agar proses redesain dapat dikerjakan secara efektif maka digunakan software JBatik sebagai alat bantu.

## PEMBAHASAN

Motif kain tenun yang dijadikan objek dalam penelitian ini adalah kain tenun dengan motif burung hong dan kembang cina. Pada proses percobaan untuk melakukan transformasi dari motif kain tenun tersebut mengalami banyak kendala yang dihadapi. Kendala-kendala tersebut antara lain, motif tidak jelas sehingga perlu upaya lain dan sedikit melakukan rekayasa terhadap motif tertentu.

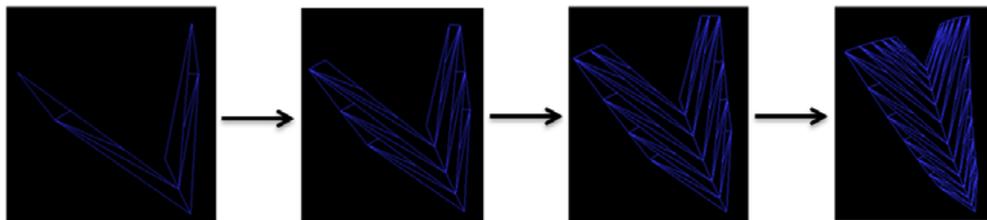
Pada proses transformasi dengan menggunakan software Jbatik maka pembuatan motif dilakukan dengan memecah motif kain tenun menjadi beberapa bagian. Motif kembang dipecah menjadi kelopak sedang, kelopak besar, bunga sedang, dan lainnya.

Motif kembang cina pada kain tenun cual seperti gambar dibawah ini.



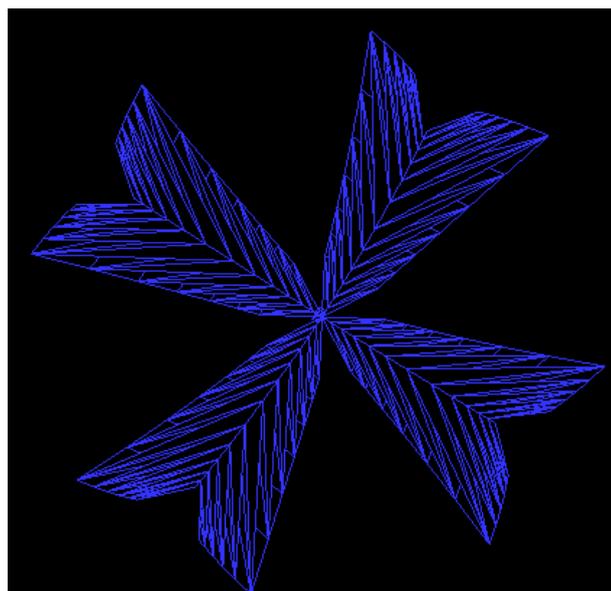
**Gambar 2.** Desain Motif Kembang Cina

Langkah selanjutnya adalah membuat detail rumus untuk menghasilkan motif yang diharapkan. Misalnya motif kelopak dengan iterasi 1 hingga beberapa kali maka akan dihasilkan gambar seperti dibawah ini.



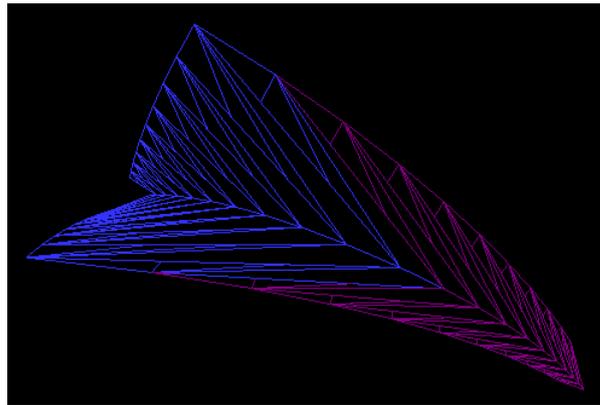
**Gambar 3.** Desain Motif Kelopak I

Selanjutnya membuat pola bunga pertama dengan menggabungkan 4 buah kelopak sedang yang telah dibuat sehingga bentuknya menjadi gambar dibawah ini.



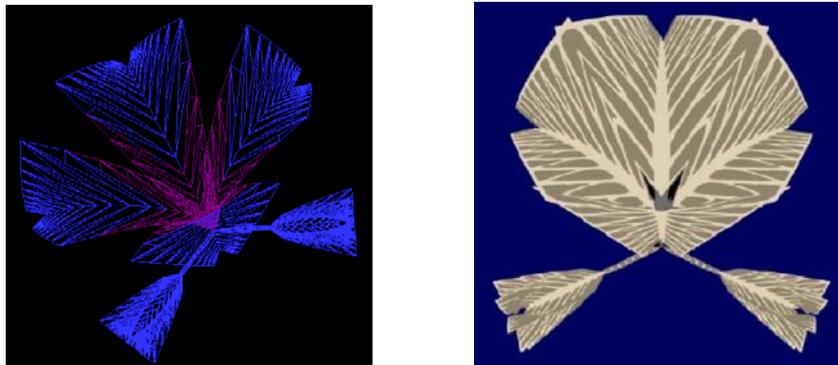
**Gambar 4.** Desain Motif Bunga I

Selanjutnya dilakukan pembuatan kelopak besar. Dengan cara yang sama dengan proses desain kelopak pertama maka dihasilkan gambar kelopak besar sebagai berikut:



**Gambar 5.** Desain Motif Kelopak II

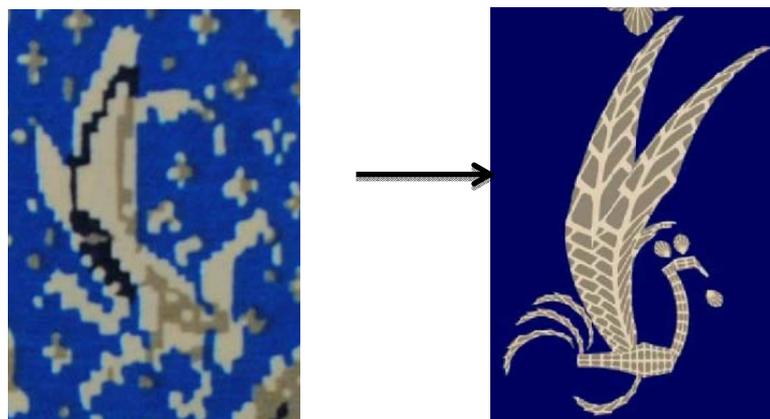
Proses berikutnya adalah membuat bunga dengan menggabungkan desain-desain yang telah dibuat sebelumnya. Pada akhirnya redesain motif kembang Cina kain tenun cual adalah gambar dibawah ini.



**Gambar 6.** Desain Motif Kembang Cina Fraktal

Dengan cara yang sama dilakukan proses pembuatan redesain motif burung hong. Motif burung hong tersebut memang terlalu sulit untuk dibayangkan bentuknya sehingga dilakukan improvisasi terhadap motif pada kain tenun tersebut.

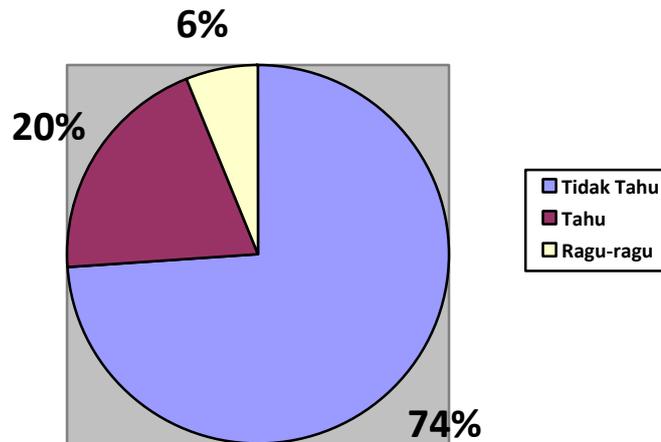
Hasil proses redesain menggunakan metode fraktal ditunjukkan pada gambar berikut ini.



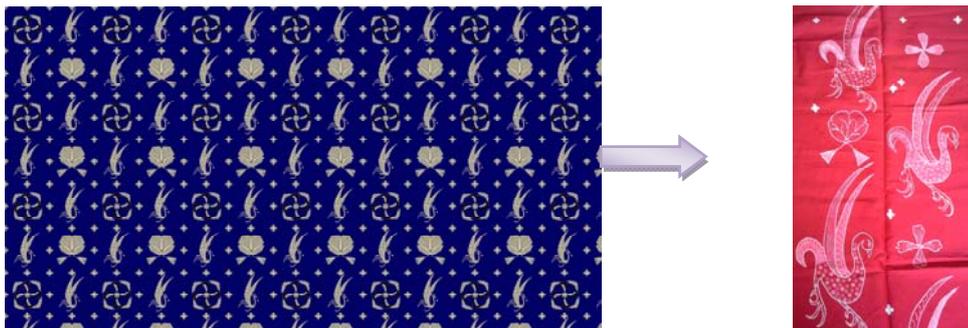
**Gambar 7.** Desain Burung Hong Dengan Metode Fraktal

Setelah proses selesai dilakukan maka langkah selanjutnya adalah melakukan survey terhadap hasil redesain. Survey dilakukan dengan metode kuisisioner dengan tujuan mendapatkan masukan terhadap hasil redesain tersebut. Responden tersebar di 3 daerah dan berjumlah 50 orang. Hasil survey menunjukkan bahwa 37 responden atau sekitar 74% tidak mengetahui bentuk burung hong yang ada

pada motif kain tenun. Hal ini dapat berarti bahwa responden tidak terlalu peduli dengan bentuk motif kain.



Berdasar pada hasil kuisisioner tersebut maka dibuat sebuah motif lain yang berorientasi pada pandangan responden sehingga didapatkan bentuk corak redesain dari batik fraktal. Adapun redesain menggunakan fraktal dan desain berdasar pada pandangan konsumen ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



## KESIMPULAN

Berdasar pada hasil percobaan yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan metode fraktal sangat mungkin dilakukan untuk melakukan redesain terhadap motif kain tenun menjadi motif batik;
2. Motif batik yang dihasilkan akan berbeda bila gambar motif kain tenun tidak sempurna;
3. Metode fraktal dapat membantu pengembangan ide desain;
4. Motif burung hong belum terlalu dikenal dimasyarakat dan perlu dipromosikan dengan baik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini terkhusus kepada :

1. Dikti – Kemdikbud RI sebagai penyandang dana penelitian
2. Nancy Magried dan Tim Pikel Indonesia

Semoga amal kebaikan yang telah diberikan mendapat pahala yang setimpal dari Yang Maha Kuasa. Amin.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Adiwastra, dkk, 2009. jBatik: menelusuri perkembangan motif kawung melalui kuantifikasi dan algoritma. Adiwastra Nusantara Seminar.
- Asni, 2008. "Mathematics in Batik Fractal", Kombinasi Seni, Sains, dan Teknologi. [www.itb.ac.id/news/2262.xhtml](http://www.itb.ac.id/news/2262.xhtml). (diakses tanggal 4 April 2012)
- Baroto T.I, 2009, Development Of Indonesia New Batik Design By Exploration And Exploitation Of Recent Context. [www.its.ac.id/.../3232-baroto-prodes-...](http://www.its.ac.id/.../3232-baroto-prodes-...) (diakses tanggal 4 April 2012)
- Yun Hariadi, dkk, 2009, Batik Garut dalam tinjauan Geometri Fraktal. [www.batikfractal.com/.../Japan-Foundation\\_2009\\_Batik-Garut-dalam-Tinj...](http://www.batikfractal.com/.../Japan-Foundation_2009_Batik-Garut-dalam-Tinj...), (diakses tanggal 4 April 2012)

## PENINGKATAN SIFAT MEKANIS BAJA KARBON RENDAH MELALUI METODE *NITROCARBURIZING* DC PLASMA

Warsito<sup>1</sup>, KurniawanJoko Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Pratama Mulia Surakarta

e-mail : <sup>1</sup>warsitowardaya@gmail.com, <sup>2</sup>kurniawanjoko72@yahoo.co.id

### ABSTRACT

*This research is aimed to know the effect nitrocarburizing process of low carbon steel. Nitrocarburizing process is combination of nitriding and carburizing method where the nitrogen and carbon atom are diffused into the workpiece surface simultaneously at around 550 °C temperature. The gas was composition of N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> for 3,05% CH<sub>4</sub>, 19,31% H<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> balance. For getting the nitrocarburizing process the examiner need the pressure of 1,2 mBar. Variation of time at 1,3,5 hours in 500 °C. The examiner used the chemical compositions test, the hardness test, and the wear test for nitrocarburizing result. In the condition of 1,2mBar vacuum pressure with processing temperature 500 °C and diffused time at 5 hours. Produce the increasing of hardness number by 2,48 % (329,6 VHN) and wear resistance of 66,27 % (2,78E-08 mm<sup>2</sup>/kg).*

*Keyword : Plasma nitro carburizing, low carbon steel, Hardness and Wear Properties.*

### PENDAHULUAN

Baja karbon rendah banyak digunakan karena baja karbon rendah memiliki keuletan yang tinggi dan mudah dilakukan perlakuan permukaan lanjut untuk meningkatkan sifat keausan dan kekerasan maupun kekuatan, *tetapi kekerasannya rendah dan tidak tahan aus*. Untuk mengatasi hal tersebut perlu menggunakan teknologi rekayasa perlakuan permukaan logam, diantaranya proses pengerasan permukaan *evaporasi, implantasi ion, sputtering*, plasma *nitriding* maupun plasma *nitrocarburizing*. Teknologi rekayasa perlakuan permukaan logam (*surface hardening*) yang digunakan pada penelitian ini adalah proses *plasma nitrocarburizing* dikarenakan mempunyai beberapa keunggulan bila dibanding dengan teknologi rekayasa permukaan logam yang lain diantaranya adalah waktu *nitrocarburizing* lebih cepat, *tidak terjadi perubahan bentuk*, dapat digunakan pada seluruh bahan baja, bersih dari atom-atom pengotor, mudah dalam pengaturan dan pengontrolannya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi atau mengendalikan proses *nitrocarburizing* adalah *dimensi tabung reaktor plasma, laju aliran gas, tingkat kevakuman, sistem pemercepat tegangan tinggi, jarak antara elektroda, temperatur benda kerja dan waktu lamanya proses* (Lee, 2008).

Tujuan penelitian ini untuk ; menentukan komposisi kimia bahan baja karbon rendah, memperoleh data variasi waktu proses *nitrocarburizing* terhadap kekerasan bahan, dan memperoleh data variasi waktu proses *nitrocarburizing* terhadap keausan bahan.

Chang dan Chen (2003), meneliti tentang evaluasi ketahanan aus proses plasma *nitrocarburizing* pada bahan AISI 316L *stainless steel*. Temperatur yang digunakan adalah 565 °C. Hasil dari penelitian ini didapat lapisan tipis yang terbentuk 70 µm, pada suhu 570 °C selama 5 jam, dengan komposisi gas yang digunakan adalah 4:1 untuk N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub> sedangkan CH<sub>4</sub> adalah 2 %.

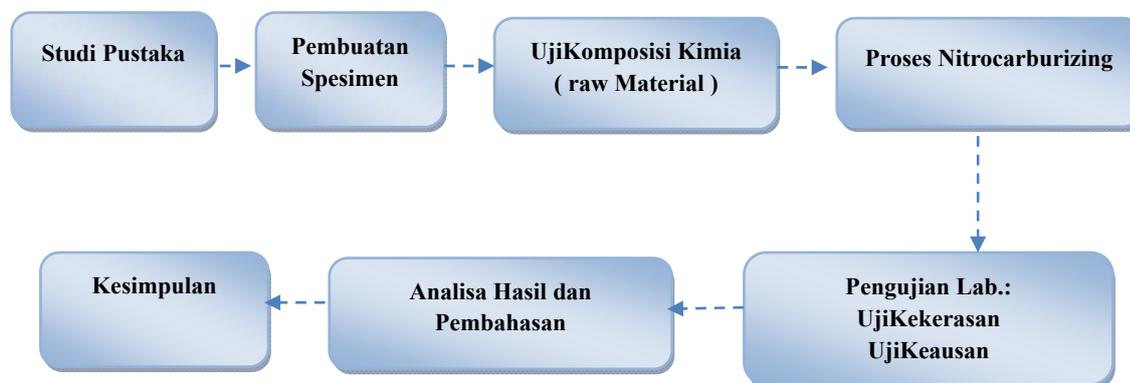
Anthonijs, dkk., (2006), melakukan penelitian tentang pengaruh proses nitridasi terhadap sifat mekanis permukaan baja paduan rendah AISI 4340, proses nitridasi dilakukan dengan menggunakan tungku pemanas yang dialiri gas ammonia (CH<sub>3</sub>) murni pada suhu 525 °C dan 550 °C selama 6 jam. Uji yang dilakukan adalah *uji ketahanan aus, uji kekerasan, pengamatan struktur mikro dan penentuan fasa*. Sampel yang telah dinitridasi mengalami *peningkatan 2 kali* spesimen awal baik untuk *ketahanan aus* maupun *kekerasannya*. Untuk pengamatan *struktur mikro* pada permukaan terjadi *lapisan tipis dengan ketebalan 10 µm* dan dibawahnya lapisan difusi setebal 40 µm dan 50 µm, masing-masing untuk suhu 525 °C dan 550 °C. Dari analisis X-Ray difraksi fasa yang ada adalah *fasa nitride Fe<sub>3</sub>N<sub>2</sub>* dan terdapat juga oksida besi Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## METODE PENELITIAN

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Bahan Penelitian : 1) bahan yang digunakan di dalam penelitian adalah baja karbon rendah, 2) pipa PVC untuk membuat rumah cetakan, 3) resin dan katalis untuk bahan cetakan, 4) amplas dari nomor 100– 2000 untuk meratakan permukaan specimen, 5) autosol untuk poles untuk menghaluskan permukaan specimen, 6) gas H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> untuk proses *nitrocarburizing*. Peralatan yang digunakan : 1) alat Nitridasi tersedia di Laboratorium Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Badan Tenaga Atom Nasional Yogyakarta, 2) *microhardness Tester* : Alat ini tersedia di Laboratorium Bahan Mekanik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Merk Buehler, 3) spektrometer : Alat uji komposisi kimia, merk Hilger, type E 2000/Fe, 4) *ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine (Type OAT-U)* mesin ini berfungsi untuk uji keausan di Laboratorium Bahan Mekanik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

## PEMBAHASAN

### Uji Komposisi

Hasil pengujian komposisi kimia specimen dengan bahan baja karbon rendah diperoleh prosentasi berat masing-masing unsur seperti pada Tabel 1.

Tabel 4.1. Komposisi Kimia Bahan Baja Karbon Rendah

Unsur	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Fe
%	0,19	0,4	0,6	1,45	1,7	0,4	95,13

Dari hasil pengujian komposisi kimia bahan specimen yang ditabulasikan pada Tabel 4.1. terlihat bahwa bahan baja karbon rendah yang digunakan untuk penelitian ini memiliki spesifikasi mendekati standar baja AISI 1017.

### Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada permukaan specimen bahan dasar yang tidak dilakukan proses *nitrocarburizing* dan specimen yang telah diproses *nitrocarburizing* dilakukan pada tiga titik secara acak, sehingga diperoleh data kekerasan yang baik. Proses pengujian dilaksanakan dengan uji kekerasan *Vickers Hardness*, dengan beban penjejakan 10 gf dan waktu penjejakan selama 10 detik. Hasil pengujian kekerasan pada specimen sebelum dilakukan proses *nitrocarburizing* diperoleh angka kekerasan sebesar 94,7 VHN. Hasil pengujian kekerasan pada permukaan specimen dengan bahan baja karbon rendah yang tidak dinitrocarburizing dan yang dilakukan proses *nitrocarburizing* dengan variasi tekanan vakum dan temperatur secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan Vickers

Spesimen T.. °C/P..mBar	No	Posisi Titik	Diagonal 1 (mm)	Diagonal 2 (mm)	Diagonal rata-rata (mm)	Harga Kekerasan (VHN)
Raw Material	1	Acak	0,0140	0,0140	0,01400	94,7
	2	Acak	0,0140	0,0140		
	3	Acak	0,0140	0,0140		
T : 500 °C / P : 1,2 mBar 1 Jam	1	Acak	0,0093	0,0094	0,0093	212,8
	2	Acak	0,0090	0,0093		
	3	Acak	0,0094	0,0096		
T : 500 °C / P : 1,2 mBar 3 Jam	1	Acak	0,0080	0,0080	0,0081	282,6
	2	Acak	0,0082	0,0082		
	3	Acak	0,0081	0,0081		
T : 500 °C / P : 1,2 mBar 5 Jam	1	Acak	0,0074	0,0074	0,0075	329,6
	2	Acak	0,0075	0,0075		
	3	Acak	0,0076	0,0076		

Tabel 2. menunjukkan bahwa angka kekerasan pada permukaan spesimen dengan bahan baja karbon rendah yang tidak dilakukan proses *nitrocarburizing* diketahui sebesar 97,4 VHN, dan angka kekerasan pada permukaan spesimen yang telah mengalami proses *nitrocarburizing* pada tekanan vakum 1,2 mBar, dengan temperatur 500 °C serta waktu pendeposisian selama 5 jam mencapai 329,6 VHN sehingga terjadi peningkatan angka kekerasan sebesar 2,48 %.

### Hasil Uji Keausan

Pengujian keausan pada spesimen bahan dasar yang tidak dilakukan proses *nitrocarburizing* dan spesimen yang telah diproses *nitrocarburizing* dilakukan pada permukaan spesimen tersebut. Pengujian keausan yang dilakukan menggunakan metode *Oghosi* dengan prinsip piringan putar (*revolving disk*) sebagai media penggesek yang menggesek permukaan spesimen, gesekan tersebut akan menghasilkan jejak keausan pada bagian yang lebih lunak. Hasil pengujian keausan pada spesimen sebelum dilakukan proses *nitrocarburizing* dan yang dilakukan proses *nitrocarburizing* dengan variasi tekanan vakum dan temperatur secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Keausan

Spesimen T. (°C) / P. (mBar)	Lebar alur abrasi (mm)				bo Rata-rata	bo <sup>3</sup> (mm) <sup>3</sup>	Jarak Abrasi (m)	Abrasi Spesifik (Ws) (mm <sup>2</sup> /kg)
	b0 <sub>1</sub>	b0 <sub>2</sub>	b0 <sub>3</sub>	b0 <sub>4</sub>				
Raw Material	2,67	2,33	3,13	3	2,78	21,54	15	1,87E-05
T. 500 °C / P. 1,2 mBar 1 Jam	0,7	0,9	0,7	0,47	0,80	0,51	15	4,44E-07
T. 500 °C / P. 1,2 mBar 3 Jam	0,80	1,2	1,2	0,80	1,00	0,12	15	8,67E-07
T. 500 °C / P. 1,2 mBar 5 Jam	0,27	0,27	0,40	0,33	0,32	0,03	15	2,78E-08

Tabel 3. Nilai keausan spesimen tanpa proses *nitrocarburizing* (raw material) sebesar 1,87E-05 mm<sup>2</sup>/kg. Nilai keausan yang tertinggi pada spesimen yang telah dilakukan proses *nitrocarburizing* dengan variasi waktu pendeposisian selama 5 jam adalah sebesar 2,78E-08 mm<sup>2</sup>/kg.

### KESIMPULAN

- 1) Hasil pengujian kekerasan awal terhadap spesimen sebelum dilakukan proses *nitrocarburizing* diperoleh angka kekerasan sebesar 94,7 VHN, sedangkan hasil pengujian kekerasan terhadap spesimen yang telah dilakukan proses *nitrocarburizing* diperoleh angka kekerasan tertinggi sebesar 329,6 VHN. Pencapaian kekerasan optimum tersebut terjadi pada

perlakuan proses *nitrocarburizing* pada tekanan vakum 1,2 mBar, suhu 500°C, dengan waktu 5 jam. Dengan demikian terjadi peningkatan kekerasan sebesar 2,48 %.

- 2) Hasil uji keausan spesimen awal tanpa proses *nitrocarburizing* diperoleh nilai abrasi sebesar  $1,87E-05 \text{ mm}^2/\text{kg}$ , sedangkan hasil pengujian keausan spesimen yang telah dilakukan proses *nitrocarburizing* diperoleh nilai abrasi tertinggi sebesar  $2,78E-08 \text{ mm}^2/\text{kg}$ . Kondisi ini terjadi pada tekanan vakum 1,2mBar, suhu yang digunakan 500°C, dan waktu selama 5 jam.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anthonius, S., Sulistioso, G.S., Sumaryo, (2006), Pengaruh Proses Nitridasi Terhadap Sifat Mekanis Permukaan Baja Paduan Rendah AISI 4340, Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-Batan.
- Bandriyana, B., Tutun, N. (2003), "Desain peralatan nitridasi plasma untuk pengerasan komponen industri", Prosiding Seminar Akselator. P3TM-BATAN, 5 Nopember 2003, Yogyakarta.
- Callister, W.D., (2001), *Material Science and Engineering an Introduction fourth Edition*, John Willey and Sons, Inc, New York USA.
- Chang, C.N., dan Chen, F.S., (2003), *Wear Resistance Evaluation of Plasma Nitrocarburized AISI 316L Stainless Steel*, Materials Chemistry and Physics 82.
- Dawes C. and Tranter D., (1982), Heat Treatment of Metals, Vol. 10, No. 4.
- Haqi, M.I., (2006), Hardening Pada Baja Karbon Tinggi, Universitas Jendral Sudirman.
- Kravcchenko, A., dan Candan, H., (2007), Glow Discharge, The text is based on a lecture given by Zoltan Donko, RISSP Budapest, at the first Gladnet training course in Antwerp Sept. 2007, [www.Gladnet.eu](http://www.Gladnet.eu).
- Lee, I., (2008), *influence of temperature and time on low temperature plasma nitrocarburizing of AISI 304L austenitic stainless steel*, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 54 No. 3.
- Lee, I, dan Kwang, H.J., (2008), *Plasma Post Oxidation of Plasma Nitrocarburized SKD 61 Steel*, J. Master, Technol, vol. 24 No.1.
- Lee, K.H., Nam, K.S., Park, Y.M., Shin, P.W., Lee, D.Y., Song, Y.S., (2002), *A Study of the Corrosion Properties of Plasma Nitrocarburized and Oxidized AISI 1020 Steel*, Metal and Material International, vol. 8, No. 4, pp. 381-385.
- Lee, K., (2008), *Plasma Post Oxidation of Plasma Nitrocarburized SKD 61 Steel*. J. Master, Technol, vol. 24 No.1.
- Nan, C., Northwood, D. O., Bower, R. J., Sun, X., (2009), *Distorsi in ferritic nitrocarburized SAE 1010 plain carbon steel*, Department of Mechanical, Automotive and Materials Engineering, University of Windsor, 401 Sunset Avenue, Windsor, Ontario, Canada.
- Saptono, R., (2008), Pengetahuan Bahan, Jurusan Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Sudjatmoko, Wirjoadi, Bambang, S., Suharni, Sujitno, T., (2010), Analisis Struktur Mikro Lapisan Tipis Nitrida Besi yang Ternitridasi pada Permukaan Material Komponen Mesin, Pusat Teknologi Akselator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta.

## OPTIMASI TINGGI TEKAN DAN EFISIENSI POMPA SENTRIFUGAL DENGAN PERUBAHAN JUMLAH SUDU IMPELER DAN SUDUT SUDU KELUAR IMPELER ( $\beta_2$ ) MENGGUNAKAN SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Thoharudin<sup>1</sup>, Arif Setyo Nugroho<sup>2</sup>, Stefanus Unjanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Akademi Teknologi Warga Surakarta

e-mail : <sup>1</sup>thoharudin@gmail.com, <sup>2</sup>arif.snug@yahoo.co.id, <sup>3</sup>stefanusunjanto@yahoo.com,

### ABSTRACT

*Centrifugal pump was used in many kinds of industrial application. The product development of centrifugal pump was to obtain high efficiency so it used low power to operate. The aims of this research were to improve head and efficiency of centrifugal pump by changing the number of impeller blades and the blade exit angles of centrifugal pump so it obtained the optimum head and efficiency. This research was conducted by using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation modelled in three dimensional geometry on steady state condition. The wall was assumed to be smooth surface. The number of blades impeller pump were varied 6, 7, 8, and 9 while the blade exit angles were varied 36,5°, 46,5°, 56,5° and 66,6°. The results of this research showed that the more number of impeller blades the higher head and efficiency of centrifugal pump so the 9 blades centrifugal pump was the highest head and efficiency. By changing angles of  $\beta_2$  have not changed head of centrifugal pump significantly but they obtained significant improvement of efficiency on  $\beta_2=36,5^\circ$  namely 54,42%. The high exit angle of blade produced high speed area in the water flow between blades which has impact to low efficiency of centrifugal pump.*

**Kata kunci :** centrifugal pump, computational fluid dynamics, efficiency, head

### PENDAHULUAN

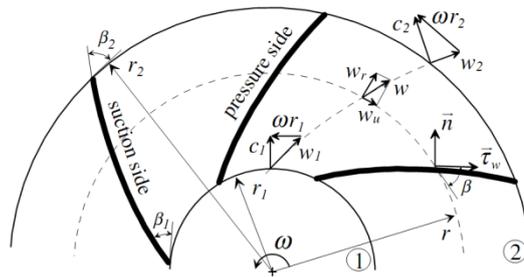
Pompa sentrifugal merupakan peralatan yang banyak digunakan pada berbagai macam aplikasi industri dan beberapa sektor lain. Pompa bekerja dengan mengonversi energi mekanik menjadi tekanan dan atau energi kinetik. Tekanan pada pompa meningkat dengan menghasilkan bagian dengan tekanan rendah (lebih rendah dari tekanan atmosfer) pada bagian sisi hisap pompa dan tekanan tinggi pada bagian keluaran pompa. Oleh karena rendahnya tekanan hisap maka fluida mengalir ke pompa dari reservoir. Fluida masuk secara axial melalui lubang hisap pada tengah pompa kemudian fluida tersebut berputar bersama dengan putaran sudu/impeler pompa.

Kaitannya mengenai desain dan prediksi unjuk kerjanya, masih merupakan hal yang perlu dikembangkan dan diteliti karena pada pompa sentrifugal terdapat banyak parameter geometri bebas. Disisi lain jika didesain dan diteliti secara eksperimental akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang signifikan karena dengan sedikit perubahan pada impeler berdampak pada perubahan head maupun efisiensi pompa tersebut.

Atas beberapa pertimbangan tersebut maka beberapa desainer mengembangkan penelitian secara simulasi numerik yang sering disebut sebagai Computational Fluid Dynamics (CFD). CFD dapat menghasilkan informasi yang akurat pada kondisi fluida yang berada di dalam mesin, dan juga dapat membantu desainer mendapatkan evaluasi unjuk kerja secara teliti pada obyek sehingga dengan penelitian menggunakan CFD pada pompa sentrifugal dapat diketahui unjuk kerja pompa baik head maupun efisiensinya.

Head dan efisiensi pompa dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jumlah impeler dan sudut impelernya khususnya sudut  $\beta_2$ . Sudut  $\beta_2$  merupakan sudut yang dibentuk dari garis tangensial impeler terhadap garis tangensial radius impeler seperti terlihat pada Gambar 1. Sudut  $\beta_2$  berpengaruh pada head pompa seperti terlihat pada persamaan 1 dimana  $\mu$  merupakan faktor slip,  $\eta_H$  merupakan efisiensi hidrolis,  $u_2$  merupakan kecepatan periperal pada bagian keluar impeler, dan  $c_{m3}$  merupakan kecepatan meridian pada lintasan keluar impeler (Bacharoudis et al., 2008).

Jafarzadeh et al. (Jafarzadeh et al., 2011) meneliti tentang pengaruh jumlah impeler dengan variasi 5, 6, dan 7 impeler terhadap head coefficient dan efisiensi pada pompa sentrifugal. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa pada head coefficient terbesar didapat pada pompa sentrifugal dengan jumlah impeler 7. Sementara itu, efisiensi optimal didapat dengan jumlah impeler 5 dan 7. Hasil yang hampir sama juga diungkapkan oleh Houlin et al. (Houlin et al., 2010) dimana pompa sentrifugal dengan variasi jumlah impeler 4, 5, 6, dan 7 memiliki head dan efisiensi tertinggi pada jumlah impeler 7.



Gambar 1. Sketsa impeler pompa sentrifugal (Anagnostopoulos, 2009).

$$H = \mu\eta_H \frac{u_2^2}{g} \left( 1 - \frac{c_{m3}}{u_2} \cot \beta_2 \right) \quad (1)$$

Pengaruh sudut  $\beta_2$  terhadap head dan efisiensi pompa sentrifugal diteliti oleh Bacharoudis et al. (Bacharoudis et al., 2008). Penelitian tersebut melibatkan tiga impeler dengan sudut  $\beta_2 = 20^\circ, 30^\circ$ , dan  $50^\circ$ . Dari ketiga variasi sudut tersebut, pompa sentrifugal dengan sudut  $\beta_2 = 50^\circ$  memiliki head paling tinggi sementara efisiensi terbesar diperoleh pada  $\beta_2 = 20^\circ$ . Dengan pertimbangan beberapa referensi tersebut maka pada makalah ini akan disajikan optimasi head dan efisiensi pompa sentrifugal dengan perubahan variasi jumlah impeler dan perubahan sudut  $\beta_2$  sudu impeler.

#### METODE PENELITIAN

Optimasi head dan efisiensi pompa dilakukan dengan metode CFD model tiga dimensi pada kondisi tunak. Model turbulensi menggunakan k-e seperti yang disarankan oleh Singh & Nataraj (Singh & Nataraj, 2012). Desain pompa diadopsi dari penelitian secara eksperimen oleh Damor et al (Damor et al., 2013) pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi pompa

Spesifikasi	Ukuran
Diameter luar impeler	111 mm
Diameter inlet impeler	52 mm
Sudut inlet sudu impeler $\beta_1$	$73,5^\circ$
Sudut outlet sudu impeler $\beta_2$	$56,5^\circ$
Ketebalan sudu impeler	3 mm
Jumlah sudu	7
Diameter shaft	14 mm

Head/ tinggi tekan pompa (H) dihitung dengan persamaan 2.

$$H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \quad (2)$$

Dimana  $\Delta P$  merupakan beda tekanan masuk dan keluar pompa (Pa),  $\rho$  merupakan densitas air ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  merupakan percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ ). Efisiensi ( $h$ ) dihitung dengan persamaan 3.

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{N} \quad (3)$$

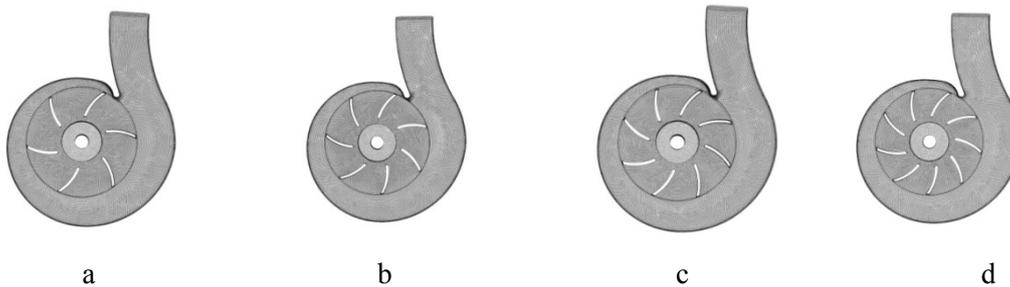
Dimana Q merupakan debit aliran ( $\text{m}^3/\text{dt}$ ) dan N merupakan daya putaran shaft pompa yang dapat diperoleh dari persamaan 4.

$$N = \frac{2 \cdot T \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (4)$$

Dimana T merupakan torsi shaft (Nm) dan n merupakan besarnya putaran shaft (rpm).

Untuk menguji keakuratan, pemodelan divalidasi dengan data unjuk kerja pompa hasil eksperimen. Ekperimen dilakukan dengan menguji karakteristik pompa pada debit air antara 0-8,78 L/dt dengan putaran sudu impeler dari 2842-2918 rpm. Selanjutnya proses optimasi unjuk kerja pompa dilakukan menggunakan simulasi CFD pada putaran konstan 2800 rpm dengan mengubah

jumlah dan bentuk impeler dengan mengubah sudut  $\beta_2$ . Variasi jumlah impeler yang digunakan antara lain: 6, 7, 8, 9 impeler sebagai mana terlihat pada model Gambar 2. Setelah diperoleh nilai unjuk kerja optimum pada jumlah impeler, selanjutnya sudut sudu impelernya divariasi  $36,5^\circ$ ,  $46,5^\circ$ ,  $56,5^\circ$ , dan  $66,5^\circ$ . Dari kedua variasi tersebut dibuat grafik head dan efisiensi terhadap debit air yang dipompakan dari 2-10 L/dt.



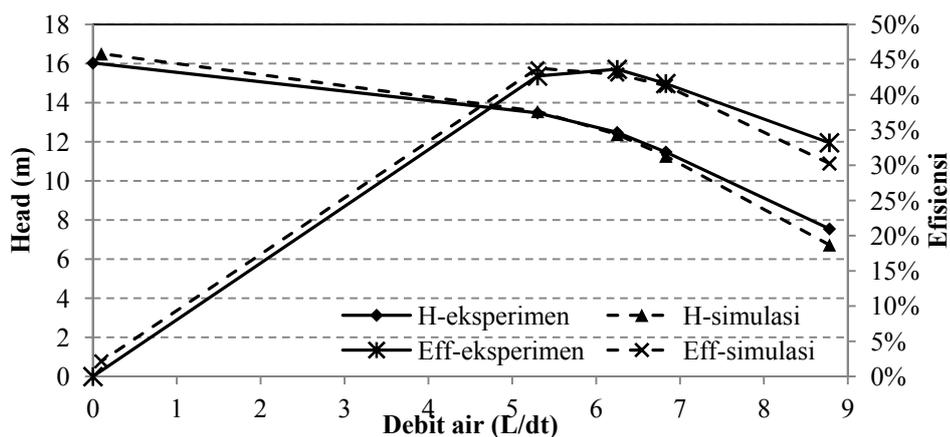
Gambar 2. Pompa setrifugal; a. 6 sudu impeler, b. 7 sudu impeler, c. 8 sudu impeler, d. 9 sudu impeler

**PEMBAHASAN**

**Validasi Model**

Validasi dilakukan untuk membandingkan model dengan eksperimen sehingga model yang dibuat memiliki hasil yang akurat. Unjuk kerja pompa sentrifugal yang diperoleh dari data eksperimen dan simulasi ditampilkan pada Gambar 3. Secara umum terlihat bahwa hasil pemodelan dan eksperimen memiliki pola yang hampir sama. Dengan semakin besarnya debit aliran air yang dipompa maka semakin kecil tinggi tekan/ head yang dihasilkan baik pada hasil pemodelan maupun eksperimen. Hal ini karena dengan semakin besar debit air maka semakin rendah beda tekanan antara masuk dan keluar pompa yang mengakibatkan rendahnya head pompa.

Sementara itu, efisiensi pompa memiliki nilai optimum pada debit air tertentu, semakin besar debit air mengakibatkan efisiensi cenderung menurun, begitu pula dengan semakin kecil debit air yang dipompakan, semakin kecil pula efisiensi pompa baik pada hasil pemodelan maupun eksperimen. Efisiensi optimum pada hasil pemodelan terjadi pada debit air 5,3 L/dt yaitu sebesar 43,78% sementara pada eksperimen efisiensi optimum pada debit 6,25 L/dt yaitu sebesar 43,64%. Perbedaan antara hasil pemodelan dan eksperimen pada nilai optimum tersebut tidak signifikan, kurang dari 2,5% dan masih memiliki pola efisiensi yang sama sehingga pemodelan dengan CFD masih dapat dikatakan akurat.

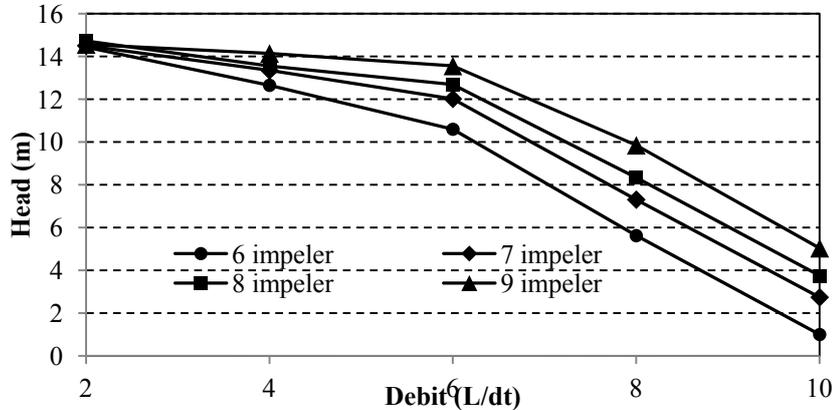


Gambar 3. Validasi model dengan eksperimen

**Pengaruh Perubahan Jumlah Sudu Impeler**

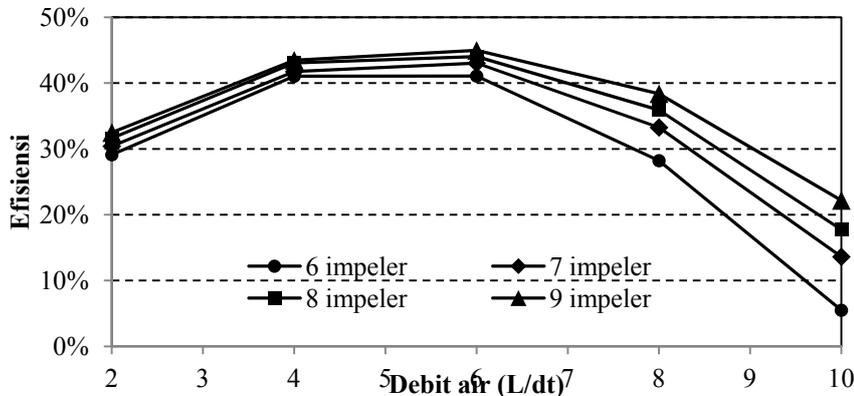
Head atau tinggi tekan pompa sentrifugal dipengaruhi oleh jumlah sudu impeler pompa. Secara umum dengan semakin banyaknya jumlah sudu impeler pompa maka semakin tinggi head pompa yang dihasilkan seperti terlihat pada Gambar 4. Peningkatan head tersebut disebabkan oleh perubahan torsi yang dihasilkan oleh sudu impeler. Dengan semakin banyaknya sudu impeler maka

semakin besar torsi sudu impeler yang dihasilkan sehingga dengan besarnya torsi tersebut maka energi yang digunakan untuk memindahkan fluida semakin besar yang ditandai dengan besarnya beda tekanan antara saluran masuk dan keluar pompa. Dengan besarnya beda tekanan tersebut maka semakin besar pula *head* yang dihasilkan pompa. Besarnya torsi pompa sentrifugal dengan jumlah sudu impeler 6, 7, 8, dan 9 pada debit 6 L/dt masing-masing sebesar 4,25, 4,48, 4,63, dan 4,85 Nm.



Gambar 4. Pengaruh jumlah sudu impeler terhadap *Head*

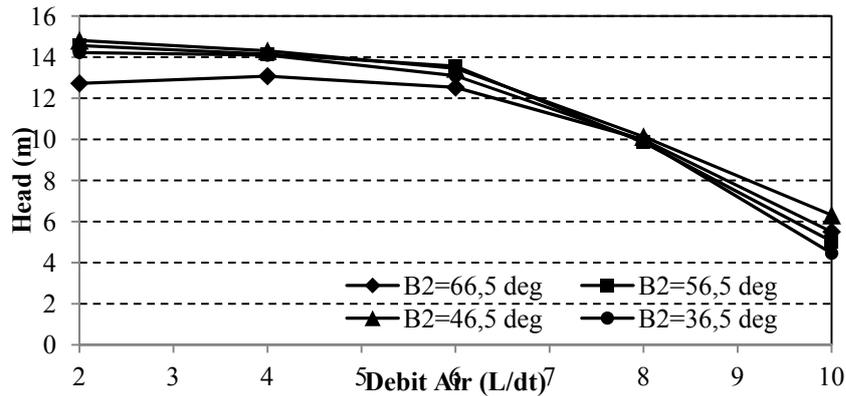
Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara debit air dengan efisiensi pompa pada tiap variasi pompa dengan jumlah impeler yang berbeda. Pada gambar tersebut terlihat bahwa efisiensi tertinggi dari pompa dimiliki oleh pompa dengan jumlah sudu impeler 9 kemudian diikuti oleh jumlah sudu impeler 8, 7, dan 6. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan semakin besar jumlah sudu impeler maka semakin besar pula efisiensi pompa yang dihasilkan. Hal ini dipengaruhi oleh *head* yang dihasilkan, sementara daya shaft pompa tidak terjadi perubahan yang signifikan sehingga dengan semakin besar *head* maka semakin besar pula efisiensi pompa yang dihasilkan.



Gambar 5. Pengaruh jumlah sudu impeler terhadap efisiensi

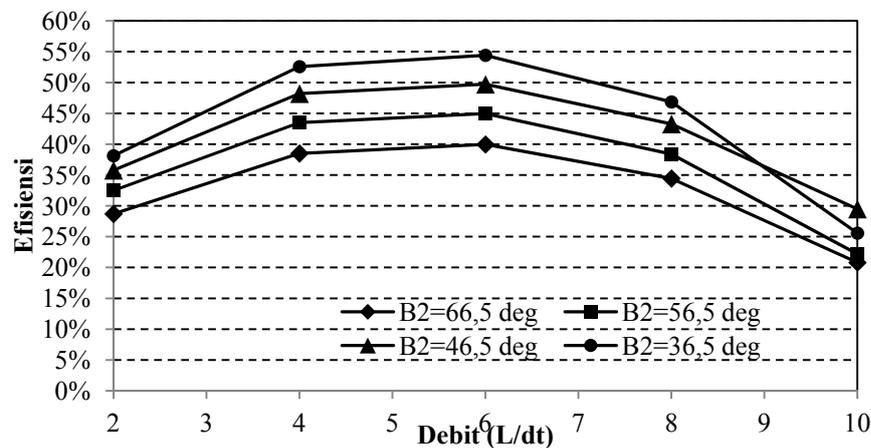
### Pengaruh Perubahan Sudut $\beta_2$ Sudu Impeler

Berdasarkan pembahasan pengaruh jumlah sudu impeler pompa, pompa dengan jumlah sudu impeler 9 memiliki *head* dan efisiensi paling tinggi dari pompa lain. Sehingga optimasi unjuk kerja pompa dengan perubahan sudut sudu impeler dilakukan pada pompa sentrifugal dengan jumlah sudu impeler 9. Sudut keluar impeler ( $\beta_2$ ) memiliki pengaruh pada *head* dan efisiensi pompa. Gambar 6 memperlihatkan pengaruh sudut sudu keluar impeler pompa terhadap *head* pompa. Pada gambar tersebut terlihat bahwa sudut sudu keluar impeler pompa  $46,5^\circ$  memiliki *head* yang paling tinggi pada debit aliran air 10 L/dt akan tetapi untuk debit aliran air antara 2-8 L/dt antara pompa dengan sudut sudu impeler  $36,5^\circ$ ,  $46,5^\circ$ ,  $56,5^\circ$  tidak terjadi perubahan *head* pompa yang signifikan. Berbeda dengan pompa yang memiliki sudut sudu impeler  $\beta_2 = 66,5^\circ$  yang mana pada sudut tersebut pompa memiliki *head* paling rendah. Hal ini karena beda tekanan masuk dan keluar pompa sentrifugal dengan sudut  $\beta_2 = 66,5^\circ$  lebih rendah dibanding pompa dengan sudut sudu impeler yang lain walaupun memiliki torsi paling tinggi sehingga berdampak pada rendahnya efisiensi seperti terlihat pada Gambar 7. Torsi shaft pompa dengan sudut  $\beta_2 = 36,5^\circ$ ,  $46,5^\circ$ ,  $56,5^\circ$ , dan  $66,5^\circ$  berturut-turut sebesar 3,87, 4,34, 4,84, dan 5,04 Nm pada debit aliran air 6 L/dt.

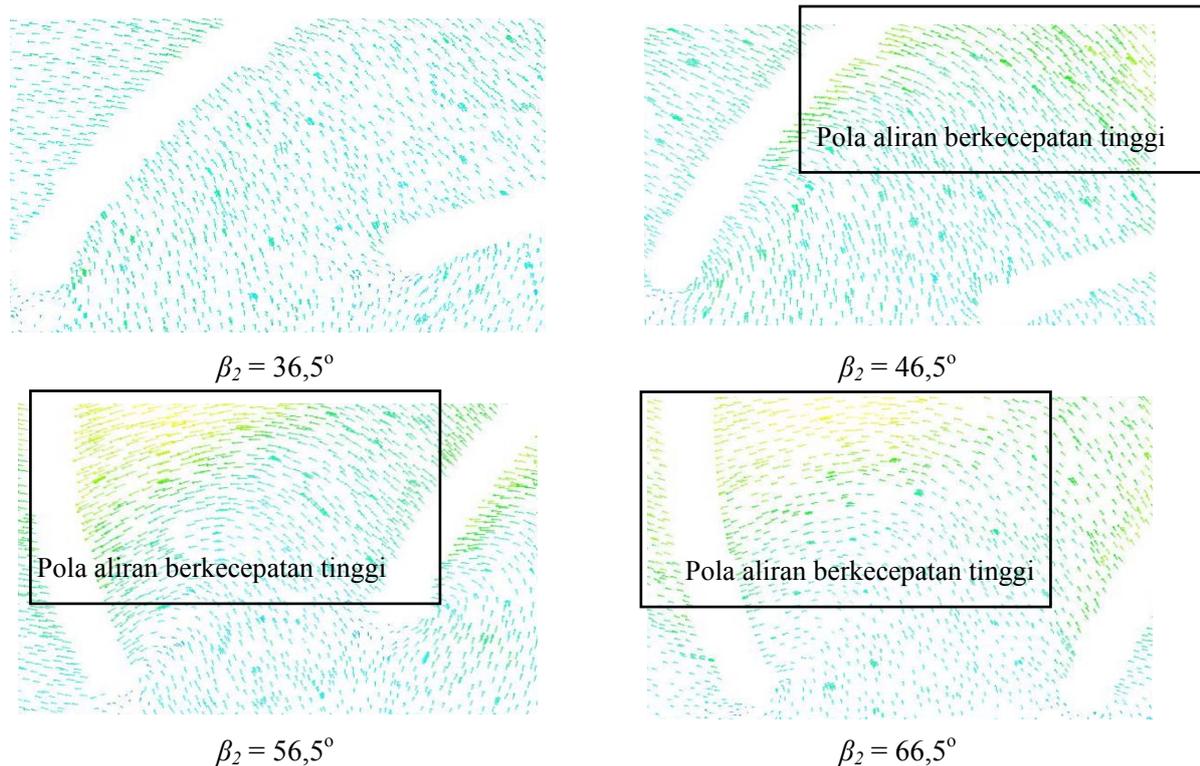


Gambar 6. Pengaruh sudut sudu keluar pompa ( $\beta_2$ ) terhadap head pompa

Pengaruh sudut keluar sudu impeler terhadap efisiensi ditampilkan pada Gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa dengan semakin rendah sudut keluar ( $\beta_2$ ) sudu impeler maka semakin besar efisiensi pompa yang dihasilkan. Efisiensi pompa sentrifugal dengan sudut  $\beta_2 = 36,5^\circ, 46,5^\circ, 56,5^\circ,$  dan  $66,5^\circ$  berturut-turut sebesar 54,42%, 49,72%, 44,97%, dan 39,96%. Hal ini karena dengan semakin besar sudut  $\beta_2$  berpengaruh terhadap pola aliran air dalam pompa. Pompa sentrifugal mengalirkan air dari pusat putaran menuju diameter luar impeler sehingga dalam impeler tersebut terdapat arah aliran air radial dan sentrifugal. Semakin besarnya sudut mengakibatkan semakin besar aliran air dengan arah radial sehingga terjadi tumbukan arah antara radial dan sentrifugal yang berakibat pada munculnya arah aliran yang membentuk seperti kurva seperti terlihat pada Gambar 8. Selain itu, dengan semakin besar sudut  $\beta_2$  juga terlihat area berkecepatan tinggi pada sisi hisap impeler. Dengan pola aliran yang berbentuk seperti kurva dan terdapat area berkecepatan tinggi berakibat pada tingginya turbulensi. Turbulensi yang tinggi mengakibatkan tingginya rugi tekanan sehingga walaupun impeler pompa memiliki torsi yang besar akan tetapi diperoleh head yang rendah sehingga efisiensi pompa rendah. Hal inilah yang dimungkinkan menjadi penyebab turunnya efisiensi dengan semakin besarnya sudut  $\beta_2$ .



Gambar 7. Pengaruh sudut sudu keluar pompa ( $\beta_2$ ) terhadap efisiensi pompa



Gambar 8. Pola kecepatan aliran air dalam pompa pada debit 6 L/dt

## KESIMPULAN

Tinggi tekan dan efisiensi pompa dipengaruhi oleh jumlah sudu impeler dan sudut sudu keluar impeler pompa. Dengan semakin besar jumlah sudu impeler maka semakin besar tinggi tekan dan efisiensi pompa yaitu pada pompa dengan jumlah sudu impler 9. Selain itu, perubahan sudut sudu keluar impeler juga berpengaruh pada tinggi tekan dan efisiensi pompa. Dengan perubahan sudut tersebut terjadi perubahan *head* yang tidak signifikan. Akan tetapi dengan perubahan sudut tersebut berdampak cukup besar pada efisiensi. Dengan semakin kecil sudut sudu keluar impeler maka semakin besar efisiensi pompa yang dihasilkan dengan nilai optimumnya 54,42% pada  $\beta_2 = 36,5^\circ$ . Dengan perubahan sudut sudu keluar impeler berdampak pada perubahan pola aliran air dalam pompa khususnya pada turbulensi aliran. Dari penelitian ini pompa terjadi peningkatan baik *head* mapupun efisiensi pompa, pompa sentrifugal awalnya memiliki 7 sudu impeler dengan tinggi tekan dan efisiensi sebesar 12,01 m dan 43,03% pada debit air 6 L/dt dapat ditingkatkan menjadi 13,1 m dan 54,42% dengan mengubah jumlah impeler pompa menjadi 9 dan sudut sudu keluar impelernya  $35,6^\circ$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Anagnostopoulos, J.S., 2009. A Fast Numerical Method for Fow Analysis and Blade Design in Centrifugal Pump Impellers. *Computers & Fluids*, pp.284–89.
- Bacharoudis, E.C., Filios, A.E., Mentzos, M.D. & Margaritis, D.P., 2008. Parametric Study of a Centrifugal Pump Impeller by Varying the Outlet. *The Open Mechanical Engineering Journal*, pp.75-83.
- Damor, J.J., Patel, D.S., Thakkar, K.H. & Brahmhbhatt, P.K., 2013. Experimental and CFD Analysis Of Centrifugal Pump Impeller- A Case Study. *International Journal of Engineering Research & Technology*.
- Houlin, L. et al., 2010. Effects of Blade Number on Characteristics of Centrifugal Pumps. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, pp.1-6.
- Jafarzadeh, B., Hajari, A., Alishahi, M.M. & Akbari, M.H., 2011. The Fow Simulation of A Low-Specific-Speed High-Speed Centrifugal Pump. *Applied Mathematical Modelling*, pp.242–49.
- Singh, R.R. & Nataraj, 2012. Parametric Study and Optimization of Centrifugal Pump Impeller by The Design Parameter Using Computational Fluid Dynamics: Part I. *Journal of Mechanical and Production Engineering*, pp.87-97.

## PERENCANAAN KAPASITAS DAYA POMPA PADA PERANCANGAN ALAT PENUKAR KALOR JENIS SHELL AND TUBE SKALA LABORATORIUM

Sulis Yulianto<sup>1</sup>, Fadwah Maghfurah<sup>2</sup>, Munzir Qadri<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta

<sup>1</sup>sulis.yulianto@yahoo.com, <sup>2</sup>fmaghfurah@yahoo.com, <sup>3</sup>flash\_mq@yahoo.com

### ABSTRACT

Heat exchangers are devices that facilitate the exchange of heat between two fluids those are at different temperatures while keeping them from mixing with each other. A pump is one of devices involved in the system which contributes a lot. Therefore, it is important to analyze and plan a proper pumping system design in order to have the heat exchanger system optimally operated. In this research, the heat exchanger is planned to operate by using two different kinds of pumps, they are a centrifugal pump to circulate cold water by  $0.0003 \text{ m}^3/\text{s}$  of mass flow rate and 6.85 m of pipe length while a gear pump is used to circulate hot oil by  $0.0003 \text{ m}^3/\text{s}$  of mass flow rate and 2.8 m of pipe length. After some systemathical analysis and calculations, the output capacity of pump obtained is 231 Watt for cold water fluid and 93 Watt for hot oil fluid. Thus, with a proper plan of pump output capacity, it is expected to positively influence the heat exchanger operation in order to be able of running efficiently as well as functioning in accordance with the designed spesification.

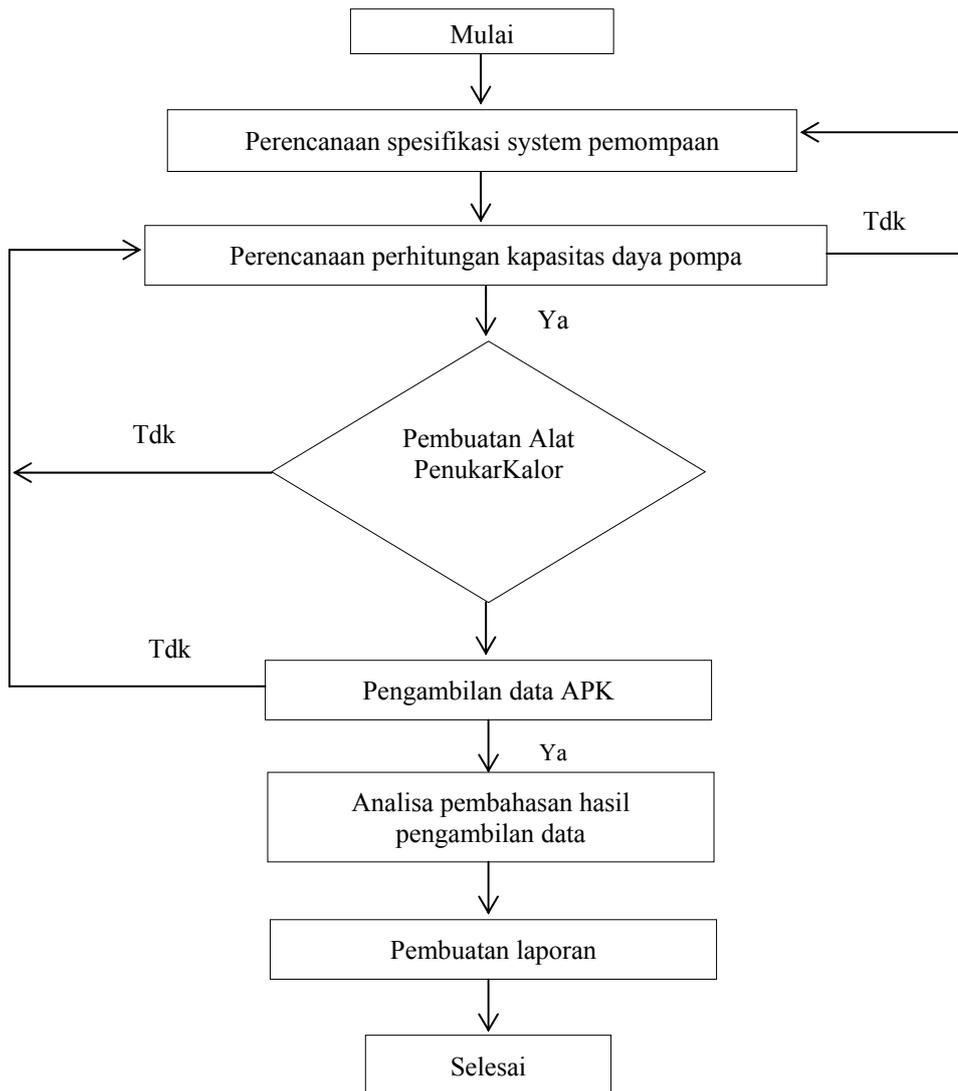
**Kata kunci:** Pompa sentrifugal, Gear pump, Heat exchanger

### PENDAHULUAN

Alat penukar kalor ini mempunyai peran yang penting dalam suatu proses produksi dalam industri salah satu tipe dari alat penukar kalor (APK) yang banyak dipakai adalah *Shell and Tube Heat Exchanger*. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah *tube* (*tube bundle*) di bagian dalam, maka untuk melengkapi unit penukar kalor jenis Shell and Tube dibutuhkan mesin fluida yang dapat mendistribusikan fluida kerjadidalam sistem, baik fluida panas ataupun fluida dingin, maka dipilahlah dalam kegiatan penelitian perancangan APK ini menggunakan dua buah pompa yaitu jenis *gear pump* untuk mensirkulasikan fluida panas (*oil*) dan jenis pompa sentrifugal untuk mensirkulasikan fluida dingin (*water*) yang berfungsi untuk mendistribusikan *fluida* tersebutsehinggadalam pemilihanyang tepat terhadap jenis dan kapasitas daya pompa padaalat penukar kalor yang dirancang diharapkan dapat meningkatkan efektifitas serta *performance* dari APK yang dirancang serta dapat menurunkan biaya operational yang tinggi dalam pengoperasiannya.

### METODE PENELITIAN

Metode yang kami pakai dalam perencanaan kapasitas daya pompa ini adalah dengan merencanakan kapasitas daya pompa dengan memperhitungkan kehilangan-kehilangan energi didalam sistem pemipaan serta dan asesoriesnya, serta panjang pipa yang dipakai pada kedua buah pompa tersebut. Berikut diagram alir yang akan dilakukan dalam perancangan kapasitas pompa untuk penukar panas *Shell & Tube* :



Gambar 1. Digram alir kegiatan penelitian

## PEMBAHASAN

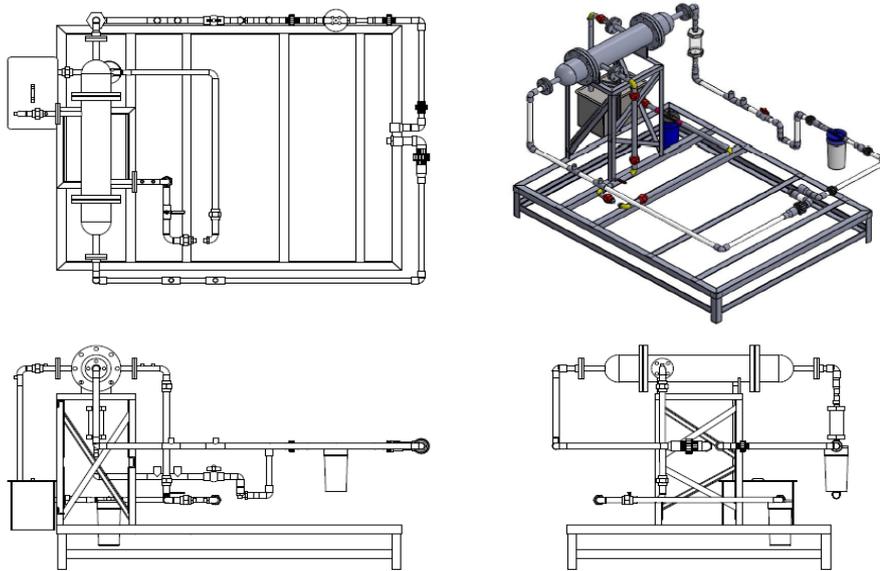
Dalam kegiatan perencanaan kapasitas daya pompa pada APK dalam penelitian ini terlebih dahulu akan direncanakan spesifikasi disain dari alat tersebut seperti: bahan dan panjang pipa yang akan dipakai serta penentuan fluida didalam system beserta kecepatan laju aliran masa fluida dan lain lain, kemudian dilakukan suatu analisa perhitungan mengenai kapasitas daya pompa yang dibutuhkan pada alat penukar kalor tersebut. Sehingga diharapkan dengan adanya perencanaan daya pompa yang tepat akan menghasilkan suatu system yang evektif dan efisien bagi alat yang dirancang sehingga alat penukar kalor tersebut dapat berfungsi sesuai dengan rencana spesifikasi disain yang telah ditentukan.

Tabel 1. Data spesifikasi system pompa air (*water pump*).

Keterangan	Simbol	Satuan
Laju aliran pada pipa sisi masuk pompa	$Q_{v1}$	0,0003 m <sup>3</sup> /s
Laju aliran pada pipa sisi keluar pompa	$Q_{v2}$	0,00013 m <sup>3</sup> /s
Temperatur air (masuk pompa)	$T_1$	27 °C = 300 K
Temperatur air (keluar pompa)	$T_2$	27 °C = 300 K
Masa Jenis fluida air pada temperature 300K	$\rho_{air}$	997 Kg/m <sup>3</sup>
Percepatan grafitasi	$g$	9,81 m/s <sup>2</sup>
Diameter Pipa masuk pompa	$D_1$	1'' = 0,0254 m
Diameter Pipa keluar pompa	$D_2$	1'' = 0,0254 m
Tekanan atmosfer	$P$	1 atm
Panjang pipa keseluruhan	$L$	6,85 m
El- Bowe 90°		11 buah
Gate valve		1 buah
Bahan pipa ( PVC )		

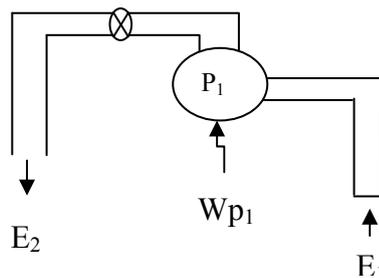
Tabel 2. Data spesifikasi sistem pompa oli (*oil pump*).

Keterangan	Simbol	Satuan
Laju aliran pada pipa sisi masuk pompa	$Q_{v1}$	0,00035 m <sup>3</sup> /s
Laju aliran pada pipa sisi keluar pompa	$Q_{v2}$	0,000075 m <sup>3</sup> /s
Temperatur fluida oli (masuk pompa)	$T_1$	47 °C = 320 K
Temperatur fluida oli (keluar pompa)	$T_2$	47 °C = 320 K
Masa Jenis fluida oli pada temperature 320K	$\rho_{air}$	871 Kg/m <sup>3</sup>
Percepatan grafitasi	$g$	9,81 m/s <sup>2</sup>
Diameter pipa masuk pompa	$D_1$	1'' = 0,0254 m
Diameter pipa keluar pompa	$D_2$	1'' = 0,0254 m
Tekanan atmosfer	$P$	1 atm
Panjang pipa keseluruhan	$L$	2,8 m
El- Bowe 90°		6 buah
Gate valve		1 buah
Bahan pipa ( Galvanized iron)		



Gambar 2. Sistem alat penukar kalor yang sedang dirancang.

**I. Perencanaan kapasitas daya pompa air pendingin (water).**



Gambar 3. Gambar sistem pada instalasi APK

Di mana :

$E_1$  = Energi aliran air pada pipa sisi masuk pompa Ø 1”

$E_2$  = Energi aliran air pada pipa sisi keluar pompa Ø 1”

$W_{p1}$  = Kerja / daya yang di butuhkan oleh pompa air (water)

**A. Perencanaan perhitungan kapasitas daya pompa air (Wp1).**

1. Luas penampang pipa sisi masuk ( $A_1$ ) & pipa sisi keluar ( $A_2$ ) dapat diketahui sebagai berikut.

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \times (d_1)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \times (0,0254 \text{ m})^2 = 0,0005 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \times (0,0254 \text{ m})^2 = 0,0005 \text{ m}^2$$

2. Sehingga dengan menggunakan (pers.2) , maka kecepatan rata-rata aliran pemompaan pada sisi masuk ( $V_1$ ) dan pada sisi keluar pompa ( $V_2$ ) dapat di ketahui sebagai berikut :

$$V_1 = \frac{Qv_1}{A_1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Sehingga,

$$V_1 = \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0005 \text{ m}^2} = 0,6 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{0,00013 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0005 \text{ m}^2} = 0,26 \text{ m/s}$$

3. Kemudian untuk tahap selanjutnya di lakukan analisa perhitungan laju aliran masa pada sisi masuk pompa ( $\dot{m}_1$ ) dan pada sisi keluar pompa ( $\dot{m}_2$ ) seperti (pers 3.), sebagai berikut:

$$\dot{m}_1 = \rho \cdot Q_{v1} \dots\dots\dots (3)$$

$$W_{p1} = E_2 - E_1 = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho}\right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\right) + g \cdot (Z_2 - Z_1) \dots\dots\dots (4)$$

Sehingga didapatkan nilai ( $\dot{m}_1$ ) sebesar 0,3 kg/s dan untuk ( $\dot{m}_2$ ) sebesar 0,13 kg/s, sedangkan untuk kapasitas kerja pompa air (*water*) dengan menggunakan (pers.4) didapatkan nilai ( $W_{p1}$ ) sebesar 67 J/kg.

4. Untuk tahap selanjutnya perencanaan perhitungan daya pompa dengan memperhitungkan kerugian-kerugian energy didalam system dapat direncanakan dengan memperhitungkan bilangan Reynold seperti (pers.5) berikut.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_1 \cdot D_1}{\mu} \dots\dots\dots (5)$$

Maka didapatkan bilangan Reynold sebesar 17771 sehingga aliran didalam sistem adalah aliran lapisan batas turbulen, lalu dengan menggunakan menggunakan diagram *moody* dapat diketahui nilai *relative roughnes* ( $\epsilon/d$ ) yaitu sebesar 0,0000059, maka dengan nilai tersebut dapat diketahui nilai kekasaran permukaan (*resistance coefficient*) didalam pipa ( $f$ ) adalah sebesar = 0,008.

Kemudian tahap selanjutnya akan dilakukan perencanaan perhitungan nilai kerugian-kerugian energi akibat gesekan pada pipa sisi masuk dan keluar dari pompa air (*water*).

5. Perhitungan daya pompa air (*water*) dengan memperhitungkan kerugian-kerugian energi didalam sistem.

5.1. Perhitungan kerugian energi akibat gesekan didalam pipa ( $\Delta E_{f1}$ ):

$$\Delta E_{f1} = 0,008 \cdot \frac{6,85 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} \cdot \frac{((0,6 \text{ m/s})^2)}{2} = 269,9 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Tabel 3. Nilai k terhadap hambatan katup, belokan pada pompa 1.

No	Nama Komponen	Jumlah Katup	Nilai (k)	Jumlah (k)
1	El- Bowe 90°	11 buah	kb = 0,21	2,31
2	Gate Valve	1 buah	kv = 0,2	0,2
Jumlah Total $\Sigma K$				2,51

Dimana,

$K$  = Jumlah total nilai k terhadap hambatan pipa seperti katup, belokan, gate valve.

5.2. Sehingga kerugian energi akibat belokan pada pipa ( $\Delta E_m$ ) adalah sebesar  $0,37 \text{ m}^2/\text{s}^2$

5.3 Perhitungan kerugian energi akibat ketinggian ( $\Delta H_f$ ):

$$\Delta H_f = \frac{269,9 \text{ m}^2/\text{s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 27,5 \text{ m}$$

5.4. Perhitungan kerugian energy dalam bentuk tekanan ( $\Delta P_f$ ):

$$\Delta P_f = 269,9 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 269 \text{ Pa}$$

5.5. Perhitungan kerja pemompaan ( $W_{p1}$ ):

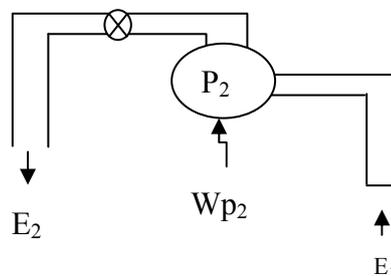
$$W_{p1} = \left( 269,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} - 67 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) + 269,9 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 0,37 + 27,5 \text{ m} + 269 \text{ kPa} = 770,2 \text{ J/kg}$$

5.6. Maka untuk kapasitas daya pompa dapat dihitung sebagai berikut.

$$wp1 = 0,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 770,2 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 231 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 231 \text{ Watt}$$

Maka dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai daya pompa yang akan direncanakan adalah sebesar 231Watt.

## II. Perencanaan kapasitas daya pompa oli.



Gambar4. Gambar sistem pada pompa oli.

Di mana :

$E_1$  = Energi aliran air pada pipa sisi masuk pompa Ø 1”

$E_2$  = Energi aliran air pada pipa sisi keluar pompa Ø 1”

$W_{p2}$  = Daya yang di butuhkan oleh pompa oli.

### A. Perencanaan perhitungan kapasitas daya pompa oli ( $W_{p1}$ ).

1. Dalam perencanaan ini bahwa diameter pipa oli pada sisi masuk dan keluar pompa yaitu sebesar Ø 1”, sehingga luas penampang pada pipa masuk ( $A_1$ ) & pipa keluar ( $A_2$ ) dari pompa oli adalah sebesar  $0,0005 \text{ m}^2$ , sehingga dengan menggunakan (pers.2) , maka kecepatan rata-rata aliran pemompaan pada sisi masuk ( $V_1$ ) adalah sebesar  $0,7 \text{ m/s}$  dan pada sisi keluar pompa ( $V_2$ ) adalah sebesar  $0,15 \text{ m/s}$ ., sedangkan untuk laju aliran masa fluida pada sisi masuk pompa ( $\dot{m}_1$ ) sebesar  $0,3 \text{ kg/s}$  dan pada sisi keluar pompa ( $\dot{m}_2$ ) sebesar  $0,06 \text{ kg/s}$ .

2. Sehingga untuk kapasitas kerja pompa oli (Wp2) dengan menggunakan (pers.4) didapatkan nilai sebesar 27,7 kg/J.
3. Untuk tahap selanjutnya perencanaan perhitungan daya pompa dengan memperhitungkan kerugian-kerugian energy didalam system dapat direncanakan dengan memperhitungkan bilangan Reynold seperti (pers.5) berikut.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_1 \cdot D_1}{\mu}$$

$$Re = \frac{871,8 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,7 \frac{m}{s} \cdot 0,0254 m}{141 \times 10^{-3} N.s/m^2} = 109,9$$

Maka dengan bilangan Reynold sebesar 109,9 diketahui bahwa aliran didalam system adalah aliran lapisan batas laminer, lalu dengan menggunakan menggunakan diagram *moody* dapat diketahui nilai *relative roughnes* ( $\epsilon/d$ ) yaitu sebesar 0,00059, maka dengan nilai tersebut dapat diketahui nilai kekasaran permukaan (*resistance coefficient*) didalam pipa ( $f$ ) adalah sebesar = 0,018

Kemudian tahap selanjutnya akan dilakukan perencanaan perhitungan nilai kerugian-kerugian energi akibat gesekan pada pipa sisi masuk dan keluar dari pompa oli.

4. Perhitungan daya pompa 1 dengan memperhitungkan kerugian-kerugian energi didalam system.

- 4.1. Perhitungan kerugian energy akibat gesekan didalam pipa ( $\Delta E_{f1}$ ):

$$\Delta E_{f1} = 0,018 \cdot \frac{2,8 m}{0,0254 m} \cdot \frac{((0,7 m/s)^2)}{2} = 110,5 m^2/s^2$$

K = Jumlah total nilai k terhadap hambatan pipa seperti katup, belokan, keran dll.

Tabel 4. Nilai k terhadap hambatan katup, belokan pada pompa 1.

No	Nama Komponen	Jumlah Katup	Nilai (k)	Jumlah (k)
1	El- Bowe 90°	6 buah	kb = 0,9	5,4
2	Gate Valve	1 buah	kv = 5,6	5,6
Jumlah Total $\Sigma$ K				11

$$\Delta E_m = 11 \cdot \frac{((0,7 m/s)^2) - ((0,15 m/s)^2)}{2} = 7 m^2/s^2$$

- 4.2. Sehingga kerugian energi akibat belokan pada pipa ( $\Delta E_m$ ) adalah sebesar 7 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

- 4.3. Perhitungan kerugian energy akibat ketinggian ( $\Delta H_f$ ):

$$\Delta H_f = \frac{(110,5 m^2/s^2)}{9,81 m/s^2} = 11,3 m$$

- 4.4. Perhitungan kerugian energy dalam bentuk tekanan ( $\Delta P_f$ ):

$$\Delta P_f = 110,5 \frac{m^2}{s^2} \cdot 871,8 \frac{kg}{m^3} = 96,2 kPa$$

- 4.5. Sehingga dengan menggunakan (pers4) kerja pemompaan (Wp<sub>1</sub>) adalah sebesar 307,9 J/kg.

- 4.6. Sedangkan untuk kapasitas daya pompa dapat dihitung sebagai berikut.

$$\dot{w}p_1 = 0,3 \frac{kg}{s} \cdot 307,9 \frac{J}{kg} = 93 \frac{J}{s} = 93 \text{ Watt}$$

Maka dari hasil perhitungan diatas didapatkan kapasitas daya pompa oli yang akan direncanakan dalam pembuatan alat penukar kalor skala laboratorium adalah sebesar 93Watt

## **KESIMPULAN**

1. Bahwa dalam perencanaan perhitunggan kapasitas daya pompa air (*water*) dengan laju alian sebesar  $0,0003 \text{ m}^3/\text{s}$  yaitu sebesar 231 Watt, dimana kapasitas daya pompa tersebut dengan perencanaan panjang pipa sepanjang 6,85 m.
2. Sedangkan untuk kapasitas daya pompa oli dengan laju alian sebesar  $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$  yaitu sebesar 93 Watt dengan panjang pipa sepanjang 2,8 m.
3. Bahwa perencanaan panjang pipa yang digunakan dalam system akan dapat mempengaruhi perencanaan kapasitas daya pompa semakin besar, dimana semakin panjang pipa yang dipergunakan, maka beban daya pompa juga akan semakin besar.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Austin H. Chruch, Zulkifli Harahap, 1990, *Pompa dan Blower Sentrifugal*, Erlangga, Jakarta
- Fritz Dietzel, Dakso Prijono, 1990, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- Hick Erward, 1996, *Teknologi Pemakaian Pipa*, Erlangga Jakarta
- Jack B. Evett, Cheng Liu, 1987, *Fundamental of Fluids Mechanics*, McGraw Hill Book Company, NewYork.
- Mediatara Sapta Kara, 1994, *Pedoman Plumbing Indonesia*, Erlangga, Jakarta.
- Reuben M. Olson, Steven J. Wrigth, 1989, *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik, Edisi Kelima*, GramediaPustaka Utama, Jakarta.
- Sofyan M Noerbambang, 2000, *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plumbing*, Pradya Paramita, Jakarta.
- Sri Widharto, 2001, *Pedoman Ahli Pemasangan Pipa*, Pradya Paramita, Jakarta.
- Sularso, 2000, *Pompa dan Kompresor*, Pradya Paramitha, Jakarta.
- Victor L. Steeter, E. Benjamin Wylie, Arko Prijono, 1990, *Mekanika Fluida Jilid 1*, Erlangga, Jakarta

## VARIASI SUDUT KEMIRINGAN KOLEKTOR SURYA SOLAR WATER HEATER

Galuh Rengani Wilis<sup>1</sup>, Irfan Santosa<sup>2</sup>

<sup>1,2)</sup> Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal  
Jalan Halmahera KM.1 Tegal, Telp 0283-342(342519)  
Email : galuhrw@gmail.com & ci\_ulya@yahoo.co.id

### ABSTRACT

Tegal district has several tourist ares in the low-temperature plateau, there are many villas or penginapan. Selain itu, Tegal is also a city with a very high trading activity, and since it's on the northern coast path, then there are many hotels or lodges in the city of Tegal as a haven. One of the facilities offered in the villa and place this inn is the shower with warm water. It is generally used with an electric water heater or solar power plant installations made and expensive. Electrical equipment of course require fossil energy should always be available. While the amount of thinning. For that we need there search for alternative energy substitute for fossil that installation is quite affordable.

The existing background, then conducted research on solar water heaters or solar water heater. Where solar water heater has a flat plate solar collector glass lid. The glass would receive sunlight and reflecting on parts-other parts that make up the solar collector in it, deliver heat to the water flow in the aluminum pipe attached to the zinc plate as absorber. The solar collector placed on top of the roof at an angle in order to capture sunlight with optimal. With several positions on the tilt angle would be the most appropriate angle to generate heat in the appliance efficiency solar water heater.

Methods This study was initiated with the creation of design tools, tool manufacture, assembly, checking, data collection and data analysis. The variables in the search is the temperature of incoming water, the temperature of the water out, the temperature in the collector, the collector glass temperature. Data collection was done by setting the collector angle 0°, 15°, 20°. After data collection then searched each generated thermal efficiency- each corner to look for the best angle to use the positioning of the solar collector.

Data were recorded from the study were analyzed heat transfer, heat loss and efficiency. And it can be concluded that the best efficiency from the calculation of the tilt angle of 15° there at 12:00 to 13:00pm.

Keywords: tilt angle, solar collectors, solar water heater

### PENDAHULUAN

Energi fosil di bumi sangat terbatas jumlahnya. Sedangkan pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi meningkat pesat. Hal ini menyebabkan penggunaan energi di muka bumi ini semakin bertambah pula. Banyak peralatan – peralatan rumah tangga canggih yang dihasilkan dari penemuan – penemuan IPTEK yang menggunakan listrik. Sehingga konsumsi listrik di tiap – tiap perumahan semakin bertambah. Sedangkan sumber energi yang kita miliki di bumi ini semakin menipis.

Para ilmuwan berupaya untuk menemukan energi alternatif yang bisa digunakan selain dengan menggantungkan energi fosil yang sudah sangat terbatas. Beberapa penemuan misalnya seperti, penggunaan biogas yang dihasilkan dari sampah organik, ampas tebu maupun kotoran ternak. Energi alternatif lain yang bisa kita upayakan dan berlimpah jumlahnya di bumi adalah energi surya. Beberapa penelitian menemukan energi surya dapat dijadikan sebagai pengganti listrik dari PLN walaupun tidak sepenuhnya menggantikan listrik di setiap perumahan. Setidaknya beberapa peralatan elektronik sudah menggunakan energi surya sebagai pengganti listrik dari PLN. Seperti kita jumpai beberapa lampu *traffic light* di perempatan jalan sudah menggunakan panel surya sebagai penyimpan energi matahari sehingga tidak perlu disalurkan lagi dengan listrik dari PLN.

Peralatan dalam rumah tangga juga sudah ada yang menggunakan listrik dari energi surya. Diantaranya *solar cell* yang menyimpan energi surya kemudian digunakan untuk lampu penerangan di beberapa ruangan dengan watt tertentu. Pemanas air (*water heater*) untuk kamar mandi juga sudah ada yang menggunakan panas matahari atau energi surya atau disebut juga solar water heater. Pemanas air untuk kamar mandi ini biasa digunakan di hotel ataupun penginapan.

Kabupaten Tegal memiliki beberapa daerah wisata di dataran tinggi yang bersuhu rendah, dimana terdapat banyak vila atau penginapan yang dilengkapi dengan peralatan pemanas air untuk mandi di setiap kamarnya. Hal ini menyebabkan penggunaan daya listrik di tempat – tempat wisata tersebut sangat tinggi. Selain itu, Tegal juga merupakan kota dengan aktifitas perdagangan yang sangat tinggi, serta karena letaknya di jalur Pantura, maka banyak terdapat hotel atau penginapan di kota Tegal sebagai tempat persinggahan.

### Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah :

Penelitian ini akan menggunakan beberapa sudut kemiringan kolektor surya plat datar guna mendapatkan sudut kemiringan yang memiliki pengaruh terbesar pada efisiensi panas yang dihasilkan dari alat solar water heater.

Manfaat dari Penelitian ini adalah :

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang konversi energy dan dapat digunakan untuk menerapkan alat solar water heater khususnya di tempat wisata di dataran tinggi sekitar kabupaten Tegal agar penggunaan listrik untuk air hangat dapat dikurangi dengan alat solar water heater dan diletakkan pada posisi kemiringan yang paling baik.

### Tinjauan Pustaka

1. Penelitian tentang solar water heater telah banyak dilakukan dan semakin banyak diteliti untuk mengurangi penggunaan daya listrik.
2. *Sutrisno( 2002 )*, Pengujian yang dilakukan sutrisno adalah pengujian kolektor surya pemanas air dengan menggunakan pelat absorber gelombang dengan dan tanpa *honeycomb*. Pelat absorber yang digunakan adalah pelat seng yang mempunyai sudut = 129 o. Pengujian dilakukan dengan variasi laju alir massa air 300 cc/menit, 400 cc/menit dan 500 cc/menit dan temperature inlet 35 o, 40 o dan 45 o dengan mengabaikan bayangan yang terbentuk oleh pelat gelombang itu sendiri.
3. *Yanuar Rizal,2009*, melakukan penelitian pada *solar water heater* dengan menambahkan *honeycomb* pada kolektor surya yang menghasilkan Efisiensi kolektor surya dengan *honeycomb* lebih besar daripada kolektor surya tanpa *honeycomb*. Efisiensi tertinggi sebesar 65.01 % pada debit 700 cc/menit pukul 12.00. Sedangkan pada kolektor tanpa *honeycomb* terbesar 59,39 % pada debit 700 cc/menit pukul12:00.
4. *Satwiko dkk,2011*,melakukan penelitian dengan menggunakan beberapa jenis kaca kolektor surya yang menghasilkan penggunaan 2 buah pelat absorber pada kolektor surya berpenutup kaca transparan lebih efektif. Nilai temperatur bagian atas dan bawah kolektor berkisar antara 80oC dan 70oC s edangkan untuk kolektor surya berpenutup kaca kristal hasil temperatur bagian atas dan bagian bawah berkisar antara 70oC dan 66oC. Temperatur rata-rata fluida masuk ke pipa kalor senilai 34.6oC untuk kaca transparan dan 35.3 oC untuk kaca kristal. Temperatur rata-rata fluida keluar dari pipa kalor senilai 41.8oC untuk kaca transparan dan 41.2oC untuk kaca kristal.

### METODE PENELITIAN

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

1. Hardware yang terdiri dari : Termometer digital, alat pengukur kelembaban udara, busur penggaris, stopwatch, gelas ukur.
2. Alat pendukung berupa prototype alat solaw water heater



Gambar 1. Prototype alat solar water heater

### Ukuran (Dimensi Alat)

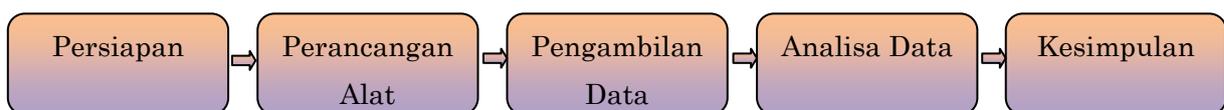


Gambar 2. Plat kolektor datar

Alat Solar Water Heater dalam Penelitian ini menggunakan kolektor dengan ukuran

Tebal Triplek	= 10 mm
Tebal Isolator	= 60 mm
Tebal kaca	= 5 mm
Luas Absorber	= 0.059 m x 0.42 m = 0.25 m <sup>2</sup>
Luas bagian bawah	= 0.65 m x 0.49 m = 0.32 m <sup>2</sup>
Luas Samping kanan, kiri	= masing – masing; 0.65m x 0.16m = 0.10 m <sup>2</sup>
Luas Depan, belakang	= masing-masing; 0.49 m x 0.16 m = 0.08 m <sup>2</sup>
Bahan Isolator	= Ceramic Wool
Bahan Pipa	= Alumunium
Nilai – nilai kelengkapan :	
Debit Air	= 10 liter per menit
Sudut kemiringan	= 0°, 15°, 20°
Konduktivitas thermal pipa	= 202 W/m <sup>20</sup> C
Nilai Absorbsivitas pipa	= 0.15
Kond. Isolator glass wool	= 0.038 W/m ° C
Konduktivitas Triplek	= 0.17 W/m <sup>20</sup> C
Absorbsivitas Kaca	= 0.06
Kecepatan angin rata-rata	= 10 m/s

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Alur Tahapan Penelitian

Tahap Persiapan :

1. Studi Literatur
2. Survei Lokasi Penelitian
3. Survei bahan dan alat

Tahap Perancangan Alat :

1. Perancangan Desain dan Perhitungan
2. Pembuatan Alat
3. Perakitan

Tahap Pengambilan data:

1. Menyiapkan alat penelitian dan alat ukur
2. Memasang dan mengecek kondisi alat penelitian dan alat ukur
3. Mengarur kemiringan sudut yang dikehendaki
4. Mencatat suhu lingkungan, mencatat humidity, mencatat debit dan kecepatan air
5. Mencatat suhu air masuk, suhu permukaan kaca, suhu plat di dalam kaca dan suhu air keluar

Tahap Analisa Data

1. Menghitung laju aliran energy yang digunakan /panas yang digunakan
2. Menghitung rugi-rugi panas yang terjadi
3. Menghitung Efisiensi Thermal Kolektor.

**PEMBAHASAN**

Pengujian ini menghasilkan data suhu di masing – masing titik yaitu pada suhu air masuk (T<sub>in</sub>), suhu air pada plat (T<sub>plat</sub>), Suhu air pada ruang (Truang), Suhu kaca (Tkaca), Suhu Lingkungan (T<sub>Lingk</sub>), dan Humidity.

**Panas yang diserap arbsorber**

sudut datang radiasi matahari dapat diperoleh dari gambar.3 (Transmisivitas kaca penutup terhadap sudut datang radiasi (*Duffie*)). Dari persamaan No 10 maka dapat ditentukan panas yang diserap oleh pipa absorber.

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in})$$

$$Q_u = A_k F_r [(T\alpha)E_{glob} - K_{eff}(T_{in} - T_{\infty})]$$

$$Q_u = A_k F' [(T\alpha)E_{glob} - K_{eff}(T_{in} - T_{\infty})]$$

**Rugi – rugi Panas**

Rugi Panas dari Bawah

$$U_s = \frac{A_s}{A_k} \frac{1}{\frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{1}{h_b}} \cdot \frac{(T_a - T_{s\infty})}{(T_a - T_{\infty})}$$

Rugi Panas dari Atas

$$U_f = \frac{A_f}{A_k} \cdot \left( R_k + \frac{R_c \cdot R_r}{R_c + R_r} \right)^{-1} \cdot \frac{(T_a - T_{f\infty})}{(T_a - T_{\infty})}$$

**Efisiensi Thermal Kalor**

Effisiensi thermal kolektor ditentukan oleh besarnya panas yang diterima kolektor sebesar (Q<sub>in</sub>) terhadap panas yang dimanfaatkan (Q<sub>u</sub>), maka efisiensi kolektor adalah :

$$\eta = \frac{F' [E_{glob} \cdot A_k \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot A_k (T_i - T_{\infty})]}{E_{glob} \cdot A_k}$$

$$\eta = \frac{F_r [E_{glob} \cdot A_k \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot A_k (T_{in} - T_{\infty})]}{E_{glob} \cdot A_k}$$

Sedangkan efisiensi aktual adalah,

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{in}} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{E_{glob} \cdot A_k}$$

$$\eta = \frac{Q_{abs} - Q_L}{E_{glob} \cdot A_k}$$

Tabel 1. Heat Loss Sudut 15°

No.	Time (Jam)	F'	Uf (Watt)	Us (Watt)	Ub (Watt)	Ak (m2)	Tr (°C)	T∞ (°C)	(Uf+Us+Ub) (W/m·C)	Tr-T∞ (°C)	Qloss (Watt)
1	10	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	38	30	24,92	8	42,364
2	11	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	43	31	24,92	12	63,546
3	12	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	47	33	24,92	14	74,137
4	13	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	47	33	24,92	14	74,137
5	14	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	43	33	24,92	10	52,955

Tabel 2. Efisiensi untuk Sudut 15°

No.	Time	F	Eglob	Ak	t	α	UL	Tr	T∞	Eglob·Ak·t·α	Tr-T∞	Eglob·Ak·(Tr-T∞)	UI·Ak·(Tr-T∞)	Eff = F'·[Eglob·Ak·t·α / (UL·Ak·(Tr-T∞))]·100%
			W/m2	m2			W/m·C	°C	°C		°C			
1	10	0,85	913,1	0,25	0,9	0,15	42,364	38	30	30,817125	8	228,275	2	20,07
2	11	0,85	913,1	0,25	0,9	0,15	63,546	43	31	30,817125	12	228,275	3	59,51
3	12	0,85	913,1	0,25	0,9	0,15	74,137	47	33	30,817125	14	228,275	3,5	85,14
4	13	0,85	913,1	0,25	0,9	0,15	74,137	47	33	30,817125	14	228,275	3,5	85,14
5	14	0,85	913,1	0,25	0,9	0,15	52,955	44	33	30,817125	11	228,275	2,75	42,75

Tabel 3. Heat Loss untuk Sudut 20°

No.	Time (Jam)	F'	Uf (Watt)	Us (Watt)	Ub (Watt)	Ak (m2)	Tr (°C)	T∞ (°C)	(Uf+Us+Ub) (W/m·C)	Tr-T∞ (°C)	Qloss (Watt)
1	10	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	33	30	24,92	3	15,8865
2	11	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	38	31	24,92	7	37,0685
3	12	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	43	33	24,92	10	52,955
4	13	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	42	33	24,92	9	47,6595
5	14	0,85	21,77	2,38	0,77	0,25	42	33	24,92	9	47,6595

Tabel 4. Efisiensi untuk sudut 20 °

No.	F'	Eglob	Ak	$\tau$	$\alpha$	UL	Tr	T $\infty$	Eglob $\alpha$ Ak $\tau$ $\alpha$	Tr-T $\infty$	Eglob $\alpha$ Ak	Ak(Tr-T $\infty$ )	U $\alpha$ Ak(Tr-T $\infty$ )	Eff= $\frac{F'(Eglob\alpha Ak\tau\alpha - (UL\alpha Ak(Tr-T\infty)))}{(UL\alpha Ak(Tr-T\infty))} \times 100\%$
		W/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>			W/m <sup>2</sup> °C	°C	°C						
1	0,85	913,1	0,25	0,9	0,2	42,364	33	30	41,0895	3	228,275	0,75	31,773	-3,47
2	0,85	913,1	0,25	0,9	0,2	63,546	38	31	41,0895	7	228,275	1,75	111,2055	26,11
3	0,85	913,1	0,25	0,9	0,2	74,137	43	33	41,0895	10	228,275	2,5	185,3425	53,72
4	0,85	913,1	0,25	0,9	0,2	74,137	42	33	41,0895	9	228,275	2,25	166,8025	46,81
5	0,85	913,1	0,25	0,9	0,2	52,955	42	33	41,0895	9	228,275	2,25	119,14875	29,07

## KESIMPULAN

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

1. Perancangan alat solar water heater berjalan cukup baik. Dalam perakitan alat terdapat beberapa kesulitan dalam mencari komponen maupun bahan, tapi dapat diatasi dengan baik.
2. Berdasarkan hasil pengambilan data, efisiensi tertinggi adalah pada waktu alat di setting pada kemiringan 15°, pada kelembaban udara, diambil pada jam 12.00-13.00 WIB yaitu sebesar 85,14 %
3. Penggunaan flow meter diganti dengan menggunakan gelas ukur dan stopwatch untuk menghitung debit dan kecepatan aliran air dalam system.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini dapat dituliskan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian atau kepada pemberi dana penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W., 1995, *Teknologi Rekayasa Surya*, PT.PradnyaParamitha Jakarta
- J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar Engineering Of Thermal Processes*, Third edition, copyright@2006 by John Wiley & Sons, Inc
- J.P.Holman & E. Jasifi, 1997, *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Nugroho Gama Yoga, dkk. 2010. *Kaji Ekperimental Penggunaan Pipa Kalor Dalam Kolektor Surya Sebagai Penyerap Energi Termal Surya Untuk Penyuplai Pompa Kkalor Temperatur Tinggi*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9 Palembang, 13-15 Oktober 2010.
- Satwiko, dkk, 2011, *Studi Rancang Bangun Solar Water Heater Menggunakan Berbagai Jenis Kaca Kolektor*, UNJ Jkt.
- Sutrisno. 2002, *pengujian kolektor surya pemanas air dengan menggunakan pelat absorber gelombang dengan dan tanpa honeycomb*, ITSSby.
- Yanuar Rizal, 2009, *Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya Arbsorber Gelombang tipe Sinusoidal dengan Penambahan Honeycomb*, ITS Surabaya

## PERFORMANSI HIBRID BASIN SOLAR STILL

Irfan Santosa<sup>1</sup>, Galuh Renggani Wilis<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>) Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti Tegal  
Email: [ci\\_ulya@yahoo.co.id](mailto:ci_ulya@yahoo.co.id) / [galuhrw@gmail.com](mailto:galuhrw@gmail.com)

### ABSTRACT

Distilator solar system is a tool that is cheap and environmentally friendly, because this tool does not require equipment such as electrical, generator or other fuel. Solar distilator is a tool that serves as a modifier of sea water into fresh water with solar energy. The purpose of this research is to create a hybrid type distillation combining the blower drive and solar panels 10WP to reduce the value of existing pressures on the basin as well as utilizing the condensation pipe. Step of this research will be conducted in three (3) stages : Make a set of tools Hibrid Basin Solar Still; Testing the device for 9 hours; and Analyze the data obtained. From the results obtained that evaporation basin solar still hybrid occur due to differences in seawater temperature in the basin with the room temperature evaporation where the average value of the sea water temperature ( $T_w$ ) = 45 °C higher than the value of the evaporation temperature ( $T_{sv}$ ) = 42 °C. While condensation occurs because there is a temperature difference between the cover glass ( $T_g$ ) = 33 °C lower than value of room temperature evaporation ( $T_{sv}$ ) = 42 °C with the solar intensity (IT) average of 470 W / m<sup>2</sup> with 700ml distilled water produced during the 9 hours of heating. Value of the pressure (P) in the basin calculated by determining the volume of the tool ( $V_{alat}$ ) = 0.3m<sup>3</sup>, mass of sea water ( $M_{air laut}$ ) is 0.9kg and a constant value of  $R = 0.4615$  kJ/kg °C the evaporation temperature ( $T_{sv}$ ) = 42 °C, so the value of the average pressure in the basin area (P) = 5.7805 Pa.

**Key Word :** Hibrid Basin Solar Still, Temperature, Solar Intensity, Pressure, Performed

### PENDAHULUAN

Sistem distilator surya merupakan alat yang murah serta ramah lingkungan, karena alat ini tidak membutuhkan peralatan seperti listrik, generator ataupun bahan bakar lainnya. Alat distilator surya tipe *basin* merupakan alat yang berfungsi sebagai pengubah air laut menjadi air tawar dengan tenaga matahari (Arismunandar, hal 132). Penelitian distilasi matahari atau lebih dikenal dengan *solar still* sudah banyak dikembangkan; Mulyanef, dkk, melakukan penelitian alat distilator surya dengan membuat tiga tipe kaca penutup kolektor plat datar yang akan diteliti, yaitu tipe satu permukaan kaca miring; tipe dua permukaan kaca miring dan tipe empat permukaan kaca miring dengan luas plat kolektor datar 0.45 m<sup>2</sup>. Volume air di dalam kolektor adalah 9 liter dan isolasi dari serabut kaca. Hasil pengujian menunjukkan tipe dua permukaan kaca miring menghasilkan kondensat terbanyak 255 ml/h, dengan intensitas surya tertinggi 757.37 W/m<sup>2</sup>. Kemiringan kaca penutup juga diteliti, dengan hipotesa semakin besar sudut kemiringan kaca penutup maka air akan sulit menguap, karena air mengalir lebih deras dan sebaliknya jika sudut kemiringan kaca penutup kecil maka air mudah menguap karena air mengalir dengan pelan. Penelitian kemiringan kaca penutup dengan memvariasi sudut kemiringan kaca penutup 20<sup>0</sup>, 30<sup>0</sup> dan 50<sup>0</sup> Basin Solar Still. Hasil maksimal air distilasi yang dihasilkan yaitu kemiringan kaca 30<sup>0</sup> mempunyai produktivitas untuk menghasilkan uap lebih banyak serta laju air distilasi yang tinggi yaitu sebesar 144,88 ml per hari, dibandingkan dengan kemiringan kaca 20<sup>0</sup> dan 50<sup>0</sup>. (Irfan Santosa, 2012).

Dari beberapa penelitian diatas bahwa sistem distilasi dengan tenaga surya menarik untuk dikembangkan dan diteliti, maka sebuah desain dari *solar still* (pemurnian air laut tenaga matahari) tipe Hibrid Solar Distilasi (peralatan pemurnian air berbentuk bejana) dimodifikasi untuk dapat memanfaatkan panas laten hasil kondensasi. Dengan memanfaatkan panas laten tersebut, diharapkan uap air yang dihasilkan akan lebih banyak. Tipe Hibrid disini adalah dengan memanfaatkan panel surya untuk menggerakkan *blower* sehingga tekanan didalam bejana air nilainya akan turun, dan juga memanfaatkan plat tembaga sebagai pipa kondensasi. Kemudian pemilihan penelitian menggunakan hibrid *solar* distilasi dimungkinkan mampu menghasilkan air hasil distilasi lebih banyak dari jenis *single basin still* yang hanya mampu menghasilkan produktifitas air distilasi selama 8 jam perhari maksimal 500ml.

Dari latar belakang permasalahan diatas maka penelitian difokuskan pada pembuatan alat distilasi dengan tipe hibrid serta menganalisa performansi atau kerja dari alat tersebut. Maka dari penelitian diatas dapat dirumuskan:

- a. Analisa terjadinya proses penguapan (evaporasi) dan pengembunan (kondensasi) pada alat distilasi hibrid basin solar still.
- b. Analisa nilai tekanan pada ruang penguapan pada alat distilasi hibrid basin solar still.

Tujuan penelitian ini adalah :

- a. Membuat alat Hibrid *Basin Solar Still*.
- b. Memahami dan mampu menganalisa kerja dari alat Hibrid *Basin Solar Still*.
- c. Memahami dan mampu menganalisa nilai tekanan pada ruang penguapan alat Hibrid *Basin Solar Still*.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan, diantaranya oleh *Ketut Astawa. 2008* dengan melakukan penelitian karakteristik basin still dengan penurunan tekanan ruang basin pada distilasi air laut tenaga matahari. Hasil penelitian mengatakan bahwa basin still yang mempunyai tekanan kurang dari 1 bar akan meningkatkan produksi air bersih. Untuk tekanan 1 bar menghasilkan air bersih 2384 mililiter/m<sup>2</sup> dengan efisiensi 33,91%, tekanan 0,9 bar menghasilkan air bersih 2592 mililiter/ m<sup>2</sup> dengan efisiensi 39,72%, tekanan 0,8 bar menghasilkan air bersih 2736 mililiter/ m<sup>2</sup> dengan efisiensi 42,49%. *Jurnal Ilmu Teknik (Engineering)Unika Atmajaya Vol.14 No.2 Oktober 2002 (halaman 147 – 154)*, meneliti bahan absorber / penyerap pada alat distilator surya. Lima jenis absorber diteliti yaitu bahan plat dasar aluminium dengan lapisan cat phylox hitam dan lapisan cat papan tulis; Plat dasar tembaga dengan lapisan cat phylox hitam dan cat papan tulis; plat dasar tembaga dengan cat papan tulis dengan diberi lapisan batu kerikil. Hasil penelitian menunjukkan jenis absorber dengan plat dasar tembaga cat papan tulis mempunyai karakteristik absorplance paling besar yaitu 0,92. *T.V. Arjunan, dkk.* melakukan penelitian dengan judul *An Experimental Study on Solar Still With Sponge Liner (International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 4 Number 3 2009 pp 335-361, www.ebscohost.com)*. Penelitian ini membandingkan *basin solar still* yang ditutup dengan *sponge*/busa dibagian luar sisi-sisi basin dan satunya tidak diberi penutup *sponge*/busa. Hasil penelitian menghasilkan bahwa *basin solar still* yang ditutup *sponge*/busa menghasilkan panas lebih besar 15% dibandingkan dengan yang tidak ditutup *sponge*/busa. *H.S.Aybar & Nedhunchezian*, melakukan penelitian dengan judul *A Study an Effect of Water Capacity on the Performace of a Simple Solar Still (International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 4 Number 11 2009 pp 2223-2234, www.ebscohost.com)*. Penelitian ini membahas tentang performansi dari Basin Solar seperti menghitung produktifitas, efisiensi dan internal perpindahan panasnya. *JW Rose*, melakukan penelitian tentang *Dropwise condensation theory and Experiment: a review (Department Of Engineering, Queen Mary, Proc Instn Mech Engineers Vol 216 Part A: J Power and Energy University Of London)*. Penelitian tentang dropwise sudah dilakukan sejak tahun 1930 dimana mempelajari perpindahan panas, teori, transisi dan efek dari sebuah material serta pengaruh konduktifitas thermal permukaan pada transfer koefisien perpindahan panas. *Irfan Santosa, 2011*. Melakukan penelitian tentang *Aplikasi Dimensi Pada Analisa Produksi Air Bersih Menggunakan Perubahan Lapisan Film Kondensasi Perangkap Distilasi*. Penelitian ini menghasilkan model kondensasi film asumsi awal bahwa aliran merupakan laminar dengan densitas uap pada suhu tertentu, konduktifitas thermal, perbedaan suhu dan lama pemanasan akan menjadi fungsi dari ketebalan film kondensasi. Dengan menggunakan pendekatan maka kesetimbangan energi pada batas bidang uap cairan akan menunjukkan fluks panas dan laju massa yang akan dikondensasi yaitu dapat didekati

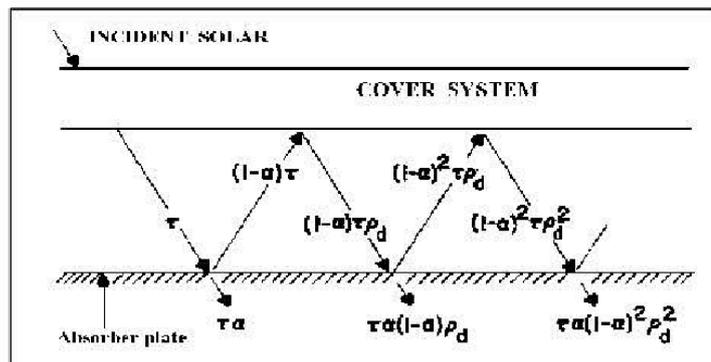
$$\delta = \left[ \frac{2k_L}{\rho h_{fg}} (T_{sat} - T_s) \right]^{1/2} t^{1/2}$$

*Irfan Santosa. 2011. "Optimasi Sistem Pemanasan Pada Single Basin Solar Still Terhadap Kemiringan Kaca Penutup"* (OSEATEK, Vol. 08 April 2011). Kemiringan kaca penutup juga berpengaruh terhadap sistem pemanasan distilasi. Kemiringan dari mulai sudut 0<sup>0</sup> sampai 90<sup>0</sup> dihasilkan nilai absorptivitas, transmitivitas dan reflektivitas yang paling besar adalah pada kemiringan kaca penutup dengan sudut 5<sup>0</sup>, dengan hasil faktor absorptivitas 4,7227%; nilai faktor transmitivitas 87,3578% dan nilai faktor reflektivitas 7,9195% dengan panas yang diserap oleh plat

absorber (S) sebesar 338,3083 W/m<sup>2</sup>. Irfan Santosa. 2012. Melakukan penelitian tentang *Pengaruh Sudut Atap Kaca Penutup Terhadap Produksi Air Distilasi Jenis Single Basin Solar Still*. Penelitian ini membahas sudut kemiringan atap kaca penutup (20°, 30° dan 50°), hasil penelitian didapat untuk sudut kemiringan kaca penutup basin solar still 20°, 30°, 50° ini masing-masing mampu menghasilkan air hasil distilasi 40,5 ml; 98,5 ml; 72,5 ml. Dari hasil ini bisa disimpulkan bahwa untuk kemiringan sudut 30° mempunyai nilai lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan dari analisa laju perpindahan panas konveksi dari air masing-masing adalah 1198,14 watt; 1377,25 watt; 1284,61 watt.

Radiasi matahari menimpa permukaan kaca penutup sebagian dari radiasi matahari ini menembus kaca penutup menuju *absorber*. Radiasi yang menuju *absorber* terkonduksi pada fluida. Karena terjadi penurunan tekanan dalam ruang *basin* maka titik didih dari air akan turun dibawah 100°C sehingga diharapkan dengan penurunan tekanan ini suhu didih air yang dihasilkan akan lebih banyak. Disamping itu kerugian perpindahan panas akibat konveksi dapat direduksi.

Proses penyerapan radiasi matahari oleh *basin solar still* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Absorpsi Radiasi Matahari oleh Plat Penyerap [Duffie, hal. 229]

Pada gambar 1 diatas terlihat bahwa berkas radiasi matahari menembus kaca penutup dan kemudian akan menimpa air laut dan dibawahnya absorber. Sebagian radiasi matahari akan dipantulkan kembali menuju kaca penutup dan sebagian lagi diserap oleh *absorber*. Radiasi yang menuju kaca penutup kemudian dipantulkan kembali menuju absorber sehingga terjadi proses pemantulan berulang, simbol  $\tau$  menyatakan *transmissivitas* penutup,  $\alpha$  menyatakan *absorpsivitas* angular *absorber* dan  $P_d$  menyatakan *refleksivitas* radiasi hambur dari kaca penutup.

Dari energi yang menimpa masuk *absorber*, maka *transmissivitas* dan *absorpsivitas* ( $\tau \alpha$ ) adalah energi yang diserap oleh *absorber* dan sebesar  $(1-\alpha)\tau$  dipantulkan menuju kaca penutup. Pantulan yang mengenai kaca penutup tersebut merupakan radiasi hambur sehingga energi sebesar  $(1-\alpha)\tau P_d$  kemudian dipantulkan kembali oleh kaca penutup menuju *absorber*. Proses pemantulan tersebut akan berulang terus. Maksimum energi yang dapat diserap oleh *absorber* adalah :

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan  $(\tau\alpha)$  adalah *transmittance – absorptance product*. Dari hasil suatu penelitian, harga  $(\tau\alpha)$  mendekati 1.01  $\tau\alpha$ . Harga ini merupakan perkiraan yang memadai untuk banyak absorber tenaga surya. Sehingga persamaan menjadi :

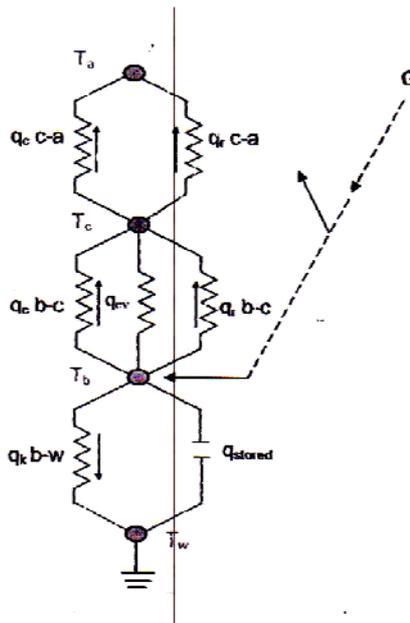
$$(\tau\alpha) = 1.01 \tau\alpha$$

Perkalian antara *transmittance – absorptance product* rata-rata  $(\tau\alpha)_{ave}$  dengan radiasi matahari total yang menimpa *absorber* (IT) akan mendapatkan radiasi matahari yang diserap per satuan luas (S), yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = (\tau\alpha)_{ave} \cdot IT \dots\dots\dots (2)$$

Pada keadaan *steady*, unjuk kerja *basin still* dapat digambarkan dengan prinsip keseimbangan energi. Energi yang digunakan berasal dari hasil yang didapat *absorber* dikurangi dengan kerugian panas yang terjadi. Sejumlah energi surya yang diserap *absorber* (IT) akan memanaskan *absorber* tersebut hingga temperatur  $T_p$ . Keseimbangan energinya dapat dicari dari rangkaian *thermal* pada gambar 2 dibawah yaitu :

- a. Keseimbangan energi pada penutup (*cover*)
  - Konveksi dan radiasi dari penutup ke lingkungan
  - Radiasi, evaporasi, konveksi dari *absorber* ke penutup
- b. Keseimbangan energi pada *absorber*
  - Radiasi, konveksi, evaporasi dari *absorber* ke penutup
  - Radiasi matahari yang sampai *absorber*
  - Konduksi dalam absorber dan penyimpanan panas (*q stored*)
- c. Keseimbangan energi pada *solar still*



Gambar 2. Rangkaian *Thermal* Pada *Basin Still*. [Agus Mulyono, hal.11]

Tekanan dalam Ruang Basin dengan persamaan gas ideal (Astu Pudjanarsa, hal:56)

$$p \times V = n \times R \times T \quad \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- p: tekanan
  - v: volume ruang
  - n: jumlah mol gas
  - R: tetapan umum gas
  - T: suhu (Kelvin)
- Perhatikan satuan:
- R= 8314 J/kmol K apabila tekanan dalam Pa atau N/m<sup>2</sup>, volume dalam m<sup>3</sup>, dan jumlah mol dalam kmol
  - R= 0,082 L atm/mol K apabila tekanan dalam atm, volume dalam liter, dan jumlah mol dalam mol

karena  $n = \frac{m}{M}$  maka turunan dari persamaan gas ideal dapat dituliskan:

$$p \times V = n \times R \times T \Leftrightarrow p \times V = \frac{m}{M} \times R \times T \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p \times M}{R \times T} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Karena  $n = \frac{N}{N_A}$ , maka akan didapat persamaan:

$$p \times V = \frac{N}{N_A} \times R \times T$$

(dari rumus  $P V = n R T$ )

$$p \times V = N \times \frac{R}{N_A} \times T \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{R}{N_A} = k$$

, maka:

$$p \times V = N \times k \times T \quad \dots\dots\dots(7)$$

$k$  disebut dengan *tetapan Boltzmann*, yang nilainya adalah:

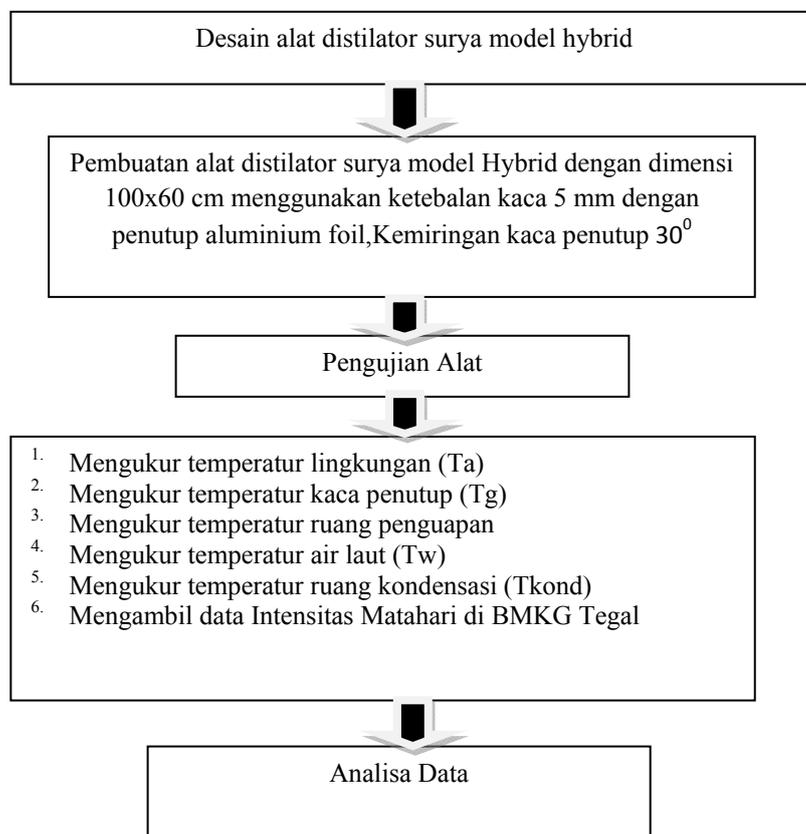
$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8314 \text{ J/kmolK}}{6,022 \times 10^{23} \text{ partikel}} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

**METODE PENELITIAN**

Penelitian yang sudah dikembangkan oleh peneliti lain dan juga yang akan dikerjakan oleh peneliti ini digambarkan dalam bentuk flowchart dibawah (gambar 3) dan langkah penelitian ini akan dilaksanakan dalam 4 (empat) tahap :

- a. Membuat seperangkat alat distilator surya model *HybridBasin solar still*, kemiringan kaca penutup  $30^0$ .
- b. Melakukan pengujian alat tersebut.
- c. Menggunakan temperatur digital untuk memantau perubahan temperatur alat.
- d. Melakukan perhitungan dan pengolahan data yang dihasilkan dari penelitian.

Adapun untuk lebih jelasnya langkah penelitian maka kami buat bagan (*flow chart*) dibawah ini :



Gambar.3. Alur Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Proses Pembuatan Alat

Bahan yang digunakan untuk membuat alat distilasi model *hybrid* yaitu kaca transparan dengan ukuran tebal 5mm, dinding dan alas terbuat dengan kaca transparan dengan tebal 5mm yang berfungsi sebagai penyerap radiasi matahari yang diterima oleh kolektor plat datar dan kita potong kaca sesuai dengan ukuran yang sudah kita rencanakan. Dimensi dari *hybridSolar Distillation*, panjang 60cm, lebar 100cm dan tinggi kaca depan 20 cm dan tinggi kaca belakang 50cm, kemiringan kaca penutup 30°. Pipa kondensat terbuat dari pipa tembaga berdiameter luar 10mm dengan panjang efektif 50cm dan berbentuk zig-zag yang akan kita rangkai dibelakang kaca atau diruang kedua yang berfungsi sebagai kondensasi sehingga ada dua proses distilasi air

Blower listrik dirangkai pada kaca yang telah kita lubangi yang berfungsi untuk proses kondensasi yang lebih cepat, *styrofoam* untuk penutup dinding dengan tebal 5mm sehingga panas di dalam basin terjaga. Panel surya kapasitas 10WP dan baterai kering 12V digunakan sebagai sumber listrik penggerak *blower*.

### Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan pada tanggal 18 Juli 2014 dilakukan di depan Laboratorium Proses Produksi Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal. Pengujian di mulai dari pukul 08.00 sampai pukul 17.00 wib dengan mengukur temperatur lingkungan ( $T_a$ ), temperatur permukaan kaca bagian dalam ( $T_g$ ), temperatur uap di dalam basin ( $T_{sv}$ ), temperatur air laut ( $T_w$ ), temperatur pipa kondensasi ( $T_{kond}$ ), menghitung volume alat, menghitung massa air laut dan menganalisa hasil air distilasi tiap jam nya serta data intensitas matahari yang di dapat di Badan meteorologi dan geofisika (BMKG) Kota Tegal.



Gambar 4. Alat Hibrid Solar Distilasi

Adapun hasil pengukuran temperatur sesuai tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Hasil Pengukuran Temperatur di Ruang Basin tanggal 18 Juli 2014

**HARI/TANGGAL : Jumat 18 Juli 2014**

**Hasil Pengukuran Diruang Basin**

No	Waktu	$T_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_w$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{sv}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_p$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	IT W/mK	Air hasil destilasi
1	08.00-09.00	31	23	36	42	42	502	0 ml
2	09.00-10.00	31	44	34	42	44	608.4	30 ml
3	10.00-11.00	32	46	32	40	46	887.9	78 ml
4	11.00-12.00	31	51	32	45	51	968.6	192 ml
5	12.00-13.00	29	50	32	43	50	793.6	300 ml
6	13.00-14.00	30	50	32	44	50	279.1	432 ml
7	14.00-15.00	30	50	34	45	50	115.8	516 ml
8	15.00-16.00	29	49	33	43	49	49.4	575 ml
9	16.00-17.00	29	48	32	40	48	14.5	625 ml

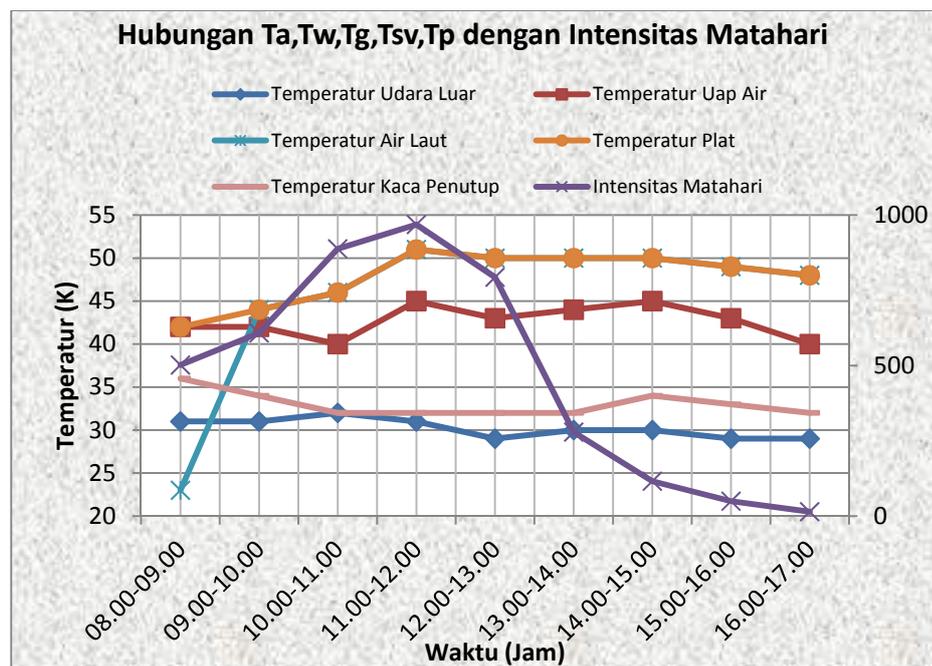
Tabel 2. Hasil Pengukuran Temperatur di Ruang Kondensasi

**Hasil Pengukuran Di Dalam ruang Blower dan Pipa Kondensasi**

No	Waktu	Ta (°C)	Tg (°C)	Tsv (°C)	Pipa kondensasi (°C)	IT W/mK	Air hasil destilasi
1	08.00-09.00	31	31	41	33	502	0 ml
2	09.00-10.00	31	34	43	34	608.4	0 ml
3	10.00-11.00	32	33	42	36	887.9	0 ml
4	11.00-12.00	31	33	44	35	968.6	2 ml
5	12.00-13.00	29	32	44	36	793.6	5 ml
6	13.00-14.00	30	33	43	36	279.1	10 ml
7	14.00-15.00	30	34	41	33	115.8	20 ml
8	15.00-16.00	29	33	42	32	49.4	30 ml
9	16.00-17.00	29	31	40	30	14.5	40 ml

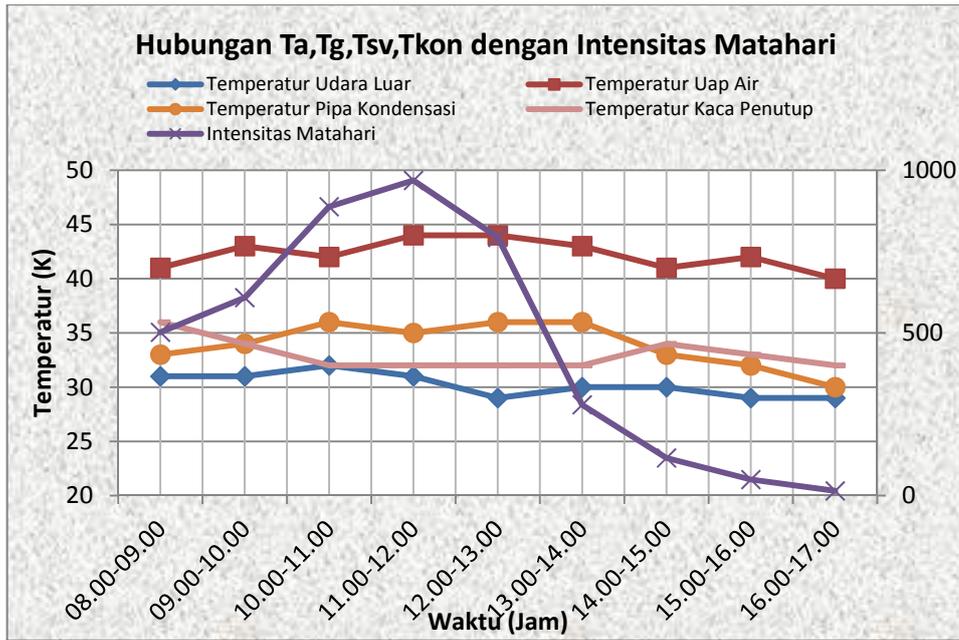
**Analisa temperatur (Ta, Tg, Tsv, dan Intensitas Radiasi) menggunakan grafik**

Grafik 1. Hasil Pengukuran Temperatur di Ruang Basin tanggal 18 Juli 2014 menggunakan grafik untuk melihat hubungan antara Temperatur Udara Luar (Ta), Temperatur Air Laut (Tw), Temperatur Kaca Penutup (Tg), Temperatur Uap Air (Tsv), Temperatur Plat (Tp) dan Intensitas Matahari (IT).



Gambar 5. Grafik Hubungan Ta, Tg, Tsv, Tw, dan IT

Hasil Pengukuran Temperatur di Ruang Kondensasi tanggal 18 Juli 2014 menggunakan grafik untuk melihat hubungan antara Temperatur Udara Luar (Ta), Temperatur Kaca Penutup (Tg), Temperatur Uap Air (Tsv), Temperatur Pipa kondensasi (Tkon) dan Intensitas Matahari (IT).



Gambar 6. Grafik Hubungan Tkond, Tsv dan IT

Perhitungan tekanan di dalam ruang basin digunakan pendekatan rumus persamaan gas ideal dimana :  $PV = nRT$ , dimana  $V = \frac{m}{\rho}$  maka persamaan bisa ditulis  $P = \rho RT$

Dimana :

- P = Nilai tekanan kPa
- $\rho$  = Nilai Massa jenis Air  $\text{kg/m}^3$
- R = Nilai konstanta uap air berdasarkan temperatur  $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}$
- T = Temperatur Ruang Basin ( $T_{sv}$ )  $^\circ\text{K}$

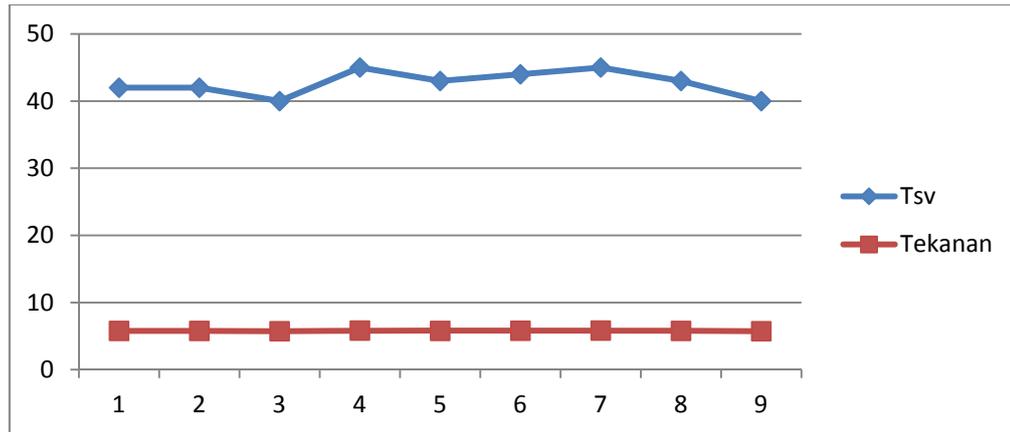
Maka pendekatan nilai tekanan pada ruang basin bisa dianalisa sebagai berikut :

- Volume basin ( $V_{\text{alat}}$ ) adalah  $0.6 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 0.3 \text{ m}^3$
- Nilai massa jenis air =  $992 \text{ kg/m}^3$
- Nilai Konstanta uap (R) menyesuaikan perubahan temperatur ruang basin ( $T_{sv}$ ) yang didapat pada tabel Vapour Pressure (*Appendix B.4. Mechanics Of Fluids*)
- Nilai temperatur ruang basin ( $T_{sv}$ )

Tabel 3. Nilai tekanan pada ruang basin bisa dibuat tabel sebagai berikut sebagai berikut :

No	$T_{sv}(^\circ\text{K})$	$R(\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K})$	$V_{\text{air laut}}(\text{m}^3)$	$\rho(\text{kg/m}^3)$	P(Pa)
1	315	0.4615	0.012	992	5.76
2	315	0.4615	0.012	992	5.76
3	313	0.4615	0.012	992	5.73
4	318	0.4615	0.012	992	5.82
5	316	0.4615	0.012	992	5.78
6	317	0.4615	0.012	992	5.80
7	318	0.4615	0.012	992	5.82
8	316	0.4615	0.012	992	5.78
9	313	0.4615	0.012	992	5.73

Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara Temperatur penguapan ruang basin dengan nilai tekanan adalah hubungan yang linier dimana pada saat temperatur penguapan naik maka nilai tekanan juga naik.



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Tsv dan Tekanan

### KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- Alat hibrid solar distilasi ini mempunyai fungsi sebagai distilasi air laut menjadi air tawar, dimana cara kerjanya hanya memanfaatkan panas matahari memanaskan air laut di dalam bejana kaca yang dilengkapi dengan blower dan pipa kondensasi yang mempunyai fungsi penurun tekanan di dalam bejana.
- Dimensi alat hibrid solar distilasi mempunyai panjang 60cm, lebar 100cm, tinggi bagian depan 20cm, tinggi bagian belakang 50cm dengan kemiringan kaca penutup 30°, dilengkapi dengan blower elektrik yang berfungsi menurunkan tekanan di dalam ruang penguapan dan sumber energinya didapat dari panel surya 10WP. Pada bagian belakang alat terdapat pipa tembaga yang berfungsi sebagai kondensasi dan diharapkan bisa menambah jumlah air hasil distilasi. Pengujian dilakukan dari jam 8.00-17.00 atau selama 9 jam dengan air distilasi yang dihasilkan 700ml.
- Hasil yang di dapat dari performansi alat hibrid solar distilasi selama 9 jam pengujian menunjukkan temperatur rata-rata lingkungan ( $T_a$ ) = 30°C, temperatur rata-rata kaca penutup ( $T_g$ )=33°C, temperatur ruang penguapan ( $T_{sv}$ )=42.67°C, temperatur air laut rata-rata ( $T_w$ )=45.67°C, Intensitas Matahari (IT) rata-rata=468 W/m<sup>2</sup>C, temperatur pipa kondensasi ( $T_{kond}$ )=33.89°C dan nilai tekanan rata-rata di dalam ruang penguapan (P)=5.78Pa.

Saran dari penelitian ini adalah :

- Perlunya perlakuan terhadap alat hibrid solar distilasi untuk menurunkan nilai temperatur dan tekanan pada ruang penguapan sehingga proses kondensasi atau pengembunan bisa efektif dan menghasilkan uap air yang menempel di kaca penutup.
- Perlunya penelitian lebih lanjut tentang proses terjadinya filmwise dan dropwise kondensasi pada alat hibrid solar distilasi yang pengaruhnya terhadap nilai temperatur ruang penguapan ( $T_{sv}$ ) dan nilai tekanan (P).

### DAFTAR PUSTAKA

- Agus Mulyono, 2006, *Karakteristik Basin Still Dengan Penurunan Tekanan Ruang Basin Pada Destilasi Air Laut Tenaga Matahari*, Thesis, Universitas Brawijaya
- Astu Pudjanarsa & Djati Nursuhud, Prof., 2006, *Mesin Konversi Energi*, Penerbit : Andi Yogyakarta.
- Arismunandar, W., 1995, *Teknologi Rekayasa Surya*, PT. Pradnya Paramitha Jakarta.
- Duffie, John. A, 1991, *Solar Engineering of Thermal Process*, John Willey & Sons, Singapore
- Irfan Santosa, 2011, *Aplikasi Dimensi Pada Analisa Produksi Air Bersih Menggunakan Perubahan Lapisan Film Kondensasi Perangkat Distilasi*. Laporan penelitian Lembaga Penelitian Universitas Pancasakti Tegal.
- Irfan Santosa, 2012, *Pengaruh Sudut Atap Kaca Penutup Terhadap Produksi Air Distilasi Jenis Single Basin Solar Still*, Laporan Penelitian Lembaga Penelitian Universitas Pancasakti Tegal

- J.P. Holman & E.Jasjfi, 1997, *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Jurnal Ilmu Teknik (Engineering)Unika Atmajaya Vol.14 No.2 Oktober 2002 (halaman 147 – 154),  
*Pengaruh Plat Absorber Terhadap Panas Pada Alat Distilator.*
- JW Rose, 2009, *Dropwise Condensation Theory and Experiment:A Review (Department of Engineering Queen Mary, Proc Instn Mech Engineers Vol 216 Part A:J Power and Energy Of London.*
- Ketut Astawa, 2008, *Pengaruh Penggunaan Pipa Kondensat Sebagai Heat Recovery Pada Basin Type Solar Still Terhadap Efisiensi*, Jurnal Teknik Mesin CAKRAM Vol.2 No.1 (34-41). Universitas Udayana Bali.
- Mulyanef, Marsal., dkk, 2006, *Sistem Distilasi Air Laut Tenaga Surya menggunakan Kolektor Pelat Datar dengan Tipe Kaca Penutup Miring*, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta, Padang.
- Tiwari,G.N & Tiwari, A.K. DR., 2008, *Solar Distillation Practice For Water Desalination Systems*, ISBN: 978 1905740 888, Indian Institute of Technology, New Delhi, India.
- T.V.Arjunan; H.S.Aybar; & N.Nedunchezhan. 2009, *An Experimental Study On Solar Still With Sponge Liner*, International Journal of Applied of Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol.4 pp. 335-361, www.ebsco.com (17 Desember 2010, jam 11:36)
- T.V.Arjunan; H.S.Aybar; & N.Nedunchezhan. 2009, *A Study On Effect of Water Capacity on the Performance of a Simple Solar Still*, International Journal of Applied of Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol.4 pp. 2223-2234, www.ebsco.com (17 Desember 2010, jam 10:00)
- Yunus A. Cengel & Michael A.Boles, 2007, *Thermodynamics An Engineering Approach Sixth Edition (SI Units)*, Mc Graw Hill.

## PENINGKATAN UMUR FATIK PADUAN A356.0 UNTUK APLIKASI VELG SEPEDA MOTOR DENGAN METODE CENTRIFUGAL CASTING PUTARAN TINGGI

Priyo Tri Iswanto<sup>1</sup>, Muhammad Abdus Shomad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Mahasiswa Pascasarjana Prodi S2/S3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada

e-mail: <sup>1</sup>priyotri@ugm.ac.id

### ABSTRACT

Motorcycle populations in Indonesia were predicted more than 70 millions in 2012. It indicates huge demand of motorcycle accessories. Aluminium alloy motorcycle wheel has been produced by small and medium enterprises in Yogyakarta. Unfortunately, the quality of those motorcycle wheels are not good enough due to the scrap material used, poor casting method, no heat treatment and no addition of grain refiner inoculants. In application, aluminium alloy motorcycle wheels always receive dynamic loads. To achieve overall service performance requirements of aluminium alloy motorcycle wheel, higher mechanical and fatigue properties may also need to be considered. The study related to fatigue strength improvement is very important since more than 90% of structural failures have been affected directly or indirectly by fatigue and about 90% of structural failures are initiated at high stress concentrated parts. The objective of this research is to investigate the effect of rotational speed on fatigue characteristic of aluminum alloy motorcycle wheel.

Material used in this research was aluminum alloy A356. The material was melted at temperature of 750 °C in an electric furnace. The mold was pre-heated at temperature of 250 °C using liquefied petroleum gas. Rotational speeds of molding were 750, 950, and 1100 RPM. The 0.008% grain refiner titanium boron was added during melting process. Rotating bending fatigue test was conducted by Ono-type rotating bending fatigue testing machine under rotating speed of 3450 rpm. The hardness distribution was evaluated by a Vickers hardness tester.

Rotary bending fatigue test result with stress ratio  $R = -1$  show that fatigue properties of casting products generally increase with increasing of molding rotational speed. S-N curves show the fatigue strength and the number of cycles to failure increase when the rotational speed of molding increases.

**Keywords :** A356, centrifugal casting, cyclic stress, stress ratio, stress amplitude, fatigue life

### PENDAHULUAN

Populasi sepeda motor di Indonesia sampai dengan 2012 diprediksi lebih dari 77 juta unit (Badan Pusat Statistik, 2012). Hal tersebut mengindikasikan populasi sepeda motor dan permintaan terhadap komponen sepeda motor termasuk didalamnya *velg* akan sangat tinggi. Tingkat persaingan pasar komponen otomotif terutama dari produk impor semakin tinggi, menyusul kesepakatan perdagangan bebas Asean-China (ACFTA). Produk komponen otomotive dari kawasan China dan Asean membanjiri pasar Indonesia (Afriyanto, 2010). Akibatnya berdampak kurang baik terhadap industri-industri otomotif dalam negeri. *Velg* cor paduan aluminium telah dapat diproduksi oleh dua industri kecil dan menengah IKM di Yogyakarta, tetapi masih ada kendala karena kualitas produk yang masih jauh dibandingkan *velg* buatan pabrik (Kuncahyo, 2010). Rendahnya kualitas produk cor tersebut dikarenakan diantaranya; material yang digunakan adalah aluminium skrap, metode pengecoran yang konvensional, tanpa *heat treatment* dan tanpa penghalus butir.

Iswanto dkk (2011) menyatakan bahwa kecepatan putar, proses heat treatment T6, grain refiner AL-TiB dapat meningkatkan secara signifikan sifat fisis dan mekanis *velg* aluminium sekrap A356.0. Chirita, dkk (2008) menyatakan bahwa kecepatan putar pada *centrifugal casting* dapat meningkatkan *rupture strength* hampir 35% dan *rupture strain* sekitar 160%. Vassiliou, dkk (2008) menyatakan bahwa kecepatan putar pada *centrifugal casting*, temperatur cetakan dan temperatur tuang mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Mohan, dkk (2008) menyatakan bahwa *vertical centrifugal casting* dapat menghasilkan produk yang berbentuk *hollow cylindrical* dengan tebal seragam pada kecepatan putaran 1600 RPM dan temperatur tuang 1173 K. Sabatino, dkk (2006) meneliti pengaruh temperatur dan unsur paduan terhadap fluiditas paduan Al-Si. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur penuangan memiliki pengaruh yang sangat nyata terhadap fluiditas logam cair. Gwózdź dan Kwapisz (2008) menyatakan bahwa laju pembekuan berpengaruh besar terhadap sifat mekanis, yang dapat dilihat dari *yield's strength* untuk paduan Al-Cu-Si sebesar 197 MPa, paduan Al-Mg-Si sebesar 243 MPa. Mo'ller, dkk (2007) menyatakan bahwa kandungan Mg

dapat memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap perilaku *natural* dan *artificial aging* paduan aluminium. Peningkatan kandungan Mg pada paduan aluminium akan menghasilkan kenaikan indek kualitas. Szajnar dan Wróbel (2007) menyatakan bahwa terjadi pengecilan ukuran butir aluminium EN AW-A199.5 setelah ditambahkan inoculan TiB. Hal tersebut merupakan hasil pembentukan  $Ti_3Al$  dan  $CuTi_2$  dari pengintian heterogen.

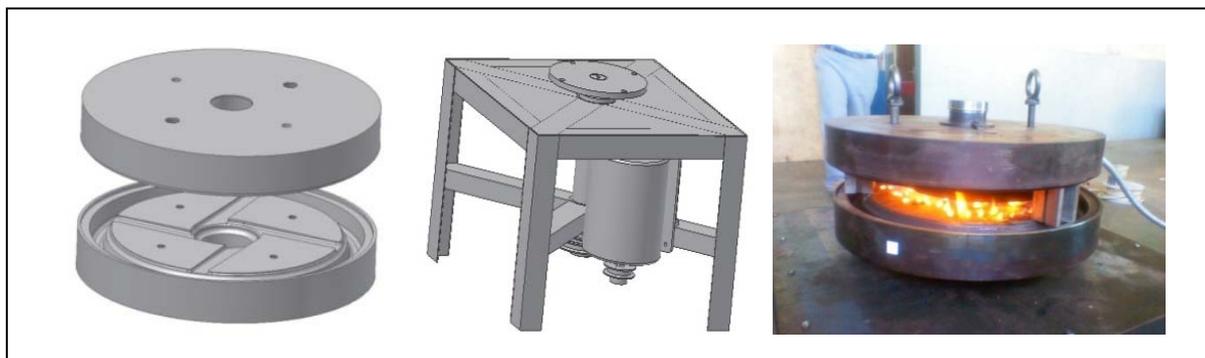
Pengaruh *artificial aging* terhadap laju perambatan retak fatik Al 2024 menunjukkan bahwa bahan yang mempunyai kekuatan tarik semakin tinggi menghasilkan laju perambatan retak yang semakin rendah, semakin tinggi temperatur penuaan memberikan hasil laju perambatan retak yang semakin rendah (Pramuko dan Jamasri, 2004). Ukuran porositas terbesar (*maximum pore size*) inklusi dan ukuran sel dendrit dapat mempengaruhi umur fatik (Jordon dkk, 2010). Cacat lapisan oksidasi (*oxide film*), atau inklusi (*intermetallic inclusions*), dapat menyebabkan terjadinya inisiasi retak fatik, menurunkan umur pakai (*lifetime*), dan mengurangi *cyclic strength* (Mayer dkk, 2003). Besarnya rasio beban (R) menyebabkan kurva semakin bergeser ke arah kiri dimana dengan faktor intensitas tegangan ( $\Delta K$ ) yang sama laju perambatan retak ( $da/dN$ ) yang terjadi untuk  $R=0,3$  lebih besar dibandingkan dengan  $R=0,1$  (Sanyoto, dkk, 2008). Umbu E, (2010) menyatakan bahwa semakin tinggi putaran pada *centrifugal casting* akan menurunkan *crack growth rate* pada pengecoran *velg* A356 skrap.

Dari uraian di atas, munculah pertanyaan bagaimanakah efek putaran terhadap sifat fatik bahan aluminium paduan A356. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan kuantitatif antara variasi kecepatan putar 750, 950 dan 1100 RPM pada *centrifugal casting* dengan penambahan inoculan Al-Ti-B 7.5% terhadap umur fatik karena *rotary bending stress* pada paduan A356.0 untuk *velg* sepeda motor. Seluruh struktur yang menerima beban dinamis perlu dilakukan penelitian kelelahan karena sekitar 90% kegagalan struktur diakibatkan oleh fatik yang dimulai dari tempat terjadinya konsentrasi tegangan (Nishida, 1992).

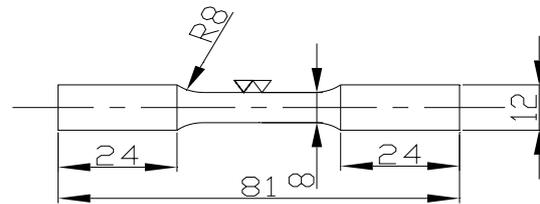
## METODE PENELITIAN

Tahapan pengacoran dimulai dengan uji coba memutar cetakan sesuai dengan variasi putaran yang telah ditentukan. Pada tahap ini, peneliti melakukan uji coba terhadap unjuk kerja sistem *centrifugal casting*. Gambar 1 dibawah ini menyajikan cetakan dan meja *centrifugal casting* serta proses *pre-heating*. Uji coba untuk mengetahui fungsi sistem *centrifugal casting* yaitu, kemudahan dalam buka tutup cetakan saat kondisi panas, fungsi ejektor untuk mengeluarkan hasil coran dari cetakan, serta berfungsi atau tidaknya laluan udara agar tidak ada udara terjebak. Jika hasilnya memuaskan maka dilanjutkan pada tahapan ke dua.

Tahap berikutnya adalah melakukan *pre-heating* cetakan dengan temperatur  $250^{\circ}C$ . Proses *pre-heating* menggunakan *liquefied petroleum gas* (LPG), yaitu dengan menempatkan *burner* diantara cetakan atas dan bawah sampai temperatur cetakan mencapai  $250^{\circ}C$ , seperti yang tersaji pada Gambar 1. Setelah terkonfirmasi suhu cetakan  $250^{\circ}C$ , maka dilanjutkan dengan proses peleburan paduan aluminium A356 yang akan dituangkan pada cetakan pada suhu tuang  $750^{\circ}C$ . Proses selanjutnya cetakan diputar dengan variasi putaran sebesar 750, 950 dan 1100 RPM. Setelah cetakan dingin, *velg* kendaraan roda dua yang dihasilkan kemudian dipotong-potong dibuat specimen uji. Proses selanjutnya adalah pembuatan benda uji tarik dengan standar ASTM E-8M. Specimen uji impak menggunakan specimen menurut standart ASTM-E23. Pengujian fatik dilakukan dengan menggunakan *rotary bending fatigue testing machine* atau *Ono machine* (Gambar 3). Specimen yang digunakan sesuai dengan standar JIS2201 (Gambar 3).



Gambar 1. Cetakan dan meja putar (kiri) proses preheating cetakan (kanan)



Gambar 2. Rotary bending fatigue testing machine (kiri) benda uji fatik (kanan)

## PEMBAHASAN

Produk *centrifugal casting*. Produk *centrifugal casting* setelah dingin dikeluarkan dari cetakan seperti tersaji pada Gambar 3. Hasil produk pengecoran secara umum cukup baik, dimana cetakan dapat terisi penuh. Hal tersebut karena adanya gaya sentrifugal yang mendorong cairan logam untuk mengisi seluruh bagian cetakan. Cacat produk tak terlihat secara jelas, sehingga proses pengecoran *centrifugal casting* berjalan dengan sukses.

Uji komposisi. Hasil uji komposisi tersaji pada Tabel 3. Hasil uji komposisi menunjukkan bahwa material yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kandungan utama Al 92,45%, Si 7,25% dan Mg 0,08%. Material dengan kandungan seperti tersebut mendekati paduan aluminium A356 (Zolotarevsky, 2007), namun kandungan Mg masih dibawah standard.

Uji tarik impact dan kekerasan. Tabel 2 menyajikan data-data variasi putaran, *ultimate tensile strength* (UTS), harga impact dan harga kekerasan. Secara umum harga UTS berfluktuasi terhadap kenaikan putaran. Hubungan antara harga impact (HI) dengan variasi putaran secara umum menunjukkan HI berfluktuasi terhadap kenaikan putaran. Hubungan antara kekerasan (VHN) dengan variasi putaran secara umum menunjukkan harga VHN berfluktuasi terhadap kenaikan putaran. Hal tersebut karena kuat tarik, harga impact dan kekerasan ditentukan oleh kekuatan ikatan secara rata-rata diantara atom atom yang ada, sehingga jika terdapat cacat maka kuat tarik, harga impact dan kekerasan tidak akan banyak berubah.



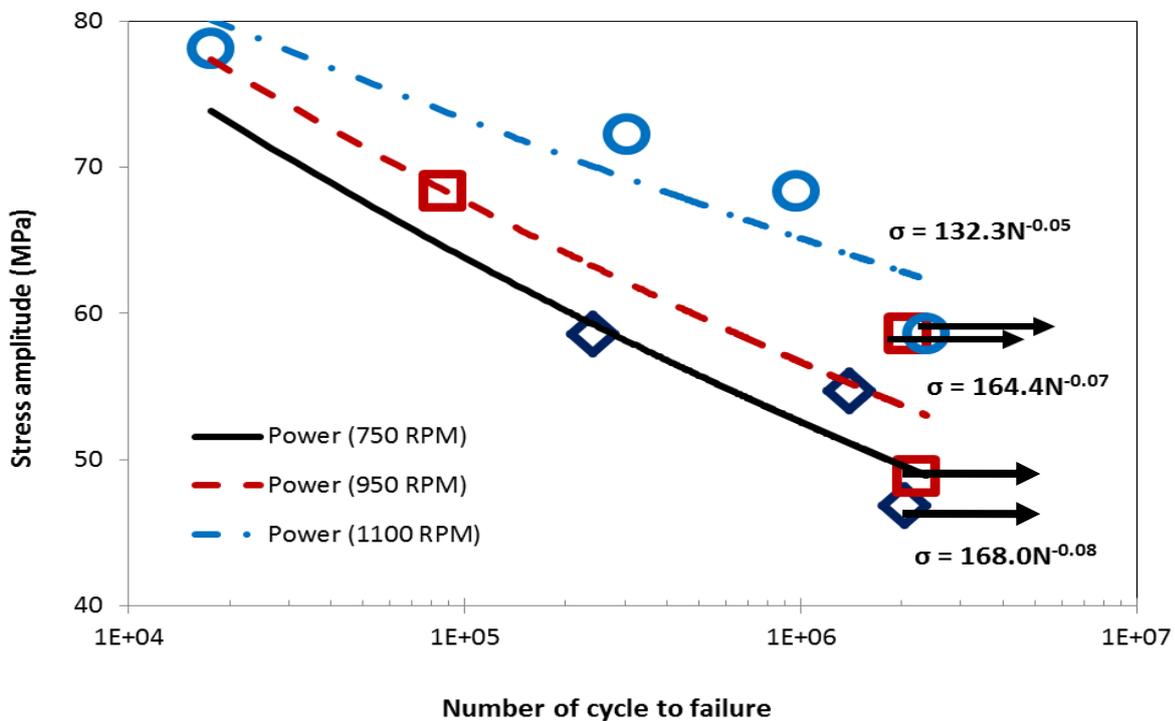
Gambar 3. Produk centrifugal casting

Tabel 1. Komposisi kimia (% mass)

Unsur	Al	Si	Mg	Ti	Fe
(%)	92,45	7,25	0,08	0,09	0,12

Tabel 2. Hubungan variasi putaran terhadap UTS dan HI serta hardness

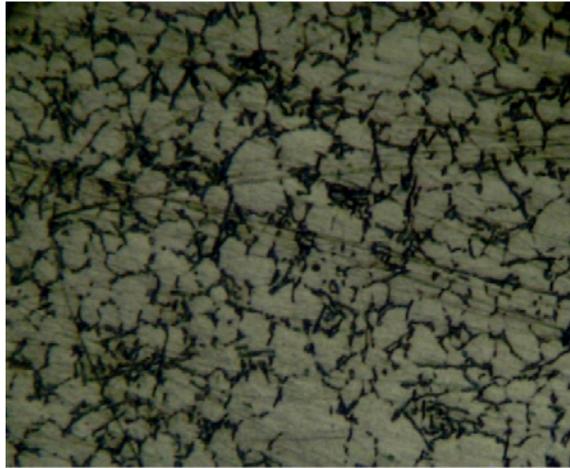
No	Putaran (RPM)	UTS (MPa)	HI (J/mm <sup>2</sup> )	Hardness (kg/mm <sup>2</sup> )
1	750	141	0.0361	17.12
2	950	133	0.0418	13.48
3	1100	152	0.0373	11.98



Gambar 4. Hubungan amplitudo tegangan vs jumlah siklus

Uji Fatik. Pengujian fatik dilakukan untuk mendapatkan kurva hubungan antara beban (tegangan) dan umur fatik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *rotary bending fatigue testing machine*. Specimen yang digunakan sesuai dengan standar JIS2201. Hasil dari pengujian fatik ditampilkan dalam diagram semilog hubungan antara tegangan dan umur fatik dimana untuk umur fatik digunakan skala log, sedangkan tegangan digunakan skala normal. Hasil pengujian fatik disajikan pada Gambar 4. Kurva hubungan antara beban (tegangan) dan umur fatik yang diperoleh menunjukkan semakin tinggi putaran centrifugal casting akan meningkatkan kuat fatik spesimen. Hal tersebut karena semakin tinggi putaran akan menghasilkan semakin besar gaya sentrifugal yang akan mendorong semakin kuat cairan logam mengisi cetakan dan mendorong udara keluar cetakan. Hal tersebut akan mengakibatkan semakin sedikitnya porositas dan void yang terjadi pada hasil coran. Jika cacat cacat seperti void atau porositasnya berkurang maka fatigue strength maupun umur fatik akan meningkat. Hal tersebut karena fatigue strength ditentukan oleh kekuatan ikatan terlemah diantara atom atom yang ada, sehingga jika banyak cacat maka fatigue strength akan turun karena retak akan cepat merambat.

Pengamatan struktur mikro. Gambar 5 menyajikan foto struktur mikro specimen setelah dietsa. Hasil pengamatan metalografi menunjukkan specimen benar benar menunjukkan ciri paduan aluminium A356.



Gambar 5. Struktur mikro paduan aluminium A356

## KESIMPULAN

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

1. Umur fatik meningkatkan jika putaran *centrifugal casting* semakin tinggi.
2. Kuat tarik, harga impak dan kekerasan tidak banyak dipengaruhi kecepatan putaran centrifugal casting

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanto, 2010, Pasar Komponen Otomotif Tumbuh 15%, Harian Bisnis Indonesia.
- Badan Pusat Statistik, 2012, Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2012, available at <http://www.bps.go.id/>, diakses 25 Januari 2012.
- Chirita, G., Soares, D., and Silva, F.S., 2008, Advantages of the Centrifugal Casting Technique for the Production of Structural Components with Al-Si Alloys.
- Gwózdź, M., and Kwapisz, K., 2008, Influence of Ageing Process on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium-Silicon Cast Alloys - Al-9%Si-3%Cu and Al-9%Si-0.4%Mg.
- Iswanto P.T, Ilman, M.N., Masyari, 2011, Pengaruh Kecepatan Putar Dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Paduan Aluminium A356.0 Velg Sepeda Motor Pada Centrifugal Casting, Laporan Penelitian DPP 2011.
- Jordon, J.B., Horstemeyer, M.F., Yang, N., Major, J. F., Gall, K.A., Fan, J., McDowell, D.L., 2010, Microstructural Inclusion Influence on Fatigue of a Cast A356 Aluminum Alloy, Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 41A.
- Kuncahyo, 2010, Sifat Fisis Dan Mekanis Velg Kendaraan Roda Dua 14" Poduksi Lokal Dan Produksi Pabrik Tugas Akhir Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Mayer, H., Papakyriacou, M., Zettl, B., Stanzl, S.E-Tschegg, 2002, Influence of Porosity on the Fatigue Limit of Die Cast Magnesium and Aluminium, Elsevier, International Journal of Fatigue 25 (2003) 245-256.
- Mohan, S., Pathak, J.P., Chander N., and Sarkar, S., 2008, Surface Studies of Centrifugally Cast Aluminum-based Lead Bearing Composites.
- Möller, H., Govender, G., and Stumpf, W.E., 2007, Natural and Artificial Aging Response of Semi Solid Metal Processed Al-Si-Mg Alloy A356.
- Nishida S., 1992, Failure Analysis in Engineering Application, Butterworth Heinemann.

- Pramuko, I.P., Jamasri, 2004, Pengaruh Artificial Aging terhadap Laju Perambatan Retak Fatik Al 2024, Jurnal Teknik Gelagar, Vol 15, No 01.
- Sabatino, M.D., Shankar, S., Apelian, D., and Arnberg, L., 2006, "Influence of Temperature and Alloying Elements on Fluidity of Al-Si Alloys".
- Sanyoto, B.L., 2008, Laju Perambatan Retak Plat Aluminium 2024 T3 dengan Beban Fatigue Uniaksial pada Rasio Beban dan Jarak Diameter Lubang Berbeda, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Cakram, Vol.2, No. 2.
- Szajnar, J., and Wróbel, T., 2007, "Inoculation of Aluminium with Titanium and Boron addition".
- Umbu E., 2011, Pengaruh Putaran Centrifugal Casting Dan Heat Treatment T6 Velg Dari Bahan Aluminium Scrap Terhadap Karakteristik Perambatan Retak Fatik, Tesis Prodi S2 JTMI FT UGM.
- Vassiliou, A.N., Pantelis, D.I., and Vosniakos, G.C., 2008, Investigation of Centrifugal Casting Conditions Influence on Part Quality.
- Zolotarevsky, V.S., Belov, N.A., and Galzoff, M.V., 2007, "Casting Aliminum Alloys", ISBN-13: 978-0-08-045370-5, Elsevier Ltd.

## RANCANG BANGUN PINTU GESER KOMPAK PADA BUSWAY DENGAN SISTEM BUKA TUTUP PULI DAN SABUK

Tono Sukarnoto<sup>1</sup>, Sigit Subiantoro<sup>2</sup>, Amal Witonohadi<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, UNIVERSITAS TRISAKTI Jakarta

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, UNIVERSITAS TRISAKTI Jakarta

e-mail : <sup>1</sup>tsukarnoto@trisakti.ac.id, <sup>3</sup>awitonohadi@gmail.com,

### ABSTRACT

*Busway as mass transit mode needs wider opening door to accommodate faster passenger's mobility for entering and leaving. Sliding door is a kind of door that use in busway fleet. Many years in operation, sliding door shows some problems like broken sliding mechanism and took larger area inside the bus that reduce aisle width. The sliding door type was replaced by inward swing door in newer fleet till recent time. But sliding door really could be designed more compact without regarding the strength and safety. This paper is a part of research in sliding door design to make a design of compact sliding door and only needs less area in the bus. A thin sliding door placed inside bus body wall has been designed. Structural strength has been analyzed by FEM and experimental and the result shows the door is strong enough. Door opening and closing mechanism using a couple of pulley and pneumatic cylinder actuator. A full scale model of compact sliding door and wall segment has been made in laboratory with 900 mm door stroke and 450 mm actuator stroke. All opening and closing mechanism installed on the top of the door. The opening and closing system has fulfilled its function and work well.*

**Keywords:** busway, sliding door, belt-pulley, pneumatic cylinder

### PENDAHULUAN

Sampai Saat ini busway sudah menjadi salah satu tulang punggung angkutan publik di Jakarta. Sistem transportasi massal bus rapid transit (BRT) Busway mulai beroperasi 15 Januari 2004. Tahun 2013 armada bus dioperasikan oleh 9 operator melayani 12 koridor yang diatur oleh Unit Pengelola Transjakarta Busway (Transjakarta, 2013). Pada awal operasi jenis bus yang digunakan adalah bus tunggal kemudian ditambah dengan bus gandeng (articulated bus). Kecuali armada awal yang beroperasi di koridor I, semua bus menggunakan bahan bakar gas dengan transmisi otomatis (Sukarnoto, 2012).

Seluruh armada busway mempunyai ciri khas berupa pintu penumpang ekstra lebar di bagian tengah bodi bus dan susunan tempat duduk menghadap ke tengah. Hal ini mengikuti standar BRT yang mensyaratkan 2 pintu lebar untuk bus tunggal dan 3 pintu atau lebih untuk bus gandeng (ITDP, 2012). Pada awalnya pintu utama hanya ada di bagian tengah dengan lebar bukaan sekitar 1,8 m, pada generasi berikutnya pintu belakang juga dijadikan akses keluar masuk. (Sukarnoto, 2012). Penggunaan akses pintu belakang ini dilakukan setelah halte juga disesuaikan untuk pintu tengah dan belakang. Pada generasi kedua ini seluruh armada menggunakan pintu geser, berbeda dengan generasi pertama yang menggunakan pintu lipat. Gambar 1 adalah salah satu unit busway dengan pintu geser.



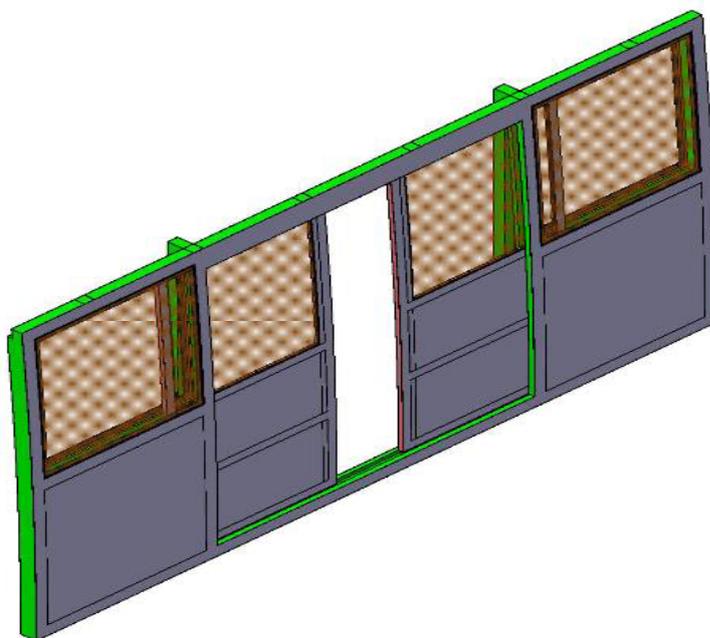
**Gambar 1.** Unit busway dengan pintu geser.

Penggunaan pintu geser ternyata ada masalah yang cukup mengganggu yaitu pintu memakan tempat cukup besar sehingga menghalangi pergerakan penumpang di dalam bus. Posisi daun pintu yang berada pada sisi dalam dinding bus membuat tempat duduk di sekitar pintu harus digeser agak ke tengah sehingga lebar gang berkurang sekitar 30 cm (Haris, 2009). Hal lain adalah seringnya terjadi kerusakan pada mekanisme buka tutup pintu geser. Kerusakan itu berupa, pintu sulit untuk dibuka atau ditutup, bahkan tidak bisa ditutup serta longgarnya dudukan pintu sehingga pintu bergoyang saat bus berjalan.

Permasalahan pintu geser di atas membuat pengelola busway mengubah jenis pintu untuk pengadaan berikutnya menjadi pintu ayun dalam. Dengan sedikit mengurangi lebar bukaan pintu menjadi sekitar 1,5 m, penggunaan pintu ayun dalam menjadi memungkinkan. Penempatan pintu ayun dalam ini tidak mengganggu posisi tempat duduk. Tempat duduk bisa dipasang dengan sandaran menempel pada dinding bus. Namun demikian saat terjadi gerakan membuka dan menutup perlu ruang untuk mengayun daun pintu. Untuk itu ada zona larangan berdiri di sekitar pintu ayun dalam.

Perancangan pintu geser kompak bertujuan memperoleh pintu geser yang tidak banyak memakan ruang dan sisi lain tidak menyita ruang untuk manuver buka tutup sebagaimana pintu ayun dalam. Metode perancangan mengikuti VDI 2221 yang dimulai dari tahap klarifikasi tugas, perancangan konsep, perancangan wujud dan perancangan detail (Pahl- Beitz, 1984). Dari hasil perancangan diperoleh pintu geser dengan penempatan di dalam rongga dinding bus dengan total tebal dinding 90 mm (Gambar 2). Mekanisme buka tutup yang dipilih adalah mekanisme sabuk dan puli dengan kendali koil-relai. Perangkat pembuka dan penutup dipasang di atas pintu. Mekanisme sabuk dan puli ini memerlukan aktuatur silinder pneumatik dengan panjang langkah setengah panjang langkah pintu. (Sukarnoto 2013).

Untuk mengetahui apakah struktur dan material yang dirancang mempunyai kekuatan struktural memadai, dilakukan analisis kekuatan dengan metode elemen hingga (MEH) dan eksperimental. Analisis kekuatan daun pintu setebal 25 mm dengan rangka pipa baja pesegi 25 x 50 mm JIS G3445 STKM 12 A tebal pelat 2,0 mm setelah dilakukan dengan MEH terbukti cukup kuat untuk digunakan (Sukarnoto, 2012). Pengujian eksperimental rangka daun pintu yang sama dengan menggunakan *strain gage* roset, menunjukkan rangka pintu cukup kuat dibebani sampai 670 N di bagian tengah ke arah tegak lurus permukaan pintu (Sukarnoto, Soeharsono, 2014).



**Gambar 2.** Pintu geser kompak dan dinding hasil rancangan

Tujuan penelitian ini adalah mewujudkan hasil rancangan pintu geser kompak yang selama ini telah dilakukan dalam bentuk model pintu dan segmen dinding bus di bagian pintu pada skala penuh di laboratorium dan memeriksa apakah mekanisme buka tutup dengan puli dan sabuk dapat berfungsi baik.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini mewujudkan rancangan pintu geser kompak yang telah dibuat sebelumnya. Bagian yang dibuat adalah segmen dinding bus di bagian pintu dan satu daun pintu yang bisa dibuka tutup.

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

1. Pipa baja persegi 25 x 50 dan 40 x 60 mm, pipa baja siku 50 x 50 mm untuk rangka dinding dan rangka pintu.
2. Silinder pneumatik aksi ganda panjang langkah 450 mm, katup 5/2 solenoid ganda, katup manual darurat dan relai 24V.
3. Rangkaian puli dan sabuk timing serta rel dan roda tipe menggantung.
4. Kaca 5 mm, bahan pendukung seperti *sealant*, mur baut sekrup.
5. Perkakas las SMAW, bor, gerinda

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Alur Tahapan Penelitian

## PEMBAHASAN

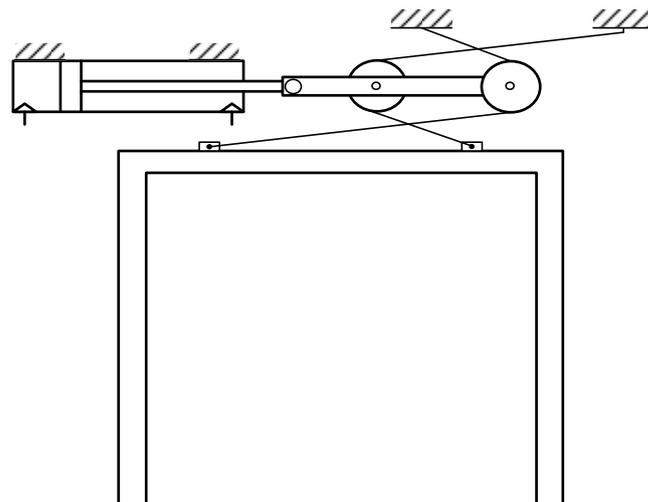
Pada rancangan awal ada sepasang daun pintu geser untuk satu lubang pintu dengan kontur sedikit cembung bila dilihat dari sisi luar (Gambar 2). Penyesuaian dilakukan dengan mengubah bentuk lengkung dinding dan daun pintu menjadi datar. Selain itu rangka atas dinding yang pada rancangan awal hanya satu batang 60 x 40 diperkuat sehingga terdapat dua batang horizontal untuk penahan atap. Hal ini menyebabkan peningkatan tinggi dinding 10 cm. Pengalaman Transjakarta mengoperasikan bus dengan rongga pintu di tengah yang lebar, ternyata banyak terjadi kerusakan struktural pada bodi bus di antaranya terjadi pada bagian atap (Sukarnoto 2014). Penguatan dengan penambahan rangka pada struktur bagian atas dinding bus sebagaimana diterapkan pada armada busway, bus gandeng Komodo serta bus gandeng Zhong Tong telah membuktikan bahwa struktur tersebut lebih kuat. Selain berfungsi memperkuat bodi bus secara keseluruhan penambahan tinggi ruang di atas pintu juga membuat pemasangan rangkaian puli menjadi lebih leluasa.

Kontur permukaan luar dinding bus umumnya dibuat melengkung atau pun miring. Hal ini untuk menghindari kesan bentuk permukaan dinding bus melengkung ke arah sisi dalam apa bila dinding dibuat rata vertikal. Meskipun demikian beberapa jenis bus kota menerapkan sudah model dinding rata pada sisi luar tanpa memberi kesan bahwa dinding melengkung ke dalam.

Pada model yang dibuat, seluruh rangka dinding digunakan pipa baja persegi 60 x 40, dengan tebal dinding luar di bagian pintu 40 mm, pilar penguat 40 x 60 dipasang di dekat rongga bukaan pintu. Struktur dinding dengan tebal total 90 mm ternyata sulit direalisasikan mengingat rangka dinding dan pintu yang tidak sepenuhnya lurus atau datar akibat proses pengelasan. Tebal total dinding mencapai 10 cm dan hal ini masih jauh lebih tipis dibanding pintu geser yang digunakan saat ini yang menyita ruang sampai 15 cm – 20 cm dari sisi luar.

Mekanisme puli dan sabuk. Gambar 4 menunjukkan susunan puli dan sabuk untuk menggerakkan daun pintu membuka dan menutup. Puli kanan berfungsi untuk menggerakkan pintu ke arah kanan, sedang puli kiri untuk menggerakkan pintu ke arah kiri. Ujung sabuk diikatkan ke bodi sedangkan ujung yang lain diikatkan ke bagian atas pintu.

Diameter puli 80 mm dan lebar sabuk 10 mm. Sabuk yang digunakan sabuk timing (timing belt) dari bahan poliuretan. Rangkaian puli ini digantung pada rel yang terpisah dari rel pintu serta dihubungkan dengan sambungan engsel dengan silinder pneumatik. Silinder pneumatik dipasang kaku dengan baut pada bagian atas rangka dinding. Gambar 5 menunjukkan silinder, rangkaian puli – sabuk pada prototipe yang dibuat.



**Gambar 4** Sketsa silinder pneumatik dan susunan puli-sabuk.



**Gambar 5.** Silinder pneumatik dan susunan puli – sabuk terpasang di atas pintu.

Perhitungan Gaya Dorong Silinder. Perhitungan gaya yang diperlukan untuk membuka-tutup pintu dilakukan berdasar data sebagai berikut, tekanan kerja  $P = 5$  bar (0,5 MPa), diameter torak  $d_o = 40$  mm, diameter batang silinder  $d_i = 16$  mm, berat pintu 30 kg (294 N), panjang langkah silinder 450 mm dan panjang langkah pintu 900 mm.

$$A_1 = 0,25 \times \pi \times d_o^2$$

$$F = p \times A_1 \dots \dots \dots (1)$$

$$F = 0,5 \times 0,25 \times \pi \times 40^2$$

$$F = 628,3 \text{ N gaya tekan silinder arah maju}$$

$$F = p \times A_2 \dots \dots \dots (2)$$

$$F = 0,5 \times 0,25 \times \pi \times (40^2 - 16^2)$$

$F = 527,8 \text{ N}$  gaya tarik silinder arah mundur.

Untuk mekanisme sabuk dan puli, gaya efektif silinder adalah setengahnya,  $F_e = 0,5 F$ . Sehingga gaya efektif arah mundur 263,9 N.

Gaya yang diperlukan untuk mendorong pintu dihitung dari gaya tahanan gelinding (rolling resistance)  $F_r$  yang terjadi antara roda nilon dengan rel baja. Hubungan antara tahanan gelinding  $F_r$  dengan gaya normal  $N$ , koefisien tahanan gelinding  $b$  dan jari-jari roda  $r$  ditunjukkan pada persamaan 3 (Hibeller, 2007).

$$F_r = \frac{N \cdot b}{r} \dots \dots \dots (3)$$

Untuk berat pintu 294 N yang ditopang dua bogi dengan masing-masing 4 roda nilon yang menggelinding di atas lantai baja, koefisien tahanan gelinding  $b = 0,0019$  mm dan jari-jari roda  $r = 12$  mm, diperoleh total gaya tahanan gelinding 0,047 N. Nilai gaya tahanan gelinding yang diperoleh sangat kecil, faktor yang lebih penting adalah menghitung gaya penarikan daun pintu pada posisi miring. Untuk menarik pintu pada keadaan miring  $30^\circ$ , pada arah penarikan akan ada tambahan komponen gaya berat sebesar  $\sin 30^\circ$  kali berat pintu. Gaya yang diperlukan untuk mendorong pintu pada kemiringan  $30^\circ$  adalah 176,4 N. Gaya ini pun masih lebih kecil dari gaya efektif silinder, sehingga dipastikan silinder pneumatik cukup kuat untuk membuka atau menutup pintu dalam posisi menanjak.

Pengujian Buka-tutup. Pada pengujian pertama dengan mengatur tekanan regulator pada 5 bar, diperoleh gerakan silinder dan pintu yang sangat cepat sehingga menimbulkan benturan keras di akhir langkah. Untuk itu dilakukan pengaturan kecepatan gerak melalui katup pengatur aliran udara. Katup diatur sehingga durasi gerak membuka 3 detik dan dengan waktu yang sama untuk gerakan menutup. Pengujian pada tekanan 2 bar, pintu masih dapat bergerak namun perlu waktu sekitar 6 detik untuk menutup.

## KESIMPULAN

Dari proses pembuatan prototipe pintu geser kompak yang telah dilakukan diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara keseluruhan hasil rancangan pintu geser kompak telah berhasil diwujudkan dalam bentuk prototipe di laboratorium.
2. Total tebal dinding 90 mm sesuai rancangan sulit dibuat secara manual, tebal dinding pada model yang dibuat 10 cm,
3. Mekanisme geser dengan puli dan sabuk dapat berfungsi baik untuk membuka tutup daun pintu dengan kecepatan yang ditentukan.
4. Seluruh komponen sistem buka tutup dapat ditempatkan pada ruangan di atas pintu.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini adalah bagian dari penelitian yang dibiayai Program Desentralisasi Dikti-Universitas Trisakti, Hibah Bersaing yang didanai DIPA Kopertis Wilayah III Jakarta: 180/K3/KM/2014, 7 Mei 2014.

## DAFTAR PUSTAKA

- H. Oscar, 2009. Rancang Ulang Susunan tempat Duduk Busway untuk Optimalisasi Ruang. Tugas Sarjana, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Trisakti Jakarta.
- Hibeller, RC, 2007. Engineering Mechanics: Statics and Dynamics. 11<sup>th</sup> edn., Prentice Hall Inc USA, pp 441-442.
- Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), 2012. The BRT Standard ver 1,0. New York. January 2012.
- Pahl, G & W Beitz, 1984. Engineering Design. Springer – Verlag, London.
- T. Sukarnoto, Soeharsono, 2012. Analisis Kekuatan Pintu Geser Kompak pada Busway dengan Metode Elemen Hingga. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin 7, Surabaya, 2 Juni 2012. pp D-1 – D-5.
- T. Sukarnoto, Soeharsono, Supriyadi, 2012. Perancangan Sistem Buka-Tutup Pintu Geser kompak

pada Busway. Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV UGM, Yogyakarta, 16-17 Oktober 2012, pp 2089 – 2093.

T. Sukarnoto, Supriyadi, Sigit Subiantoro, Soeharsono, 2014. Strength Investigation of Sliding Door Frame of Busway by using Three Element Rosette Strain Gage. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences vol 9, no 1, January 2014, pp 45 – 49, 2014.

T. Sukarnoto, Soeharsono, S. Subiantoro, Supriyadi, 2013. Analisis Kekuatan Rangka Bodi Busway dengan Pintu Geser Kompak dengan Metode Elemen Hingga. Prosiding Seminar Nasional Sinterin 2013 Universitas Andalas Padang, 2 Juli 2013.

Transjakarta, Mei 2014, [www.transjakarta.co.id](http://www.transjakarta.co.id).

**EFFECT OF INGESTION SPEED AND COOLANT ROUGHNESS ON WEAR OF MATERIALS AND  
EYES DRILL IN PROCESS DRILLING IN STEEL SS 400**

**Eko Budi Santoso<sup>1</sup>, Bambang Heriyanto<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik SAKTI Surabaya  
Email: <sup>1</sup>ekobs2005@yahoo.com, <sup>2</sup>heribanteng@yahoo.com

**ABSTRACT**

To produce a quality product derived from good machining manufacturing processes, use of appropriate methods and tools is also a success factor to obtain a good product. In practice, the application of cutting elements, very influential on the quality and quantity of products. To reduce losses due to cutting tool wear is done by knowing the appropriate speed limit between the material of the cutting tool and the workpiece.

The purpose of this study is to determine how much influence the speed of funeral and coolant in the drilling process on the wear of low carbon steel drill HSS (high speed steel) as well as the roughness of the resulting material.

The method used in this study by using a spindle rotation speed of the drill machine with 1100 revolutions per minute rounds, while the variable speed funeral was 0.08 mm / rev; 0,04mm / rev and 0.15 mm / rev while using the drill bit from HSS materials and test specimens are low carbon steel SS 400 wear test method used is the analysis of heavy chisel, while the price of roughness in the test with a roughness tester.

The conclusion of this study, the smallest value of the drill bit wear obtained at 1100 rpm rotation at the funeral of 0.08 mm / rev using coolant, the wear rate was 0.15 mm largest in the funeral / rev without using coolant. While the price of the smallest material roughness also get round 1100rpm at funeral of 0.08 mm / rev using coolant, the biggest being the price at the funeral roughness of 0.15 mm / rev without using coolant.

**Keywords:** Cutting, drilling, coolant, roughness.

**PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi selalu membawa akibat bagi berkembangnya alat pendukung teknologi tersebut baik itu berbasis *computer control* maupun yang masih bersifat konvensional. Untuk teknologi permesinan yang berbasis *computer* bisa terapkan misalnya pada mesin CNC, tetapi untuk mesin yang masih manual masih sangat dibutuhkan untuk mendukung permesinan berbasis CNC.

Proses pemotongan logam (*ferrous* dan *non ferrous*) adalah salah kegiatan yang dilakukan dalam industri manufaktur, khususnya untuk memproduksi alat perkakas. Proses ini merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah logam dasar (*raw material*) menjadi komponen mesin baik jadi maupun setengah jadi dengan menggunakan *tools* sebagai komponen utamanya. HSS (*High Speed Steel*) merupakan jenis material yang banyak digunakan sebagai pahat potong. HSS pertama kali ditemukan pada tahun 1898 merupakan baja paduan tinggi dengan unsur paduan *chrom* (Cr) dan *tungsten* *tolfram* (W). Melalui proses penguangan (*molten metallurgy*) kemudian proses pengerolan ataupun penempaan baja ini dibentuk menjadi bar atau diameter. Karena sifat keuletan yang relatif baik maka sampai saat ini berbagai jenis HSS masih tetap digunakan.

Beberapa penelitian yang menggunakan pahat HSS telah dilakukan, salah satunya mengenai keausan dan umur pahat pada proses pembubutan baja karbon rendah dengan menggunakan pahat HSS. Penelitian tersebut dilakukan dengan gerak makan ( $f$ )= 0,125 mm/rev dan kedalaman potong ( $a$ ) = 1 mm (konstan) dengan variasi kecepatan potong. Dalam kondisi *riil* pahat HSS memiliki jangka waktu penggunaan. Faktor penentu umur pahat antara lain, benda kerja, jenis material dan pahat, geometri pahat, kondisi pemotongan (gerak makan, kecepatan potong, dan kedalaman potong), cairan pendingin dan jenis proses pemesinan. Untuk menentukan keausan dengan cara yang paling sederhana adalah dengan melakukan secara visual atau meraba pada bagian ujung mata pahat, cara ini yang sering dilakukan di perbengkelan dikarenakan terbatasnya alat dan efisiensi waktu untuk memenuhi keinginan konsumen. Cara lain yang bisa dilakukan adalah dengan mengukur berat pahat sebelum di gunakan dan sesudah digunakan. Dalam penelitian yang akan dilakukan ini, digunakan material SS 400 atau dikalangan perbengkelan dikenal dengan plat strip karena material ini paling banyak di gunakan di industri manufaktur. Beberapa contoh penggunaan material ini terutama untuk pembuatan komponen-komponen pemesinan *automobile bodies, buildings, pipes, chains, rivets, screws, nails*. Dari beberapa hasil penelitian di atas masih belum diketahui pengaruh kecepatan

pemakanan dan cairan pendingin terhadap keausan mata bor. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh kecepatan pemakanan dan cairan pendingin terhadap kekasaran material dan keausan mata bor.

Tujuan penelitian untuk mengetahui keausan pahat bor terhadap variasi kecepatan pemakanan. Untuk mengetahui harga kekasaran material hasil pengeboran terhadap variasi yang diberikan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh kecepatan pemakanan dan cairan pendingin terhadap keausan mata pahat bor dan kekasaran material hasil proses pengeboran.

Hendra (2004) proses pengeboran merupakan proses permesinan yang paling sering digunakan setelah proses bubut karena hampir semua komponen dan produk permesinan mempunyai lubang. Gerak makan dan gerak potong pada proses pengeboran dilakukan oleh pahat bor. Pahat bor mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong karena diputar oleh spindle mesin bor. Putaran spindle mesin gerak makan dapat dipilih dari beberapa tingkat putaran dan gerak makan yang tersedia pada mesin.

Gambar dibawah adalah mata bor pilin dengan sudut puncak 118° dan kisar sedang digunakan untuk mengebor logam fero, besi tuang, baja tuang, dan besi tempa.



Didik Nurhadiyanto, 2010 dengan hasil penelitian kekentalan pendingin terhadap keausan pada pahat bermata potong ganda ini adalah sebagai berikut keausan pahat pada pengerjaan tanpa pendingin sangat besar, semakin encer pendingin yang digunakan maka keausan pahat semakin kecil pada daerah range tersebut. Kecepatan makan akan mempengaruhi kekasaran permukaan yaitu semakin naik kecepatan makan akan menaikkan nilai kekasaran permukaan [Rochim, 1983]. Nilai kekasaran total ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R_t = c_r \frac{f^2}{8r_c} \dots\dots\dots(1)$$

laju penghasilan geram didapatkan dengan rumus [Rochim,1983]

$$Z = f_x a_x V_c \dots\dots\dots(2)$$

Penelitian dengan variasi *feeding* kecepatan putar sebelumnya telah dilakukan oleh Ninuk Jonoadji dan Joni Dewanto (1999), dengan baja S45C dan kecepatan putar 50 – 4500 rpm, peneliti lain yaitu Ichlas Nur & Andriyanto (2009), material produk berbahan ST 37, adapun variasi kecepatan putarannya adalah (440, 560 dan 740 rpm) dengan *feeding* (0,098; 0,112; dan 0,168 mm/rev). A. Zubaidi dkk,2010 dari penelitian analisis pengaruh kecepatan putar dan kecepatan pemakanan Terhadap kekasaran permukaan material fcd 40 pada mesin bubut cnc terjadi peningkatan harga Ra dan Rt/Rz lebih dari 10% dengan penambahan 0.05rev/min pada variasi feeding, sedangkan pada variasi rpm terjadi penurunan akan tetapi tidak lebih dari 10% per 100 rpm.

Putaran Spindel dan Kecepatan Pemakanan. Menurut Amstead (1979) kecepatan potong dapat dicari dengan persamaan

$$Cs = \frac{\pi \times Dc \times n}{1000} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- $C_s$  = cutting speed m/min
- $n$  = revolution/min (RPM)
- $D_c$  = diameter mm

Sementara itu dengan cara yang sama untuk mencari kecepatan putar spindel dapat dicari dengan Persamaan:

$$n = \frac{C_s \times 1000}{\pi \times D_c} \dots\dots\dots (4)$$

- $C_s$  = cutting speed m/min
- $n$  = revolution/min (rpm)
- $D_c$  = diameter mm

Pada pahat karbida mempunyai standar umum dengan kecepatan potong  $V_c$  75-150 m/min dan gerak makan  $f$  (*feeding*) 0,15-0,25 mm/rev . Menurut Syamsir (1989) kualitas permukaan potong tergantung pada kondisi pemotongan, misalnya kecepatan potong rendah dengan *feed* dan *depth of cut* yang besar akan menghasilkan permukaan kasar (*roughing*) sebaliknya kecepatan potong tinggi dengan *feed* dan *depth of cut* kecil menghasilkan permukaan yang halus. Adapun kecepatan makan dapat dicari dengan menggunakan Persamaan.

$$V_f = f \times n \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

- $V_f$  = kecepatan makan, mm/min
- $f$  = gerak makan (feed) mm/ rev
- $n$  = putaran spindel rotasi/min (rpm)

Pada tahun 1906 Fred W. Taylor menunjukkan bahwa hubungan yang terdapat antara umur pahat dan kecepatan pemotongan adalah sebagai berikut :

$$V T^n = C \dots\dots\dots (6)$$

Dimana,

- $V$  : kecepatan memotong, m/menit
- $T$  : umur pahat, menit
- $n$  : eksponen tergantung pada kondisi pemotongan
- $C$  : konstan = kecepatan memotong untuk suatu umur pahat satu menit

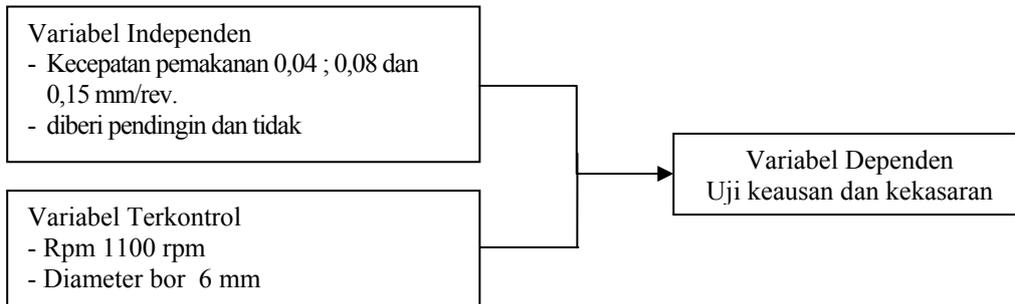
Dalam segala operasi pembentukan dan pemotongan maka akan terjadi panas yang tinggi sebagai akibat dari gesekan, dan kalau temperatur dan tekanan tidak dikendalikan, maka permukaan logam cenderung untuk melekat satu sama lain, oleh karena itu dibutuhkan media pendingin (*lubricant*). Dimana fungsi dari media pendingin tersebut diantaranya: 1) mengurangi temperatur pahat dan benda kerja; 2) memperbaiki penyelesaian permukaan; 3) menaikkan umur pahat; 4) menurunkan daya yang diperlukan. Bahwa faktor kecepatan potong sangat berpengaruh terhadap umur pahat, semakin besar kecepatan potongnya maka umur pahat akan semakin cepat berkurang. Untuk memperpanjang umur pahat perlu digunakan media pendingin.

## METODOLOGI PENELITIAN

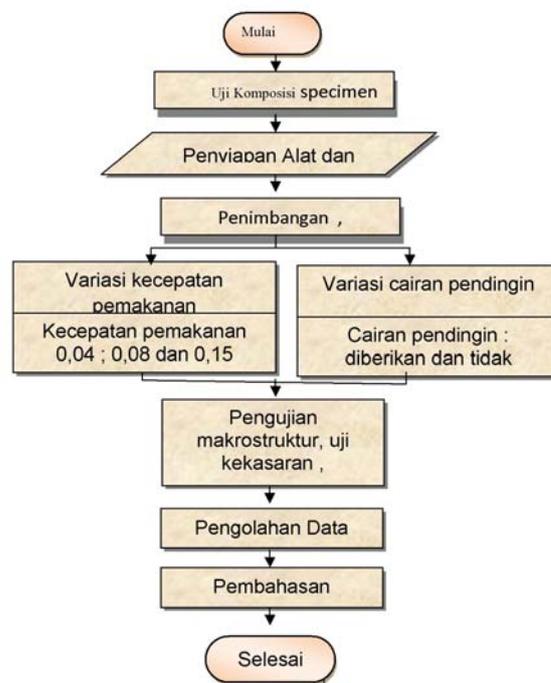
Metode penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*), untuk mendapatkan data-data dan informasi tambahan diperoleh melalui kajian literatur dari buku dan jurnal penelitian. Dimana tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki kemungkinan saling hubungan sebab-akibat. Dengan cara mengenakan kepada satu atau lebih

kelompok eksperimental satu atau lebih kondisi perlakuan yang membandingkan hasilnya dengan satu atau lebih kelompok *control* yang tidak di kenai kondisi perlakuan.

Adapun jenis variabel dalam penelitian dapat dilihat pada skema berikut ini :



Sedangkan flowcart dalam penelitian ini adalah sebagai berikut



Material yang digunakan adalah baja lunak SS 400 yang berbentuk plat strip. Material ini memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Chemical elements	C≤ 16mm max	C>16mm max	Si max	Mn max	P max,	S max,
%,by mass	0,17	0,20	—	1,40	0,045	0,045

Pengujian yang dilakukan antara lain

1. Uji fotomakro. Foto makro ini digunakan untuk mengetahui daerah keausan pahat, sebelum digunakan untuk pengeboran dan setelah pengeboran dan hasilnya dianalisa dan di dokumentasikan
2. Uji Keausan. Prosedur pemakaian alat ini adalah pahat sebelum dan sesudah pengeboran ditimbang dengan neraca digital dan hasilnya dianalisa dan dicatat
3. Pengujian kekasaran Material. Prosedurnya yaitu dengan menggunakan *measurement* untuk menguji kekasaran material. Hasil yang di dapat berupa grafik */print uot*

## PEMBAHASAN

Untuk pengujian kekasaran material dilakukan pada specimen uji yang menggunakan jenis material baja SS 400 yang mana di kalangan industri lebih dikenal dengan nama plat strip , dengan variabel yang di buat berbeda beda yaitu pada laju pemakanan 0,04 mm/rev , 0,08 mm/rev dan 0,14 mm/rev dengan perlakuan menggunakan cairan pendingin dan satunya tanpa cairan pendingin. Untuk pengujian kekasaran menggunakan Surface Roughness Tester dengan type Mitutoyo Surftest SJ-310. Berdasarkan Tabel dari hasil pengujian kekasaran yang dilakukan didapatkan data sebagai berikut :

**Tabel 1.** Data Hasil Uji Kekasaran SS 400

Kecepatan Pemakanan	Pendingin	Harga Kekasaran (Ra) dalam $\mu\text{m}$
0,04	Dengan pendingin	1,30
	Tanpa pendingin	2,88
0,08	Dengan pendingin	2,03
	Tanpa pendingin	3,62
0,14	Dengan pendingin	2,31
	Tanpa pendingin	4,81

Data pengujian keausan hasil pengeboran pada material SS 400. Dari material uji kemudian dilakukan pengujian selanjutnya adalah pengujian keausan mata bor/ drill dengan ukuran diameter 6, Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar keausan dengan menimbang mata bor. Dengan menimbang mata bor akan di ketahui berat yang hilang setelah mata bor.

**Tabel 2.** Data Hasil Uji Keausan mata bor

Kecepatan Pemakanan	Pendingin	Berat yang hilang (gr)
0,04	Dengan pendingin	0,036
	Tanpa pendingin	0,166
0,08	Dengan pendingin	0,042
	Tanpa pendingin	0,196
0,14	Dengan pendingin	0,098
	Tanpa pendingin	0,244

Analisis Statistika Hasil Pengujian Kekasaran. Untuk Analisa statistika dari rekapan hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan *software* Anova yang terdapat pada Microsoft Excel untuk mengetahui pengaruh kecepatan pemakanan dan cairan pendingin terhadap kekasaran material pada proses drilling pada baja SS 400.. Sebelum kita menganalisa dengan Anova terlebih dahulu kita menentukan atau melakukan analisis untuk mengambil kesimpulan atau membuat kesimpulan dengan membuat *hipotesa* untuk pengaruh kecepatan pemakanan ,adanya pengaruh cairan pendingin dan hasil uji kekasaran yaitu: 1)  $H_0$  (*null hypothesis*) :  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  , dari variasi kecepatan pemakanan dan cairan pendingin tidak berpengaruh terhadap kekasaran material; 2)  $H_1$  (*alternative hypothesis*) ;  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  , dari variasi kecepatan pemakanan dan cairan pendingin tidak berpengaruh terhadap kekasaran material.

Kemudian langkah selanjutnya adalah dengan membandingkan hasil dari F hitung dengan F tabel serta nilai *probabilitas*: 1) Perbandingan F hitung dengan F tabel. Jika F hitung > F tabel , maka  $H_0$  di tolak, dan jika F hitung < F tabel  $H_0$  diterima; 2) Nilai *Probabilitas (P-value)*. Jika P-Value < 0,05 ,  $H_0$  di tolak dan jika P-value > ,  $H_0$  diterima. Untuk tabel hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Tabel Hasil Analisis Varian (Anova) hubungan antara kecepatan pemakanan, cairan pendingin dan kekasaran material

**Anova: Two-Factor With Replication**

SUMMARY	COOLANT	WITHOUT COOLANT	Total			
<i>0,04</i>						
Count	5	5	10			
Sum	6,5	14,38	20,88			
Average	1,3	2,876	2,088			
Variance	0,1637	0,07213	0,794751			
<i>0,08</i>						
Count	5	5	10			
Sum	10,17	18,08	28,25			
Average	2,034	3,616	2,825			
Variance	0,01453	0,07563	0,735272			
<i>0,15</i>						
Count	5	5	10			
Sum	11,56	24,05	35,61			
Average	2,312	4,81	3,561			
Variance	0,02767	0,28305	1,871432			
<i>Total</i>						
Count	15	15				
Sum	28,23	56,51				
Average	1,882	3,767333333				
Variance	0,254088571	0,803278095				
<b>ANOVA</b>						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	10,84864667	2	5,424323	51,115798	2,23109E-09	3,402826105
Columns	26,65861333	1	26,65861	251,21591	3,25084E-14	4,259677273
Interaction	1,407646667	2	0,703823	6,6324386	0,005092588	3,402826105
Within	2,54684	24	0,106118			
Total	41,46174667	29				

Pada data Tabel 3 didapatkan Hasil analisis ANOVA dua faktor dengan perulangan. Pada tabel data ditunjukkan dengan banyaknya perulangan (*count*), hasil penjumlahan dari masing masing uji kekasaran (*sum*) dan juga rerata dari hasil pengujian kekasaran (*average*) dari masing masing kecepatan pemakanan dan pemberian cairan pendingin. Kemudian pada tabel selanjutnya di tunjukkan untuk analisa varian yaitu sumber variasi /keragaman (*source variation*), kemudian derajat kebebasan (*df*) Degree of Freedom total adalah  $n-1$ , dimana  $n$  adalah banyaknya varian dari masing-masing baris dan kolom. Untuk baris nilai  $df$  adalah  $n-1 = 3-1 = 2$  (banyaknya kecepatan pemakanan yang di

variasi). Untuk kolom nilai  $df$  adalah  $n-1 = 2-1=1$  (banyaknya perlakuan pendingin yang di variasi). Jadi harga  $df$  total adalah  $2 \times 1 = 2$  ( $df$  interaction). Kolom  $SS$  (*Sum of Square*) atau jumlah kuadrat untuk *regression* diperoleh dari penjumlahan kuadrat dari prediksi variabel terikat (permintaan) dikurangi dengan nilai rata-rata permintaan dari data sebenarnya. Kolom selanjutnya adalah  $MS$  (*mean of square*) atau rata-rata jumlah kuadrat, ini adalah hasil bagi *Sum of Square* dengan kolom *Degree of Freedom*. Sedangkan nilai  $F$  hitung didapatkan dari hasil bagi *Mean Square Regresi* dengan *Mean Square Residual*.

Dari tabel terlihat bahwa baik faktor laju/ kecepatan pemakanan yaitu dari nilai  $F$  hitung 51,1157 nilainya lebih besar dari pada  $F$ -crit 3,4023, variasi perlakuan cairan pendingin dengan nilai  $F$  hitung 251,2159 lebih besar dari  $F$ -crit 4,2596 maupun interaksi antara keduanya (dengan  $F$  hitung 6,6324 lebih besar dari  $F$  tabel 3,4028) berpengaruh terhadap harga kekasaran material uji.. Sehingga bisa di simpulkan bahwa variasi laju/ kecepatan pemakanan dan perlakuan cairan pendingin mempengaruhi harga kekasaran material hasil pengeboran material baja SS 400.

Analisis statistika hasil pengujian keausan dengan menggunakan *software Data Analysis Varians* yang terdapat pada *Microsoft Excel* untuk mengetahui pengaruh kecepatan pemakanan dan perlakuan cairan pendingin terhadap keausan pahat pada yang dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Tabel Hasil Analisis Varian (Anova) hubungan antara kecepatan pemakanan, perlakuan cairan pendingin dan keausan pahat

Anova: Two-Factor With Replication						
Summary	Coolant	Without coolant	Total			
<i>0,04</i>						
Count	5	5	10			
Sum	0,18	0,83	1,01			
Average	0,036	0,166	0,101			
Variance	8E-05	0,00093	0,005143333			
<i>0,08</i>						
Count	5	5	10			
Sum	0,21	0,98	1,19			
Average	0,042	0,196	0,119			
Variance	0,00002	0,00068	0,006898889			
<i>0,15</i>						
Count	5	5	10			
Sum	0,49	1,22	1,71			
Average	0,098	0,244	0,171			
Variance	0,00092	0,00068	0,006632222			
<i>Total</i>						
Count	15	15				
Sum	0,88	3,03				
Average	0,058666667	0,202				
Variance	0,001126667	0,00176				

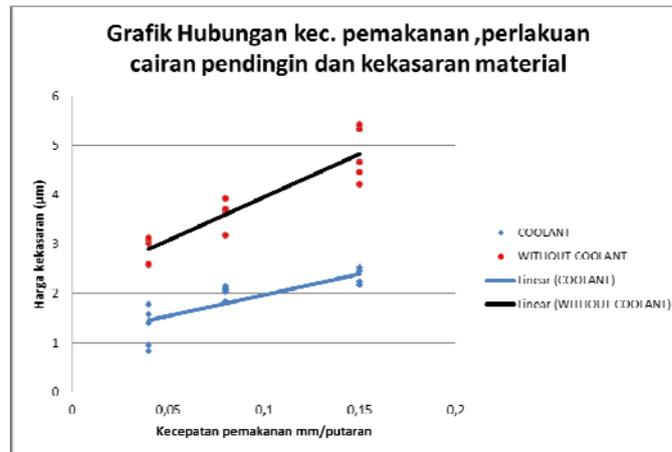
  

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	0,026426667	2	0,013213333	23,95166163	1,91226E-06	3,402826105
Columns	0,154083333	1	0,154083333	279,305136	1,00871E-14	4,259677273
Interaction	0,000746667	2	0,000373333	0,67673716	0,517708295	3,402826105
Within	0,01324	24	0,000551667			
Total	0,194496667	29				

Pada data Tabel 4 didapatkan Hasil analisis ANOVA dua faktor terlihat bahwa baik faktor tunggal variasi laju/ kecepatan pemakanan yaitu dari  $F$  hitung 1,4119 nilainya lebih besar dari pada  $F$  table 0,8584, variasi perlakuan cairan pendingin dengan nilai  $F$  hitung 1,0489 lebih besar dari  $F$  table 07094 maupun interaksi antara keduanya (dengan  $F$  hitung 1,0792 lebih besar dari  $F$  table 0,9389) berpengaruh terhadap prosentase keausan mata bor pada pengeboran baja SS 400. variasi laju/ kecepatan pemakanan dan perlakuan cairan pendingin mempengaruhi keausan mata bor hasil pengeboran material baja SS 400.

Berdasarkan hasil uji kekasaran tarik yang di sajikan pada Tabel 5.1 dapat diketahui nilai rata-rata nilai kekasaran dari spesimen. Dengan pembedaan variasi laju / kecepatan pemakanan dan

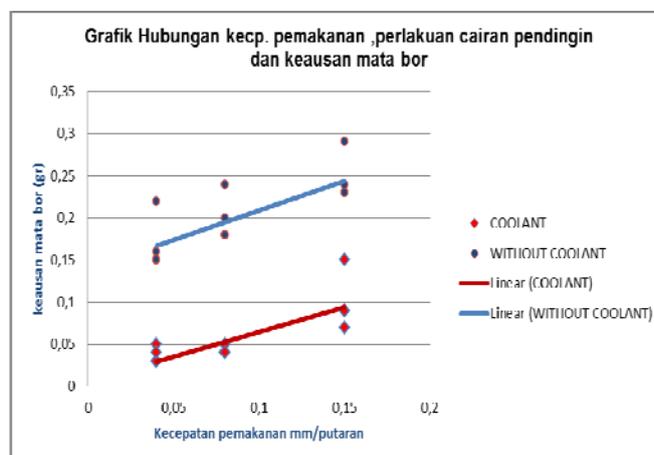
perlakuan pendingin. Grafik hubungan antara kecepatan pemakanan pengeboran dengan perlakuan cairan pendingin disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan kecepatan pemakanan, perlakuan cairan pendingin dan kekasaran material

Dari Gambar 5.2 harga / nilai kekasaran tertinggi di dapatkan pada kecepatan pemakanan 0,15 mm/rev dengan perlakuan tanpa cairan pendingin dengan harga kekasarannya atau nilai Ra adalah 5,41 µm. Dan harga / nilai kekasaran paling rendah di dapatkan pada pengeboran dengan kecepatan pemakanan 0,04 mm/rev dengan perlakuan menggunakan cairan pendingin dengan harga kekasarannya atau nilai Ra adalah 0,82 µm harga. Secara umum bisa di tarik kesimpulan sesuai dengan grafik bahwa harga kekasaran (Ra) material hasil pengeboran cenderung bertambah seiring dengan semakin bertambahnya kecepatan pemakanan dari mata bor.

Untuk mengetahui tingkat keausan di gunakan metode menghitung berat yang hilang di mata bor, dengan cara menimbang mata bor sebelum dan sesudah pemakaian .. Hasil pengujian keausan mata bor disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan antara kecepatan pemakanan, perlakuan cairan pendingin dan keausan mata bor

Dari Gambar 2 Secara rata rata juga bisa di tarik kesimpulan , bahwa prosentase keausan mata bor akan bertambah besar bila laju/ kecepatan pemakanan semakin meningkat atau besar. Prosentase keausan mata bor terbesar didapatkan pada kecepatan pemakanan 0,15 mm/rev tanpa menggunakan cairan pendingin, sedangkan keausan terkecil di dapat pada kecepatan pemakanan 0,05 mm/rev dengan menggunakan cairan pendingin.

Pengujian lain yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian terhadap kekerasan material di daerah pengeboran. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *digital microhardness*. Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan untuk mengetahui daya tahan material terhadap *indenter* intan dan mempunyai bentuk indenter geometri berbentuk *pyramid*. Beban yang di gunakan dalam metode *Vickers* antara 1 sampai 1000 gr.. Untuk hasil pengujian kekerasan di ditampilkan dalam Tabel 5.

**Tabel 5.** Tabel Hasil Pengujian Kekerasan

No	Kecepatan Pemakanan (mm/rev)	Without Coolant (HVN)	With Coolant (HVN)
1	0,04	143,94	117,73
2		145,22	127,7
3		143,95	139
4	0,08	139	126,65
5		136,63	142,68
6		126,65	126,65
7	0,15	160	123,57
8		136,63	136,63
9		149,16	137,8

Dari Tabel 5 didapatkan hasil untuk kecepatan pemakanan 0,15 mm/rev tanpa menggunakan cairan pendingin di dapatkan kekerasan sebesar 160 HV dan sedangkan pada kecepatan pemakanan 0,15 m/rev dengan menggunakan cairan pendingin didapatkan nilai kekerasan adalah 126 HV Dari hasil uji kekerasan bisa diambil kesimpulan bahwa untuk kecepatan pemakanan semakin tinggi tanpa menggunakan cairan pendingin maka nilai kekerasan material juga akan semakin Hal ini di sebabkan karena panas akibat proses pengeboran dengan bertambahnya kecepatan pemakanan menyebabkan butir dari material semakin halus sehingga menyebabkan kekerasan semakin meningkat.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasar hasil dari penelitian ini faktor kecepatan pemakanan dan perlakuan cairan pendingin mempunyai pengaruh terhadap hasil / harga kekasaran material serta keausan dari mata bor
2. Harga kekasaran material akan semakin besar seiring dengan bertambahnya kecepatan pemakanan serta tanpa di lakukan pendinginan dengan cairan pendingin. Nilai kekasaran material terbesar yaitu 4,81  $\mu\text{m}$  didapat pada kecepatan pemakanan 0,15 mm/rev tanpa menggunakan cairan pendingin, sedang harga kekasaran terkecil yaitu 1,30  $\mu\text{m}$  didapat pada kecepatan pemakanan 0,04 mm/rev dengan cairan pendingin
3. Keausan mata bor akan semakin meningkat dengan bertambahnya kecepatan pemakanan serta tanpa di lakukan pendinginan dengan cairan pendingin. Keausan mata bor terbesar yaitu 0,24 gr didapat pada kecepatan pemakanan 0,15 mm/rev tanpa menggunakan cairan pendingin, sedang keausan mata bor terkecil yaitu 0,36 gr didapat pada kecepatan pemakanan 0,04 mm/rev dengan cairan pendingin

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kegiatan penelitian ini penulis menyampaikan terima kasih sebesar besarnya kepada:

1. DIKTI melalui hibah Penelitian Dosen Pemula sehingga penulis mempunyai kesempatan untuk menyumbangkan pemikirannya
2. Politeknik SAKTI Surabaya, Politeknik Negeri Malang, ITN Malang yang telah memberikan waktu , serta laboratorium sehingga pengujian bisa dilaksanakan

#### DAFTAR PUSTAKA

- A. Zubaidi dkk,2010 Analisis pengaruh kecepatan putar dan kecepatan pemakanan Terhadap kekasaran permukaan material fcd 40 pada mesin bubut cnc, Teknologi Mekanik, Erlangga Jakarta
- Dieter, G.E., 1988. Mechanical Metalurgy. McGraw-Hill Book Company.
- Didik Nurhadiyanto 2010, Pengaruh ketebalan pendingin terhadap keausan pada pahat bermata potong ganda, Jurnal Sainteks Vol. 15 No. 2 Oktober 2010
- Hendra Suherman, Hendri Budiman, Rio oktavianus Putra, 2005, Pengaruh kondisi pemotongan pahat gurdi terhadap keausan pahat.

- Jonoadji, N., Dewanto, J., 1999, Pengaruh Parameter Potong dan Geometri Pahat Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut, Jurnal, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra.
- Muin, Syamsir A., 1989, Dasar-Dasar Perancangan Perkakas dan Mesin-Mesin Perkakas, Edisi 1, Cetakan 1, CV. Rajawali, Jakarta.
- Nur, I., Andriyanto., 2009, Pengaruh Variabel Pemotongan Terhadap Kualitas Permukaan Produk dalam Meningkatkan Produktifitas, Jurnal, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang.
- Rochim T, 2001 Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometri, ITB Bandung

## EFFECT OF CUTTING SPEED USING MATERIAL HSS TOOL AND CARBIDE TOOL FOR LATHE PROCESS OF MATERIAL AISI 1010 FOR QUALITY LATHE TOOL WEAR

Joko Waluyo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND  
Jalan Kalisahak No. 28 Yogyakarta

### ABSTRACT

The development of type lathe tool carbide and High speed steel used in the workshop. High speed steel tool and carbide type can be used for greater cutting depth and the cutting speed is given in accordance with the material worked. Basically tool High Speed Steel and tool carbide in order to obtain optimum quality by taking into account the characteristics of the workpiece turned with lathe cutting speed on the process.

The aim of this study was to determine the effect of cutting speed cutting tool material using tool high speed steel (HSS) and carbide tool in the process of turning lathe quality AISI 1010.

The methodology of this study is 150 mm long lathe turner material AISI 1010 with selected cutting speed 40 m/minute, 50 m/minute and 60 m/minute for HSS tool material and cutting speed for carbide material is 75 m/minute, 100 m/minute was to determine the effect of cutting speed and 120 m/minute. Feed and cutting thick materials used for both the feed of 0.08 mm/rotation and dept 0,5 mm, and the test result roughness testing using test equipment with brand surfloam 120 A.

The result using the measuring tool roughness with brand surfloam 120 A in mm using tool lathe High Speed Steel (HSS) with cutting speed 40m/minute, 50 m/minute and 60 m/minute respectively the magnitude of roughness Ra is 0,0814 mm, 0,0646 mm and 0,0462 mm, while the result of the study by using a tool material carbide with cutting speed of 75 m/minute, 100 m/minute and 120 m/minute Ra is 0,0602 mm, 0,0492 mm and 0,033 mm and tool wear test result before and after weight reduction used lathe tool an average of 0,046 grams for HSS and carbide tool for the average of reduction of 0,014 grams

**Keywords:** Roughness, High Speed Steel, Carbide.

### PENDAHULUAN

Pahat HSS merupakan baja karbon tinggi yang mengalami proses perlakuan panas (*heat treatment*) sehingga kekerasan menjadi cukup tinggi dan tahan terhadap temperatur tinggi tanpa menjadi lunak (Rochim 1993). Pahat bubut High Speed steel (HSS) merupakan paduan dari 0,75% - 1,5% Carbon (C), 4 %-4,5% Chromium (Cr), 10 % - 20% Tungsten (W) dan Molybdenum (Mo) 5% lebih serta Vanadium (V) dan Cobalt (Co) lebih dari 12 % (Childs, 2000). Selanjutnya pahat mesin bubut dapat dibuat dari berbagai macam bahan, diantaranya adalah (Dieter, G.E) baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon sekitar 0,8 sampai dengan 2% dapat digunakan untuk semua benda kerja dan karbida, Apabila pada saat proses pembubutan pahat dapat bekerja dengan baik maka hasil dari pembubutan tersebut juga baik .

Pada kontak antara pisau pahat dan benda kerja terdapat pemakanan dari benda kerja. Di mana pada daerah tersebut berpotensi untuk mempunyai temperatur tinggi yang diakibatkan kontak antara pahat dan benda kerja sehingga menimbulkan panas sehingga pahat cepat aus dan kualitas pembubutan tidak optimum. Pada proses pembubutan kekasaran dari hasil pekerjaan merupakan hal yang sangat penting. Kualitas pembubutan logam sangat dipengaruhi oleh jenis pahat yang digunakan seperti misalnya pahat bubut *High Speed steel* (HSS) dan karbida. Karena perbedaan sifat fisik dan mekaniknya maka kekasaran permukaan material yang dibubut juga berbeda (Ida Bagus 2013).

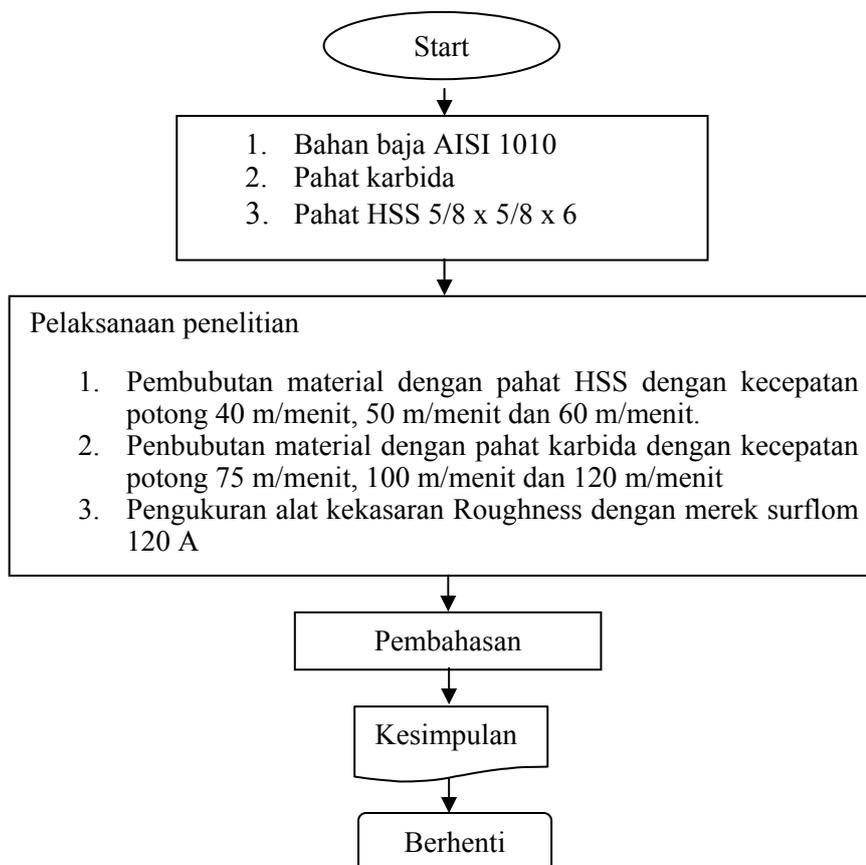
Salah satu parameter pemotongan yang dapat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan antara lain adalah jenis pahat, kecepatan potong dan material yang dikerjakan (Kalpakjian 1995). Pada penelitian ini penulis menggunakan 2 macam jenis pahat yaitu pahat HSS dengan kecepatan potong 40 m/menit, 50 m/menit dan 60 m/menit dan pahat karbida dengan menggunakan kecepatan potong 75 m/menit, 100 m/menit dan 120 m/menit penentuan kecepatan potong tersebut disesuaikan dengan material yang dipotong/dibubut (Amstead 1985).

Tingkat kekasaran permukaan masing-masing komponen adalah tidak sama, dan pada umumnya ditentukan fungsi komponen tersebut. Besarnya kekasaran permukaan ini biasanya dicantumkan pada gambar kerja yang akan dibubut. Di industri -industri logam yang memproduksi komponen mesin umumnya untuk mendapatkan tingkat kekasaran permukaan yang minimum diperoleh dengan cara meningkatkan putaran spindle mesin bubut disertai dengan meminimumkan tebal pemotongan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekasaran yang dihasilkan pada proses pembubutan dengan menggunakan kedua bahan pahat HSS dengan ukuran 5/8 inch x 5/8 inch dan 6 inch serta pahat karbida material yang dibubut adalah baja AISI 1010 dengan panjang pembubutan 100 mm, feed = 0,08 mm/putaran dan tebal pemotongan 0,5 mm. Adapun mesin bubut yang digunakan diasumsikan tidak mengalami penurunan unjuk kerja dan setup pahat terhadap benda kerja dan pencekaman benda kerja untuk setiap pengambilan data dalam kondisi yang sama.

### METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dimulai dengan studi pustaka. Dalam studi pustaka ini banyak menggunakan beberapa literature, di antaranya buku pegangan, jurnal, artikel dan lain sebagainya. Setelah studi pustaka dilakukan proses pembubutan dengan menggunakan material bahan baja AISI 1010 dengan menggunakan bahan pahat karbida dan HSS ,untuk pahat HSS dengan kecepatan potong 40 m/menit, 50 m/menit dan 60 m/menit dan untuk pahat karbida dengan kecepatan potong 75 m/menit, 100 m/menit dan 120 m/menit adapun kekasaran permukaan benda kerja dengan menggunakan Pengukuran kekasaran dengan alat kekasaran Roughness dengan merek surfloam 120 A. Setelah data diperoleh , maka dianalisa dan selanjutnya adalah menarik kesimpulan dan membuat laporan. Adapun alur penelitian tersebut dapat dilihat pada diagram alir seperti pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Bahan yang digunakan di dalam penelitian ini adalah bahan baja AISI 1010 dengan kekuatan tarik  $37 \text{ kg/mm}^2$  dan komposisi kimianya adalah sebagai berikut : 0,08 – 0,13% C, 99,18% - 99,62 % Fe 0,3-0,6 % Mn. Peralatan mesin bubut yang digunakan seperti pada gambar di bawah ini didalam penelitian ini panjang pembubutan 150 mm bahan yang dibubut AISI 1010 dengan kecepatan potong yang dipilih adalah 40 m/menit, 50 m/menit dan 60 m/menit untuk bahan pahat HSS dan kecepatan potong yang dipilih untuk bahan karbida adalah 75 m/menit, 100 m/menit dan 120 m/menit, *feed* dan tebal pemotongan yang digunakan untuk kedua bahan pahat tersebut besarnya 0,08 mm/putaran dan 0,5 mm.



**Gambar 2.** Mesin Bubut

Pada pengujian tingkat kekasaran, benda kerja setelah proses pembubutan diuji tingkat kekasarannya dengan alat *Roughness* dengan merek surflo 120 A. Pemakaian pahat terus menerus dapat mengakibatkan keausan pada pahat. Untuk mengetahui keausan pahat dilakukan dengan cara pahat ditimbang sebelum proses pembubutan dan setelah proses pembubutan dan pengambilan sampel foto mikro sebelum dan sesudah proses pembubutan untuk mengetahui tingkat keausan pahat.

Untuk penyiapan pahat dan benda kerja, pada proses pembubutan ini dengan material pahat HSS dan pahat karbida adapun panjang pembubutan 100 mm dan kedalaman pemotongan 0,5 mm dan *feed* 0,08 mm/putaran. Adapun setting pahat terhadap benda kerja seperti pada Gambar 3.



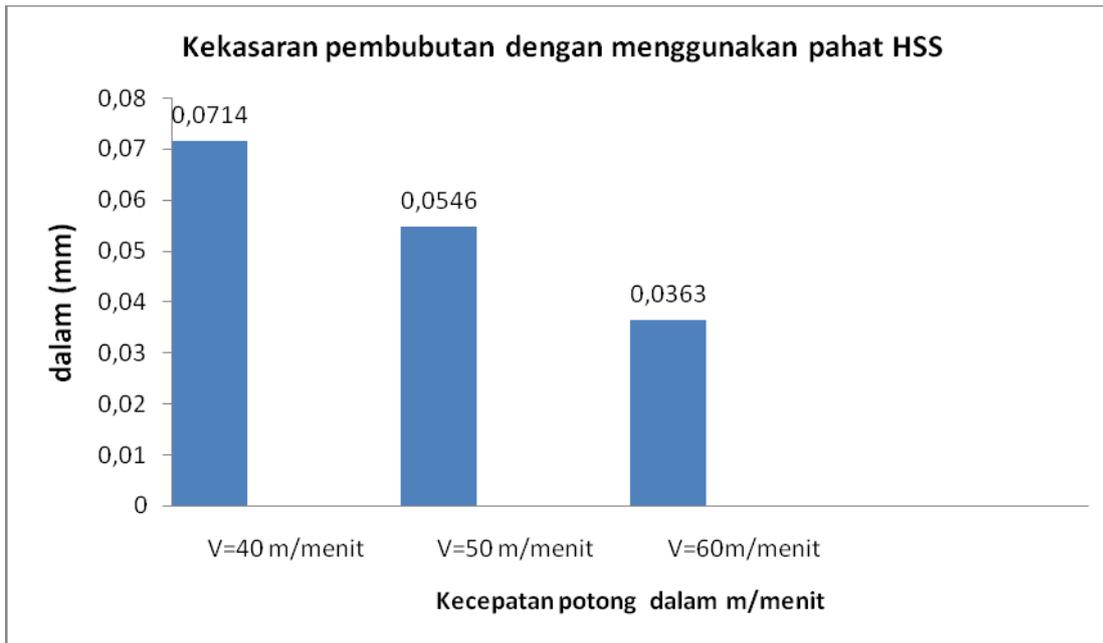
**Gambar 3.** Proses pembubutan

## PEMBAHASAN

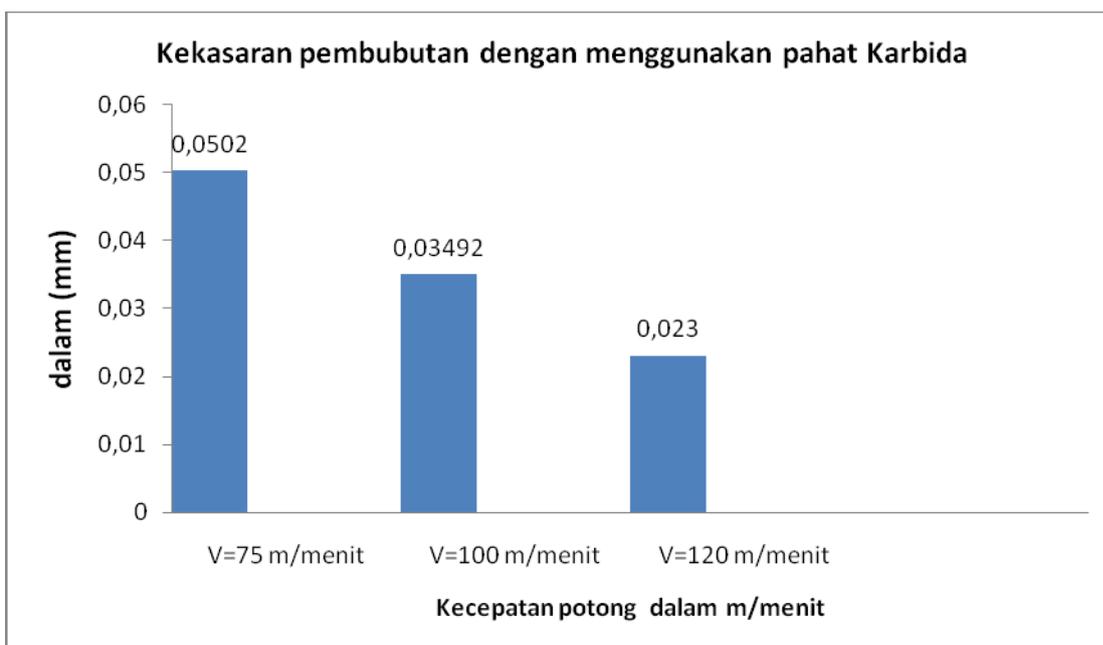
Kondisi pemotongan pada peringkat sensitivity dilakukan untuk mendapatkan performa pahat secara acak. Adapun kondisi kecepatan potong pembubutan material dengan pahat HSS dengan kecepatan potong 40 m/menit, 50 m/menit dan 60 m/menit, sedangkan pembubutan dengan material pahat karbida dengan kecepatan potong 75 m/menit, 100 m/menit dan 120 m/menit.

Kekasaran permukaan merupakan salah satu parameter yang turut menentukan kualitas yang dihasilkan dari proses pembubutan. Untuk itu banyak penelitian dilakukan agar kekasaran permukaan yang dihasilkan dari suatu proses pembubutan dapat memenuhi spesifikasi kekasaran permukaan yang

ditetapkan. Adapun di dalam penelitian ini menggunakan *Roughness* dengan merek surflo 120 A. Adapun hasil kekasaran dari pengukuran untuk pahat HSS dapat dilihat pada grafik 1 dan untuk pahat karbida dapat dilihat pada grafik 2. Kekasaran terbaik di dapatkan pada kecepatan potong 60 m/menit yaitu sebesar 0,0363 mm dan kekasaran terbesar pada kecepatan 40 m/menit yaitu sebesar 0,0714 mm hal ini disebabkan karena laju pemotongan yang terlalu rendah menyebabkan hasil pembubutan kasar sedangkan laju pembubutan yang cepat menyebabkan hasil pembubutan mempunyai kekasaran yang rendah. Sedangkan untuk pahat karbida kualitas kekasaran sama dengan pahat HSS yaitu untuk kualitas terbaik terjadi pada kecepatan potong 120 m/menit 0,023 mm dan kekasaran terendah pada kecepatan potong 75 meter/menit sebesar 0,0502 mm. Adapun hasil pengujian kekasaran untuk tiap-tiap kecepatan dapat dilihat pada grafik 1 dan grafik 2.



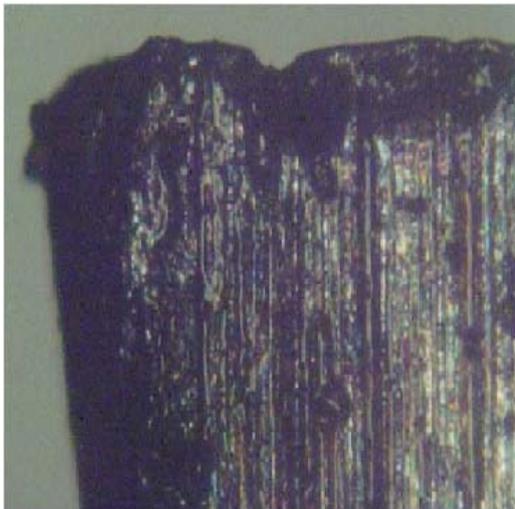
Grafik 1 Kekasaran dengan menggunakan *Roughness* untuk pahat HSS



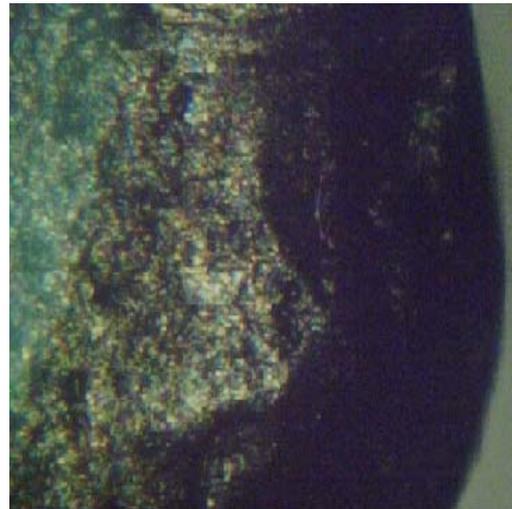
Grafik 2 kekasaran dengan menggunakan *Roughness* untuk pahat karbida

Pada proses pembubutan keausan pahat dapat disebabkan beberapa factor yaitu beban yang bekerja pada pahat, temperatur yang ditimbulkan karena gesekan, dan gesekan antara pahat dan material yang dibubut, keausan tergantung pada jenis material dan pahat yang dibubut dan benda kerja yang dipilih, geometri pahat bubut dan fluida yang digunakan sebagai pendingin (Kalpakjian, 1995).

Keausan pahat dapat dilihat dengan dua cara yaitu dengan cara ditimbang dengan timbangan Sarorius Merk LC 1205 dengan kapasitas 120 gram. Adapun data- hasil uji berat sebelum dan sesudah pembubutan untuk kecepatan 40 m/menit, 50 m/menit dan 60 m/menit untuk pahat HSS rata-rata terjadi pengurangan 0,046 gram sedangkan untuk pahat karbida untuk kecepatan 75 m/menit, 90 m/menit dan 120 m/menit rata-rata terjadi pengurangan 0,014 gram. Sedangkan hasil uji foto micro setelah proses pembubutan dapat dilihat pada gambar 4 dan 5 di bawah ini, tahapan keausan pahat dapat dianalisa keausan bagian muka sepanjang muka pahat dan keausan pada bagian sisi yang terbentuk akibat gesekan benda kerja dengan *feeding* tertentu.



**Gambar 4.** Pahat HSS setelah pembubutan



**Gambar 5.** Pahat karbida setelah pembubutan

Sebagaimana kita ketahui bahwa setiap industri selalu berusaha agar biaya produksi dapat ditekan sekecil mungkin untuk mendapatkan keuntungan yang lebih besar. Keausan pahat merupakan salah satu faktor yang sangat perlu untuk dipertimbangkan karena dalam industri yang memproduksi secara massal, keausan pahat perlu ditekan sehingga umur pahat lebih panjang, dengan demikian biaya yang diperlukan untuk membeli pahat dapat diirit. Pada gambar 4 dan 5 keausan pahat untuk HSS dan karbida masih dibawah 0,3 mm menurut ISO 3685 apabila pahat telah mempunyai keausan sebesar 0,3 mm maka pemotongan dihentikan namun karena pemotongan yang dilakukan didalam penelitian ini hasilnya masih di bawah 0,3 mm artinya proses pembubutan tersebut masih dalam kondisi yang diijinkan.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekasaran terbaik untuk pahat HSS dengan kecepatan 60 meter/menit sebesar 0,0363 mm dan kekasaran terendah sebesar 0,0714 mm dengan kecepatan 40 meter/menit
2. Kekasaran terbaik untuk pahat karbida sebesar 0,023 mm dengan kecepatan 120 meter/menit dan kekasaran terendah sebesar 0,0502 mm dengan kecepatan 75 meter/menit
3. Keausan untuk pahat HSS dan karbida masih dalam batas yang diijinkan karena keausan dibawah 0,3 mm.
4. Keausan yang diukur dengan pengurangan berat pahat sebelum dan sesudah pembubutan rata-rata untuk pahat HSS terjadi pengurangan sebesar 0,046 gram dan karbida terjadi pengurangan sebesar 0,014 gram.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Amstead, BH, Ostwald, dan Begemen , 1985, *Manufakturing Processes*, Seventh Edition John Wiley & Sons , New York.
- Child, T, Maekawa, K Obikawa, T and Yamane, 2000 *Metal Machining Theory and Aplication* by Jonh Wiley & Sons Inc, New York, Toronto
- Dieter GE, 1988, *Mechanical Metallurgy* Mc Graw – Hill Book Company.
- ISO 3685, *Tool-life testing with single point turning tool*, second edition, 1993
- Ida Bagus dkk 2013, Pengaruh jenis pahat bubut terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan pada bahan Stainlees steel, *Jurnal Energi dan manufaktur* Vol 6, No1 April.
- Kalpakajian 1995, *Manufakturing Engenering and Tecnology*, Addisoon Wesley.Thrid edition Copyright.
- Rochim Taufik, 1993, *teori & teknologi Proses permesinan laboratorium Produksi dan metalurgi industri*, Jurusan Teknik Mesin ITB Bandung.

## RANCANG BANGUN MESIN PENCETAK PROFIL PELAT LANTAI MOBIL DENGAN KETEBALAN PELAT 0,8 – 1,2 MM

Sukanto<sup>1)</sup>, Erwanto<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup> Jurusan Teknik Mesin, POLITEKNIK MANUFAKTUR Bangka  
e-mail :<sup>1</sup>sukanto.wiryo@gmail.com

### ABSTRACT

Panel floor is slab on four-wheel drive minibus serves as a tool for supporting the whole car seat and the passenger in the cabin as well as serve to isolate passengers from the outside of the vehicle condition. Repair damaged vehicle floor plate requires huge cost and time is relatively long, because the car floor profiling is still using a manual system that is using a hammer and chisel. This study aims to design and create a profile molding machine into a car floor plate-groove plate with a thickness of 0.8 to 1.2 mm in size and width of the panel after grooved 50 x 50 cm. Panel profile forming machine is designed and made with the experimental approach uses a roll system, where thick plates of 1.2 mm is cut to the width of a particular stretch and then formed by milled with roll machine that has a grinder component form of two grooved shaft moves against each other using the driving source 1 HP electric motor at 14 rpm. The design panel which is designed and produced in the form of grooved panels 5, with pieces shaped trapesium tray measuring 50 mm x 50 mm. The trials were conducted panel roll machine has successfully established a grooved plate panel profile trapesium better, there is no crack or tear in the folds / grooves and faster formation. Time trapesium grooved panel forming process reaches an average time of 20 minutes or up to 20 times faster than with the manual system using a hammer and chisel.

**Keywords:** Corrosion, Engineering Roll Plates, Car, Floor Plates, Rolling.

### PENDAHULUAN

Kekakuan sebuah panel dipengaruhi oleh dimensi, geometris dan modulus elastisitas material (Lee, D.C., 2004). Selain itu parameter lengkungan pada pelat juga dapat meningkatkan kekakuan pelat (Fredo, C.R. and Hedlund, A, 2005). Frekuensi alamiah pelat berombak (*embossing pattern*) dengan ditumpu sederhana dapat meningkat sepuluh kali lebih besar dibandingkan dengan pelat rata. Diveyev et al. (Diveyev, B., Smolsky, A., and Sukhorolsky, M., 2008) meneliti pengaruh lapisan luar komposit *sandwich* terhadap perubahan kekakuannya. Panel merupakan salah satu pemicu kebisingan frekuensi rendah (20-200 Hz) pada kendaraan [Han, X., Guo, Y.J., Yu, H.D., and Zhu, P., 2009]. Suatu getaran yang terjadi pada kendaraan dapat menjadi sangat berbahaya ketika terjadi resonansi yaitu besarnya frekuensi sumber rangsangan sama dengan salah satu frekuensi alamiah sistem struktur kendaraan (Timoshenko, S., 1937). Akibat osilasi yang besar pada resonansi tersebut dapat merusak struktur kendaraan secara keseluruhan. Selain itu panel yang bergetar akan mengakibatkan kebisingan dan ketidaknyamanan dalam berkendara. Kekakuan panel dapat dibentuk dengan spot-welded (S.M. Nacy, N.K. Alsaib dan F.F. Mustafa, 2009). Getaran berlebih yang terjadi pada panel kendaraan dapat dikurangi dengan cara meningkatkan kekakuan panel (Sunardi, I.M. Miasa dan R. Soekrisno, 2010, Timoshenko, S., 1937).

Teknologi transportasi di Indonesia akhir-akhir ini berkembang dengan pesat tanpa terkecuali angkutan umum baik darat, laut dan udara. Di Indonesia terdapat banyak sekali contoh angkutan umum tersebut dan kita juga sering lihat bagaimana kelayakan pakai dari kendaraan angkutan tersebut masih jauh dari harapan, karena banyak sekali ditemukan kondisi kendaraan umum tersebut yang sudah tidak layak pakai terutama dibagian kabin penumpang dan juga *body* kendaraan banyak yang rusak dan juga dibagian lantai suatu kendaraan. Pada umumnya kerusakan menyerupai lubang-lubang kecil berbentuk diameter dan juga berbentuk lainnya akibat dari korosi.

Lubang-lubang kecil yang terjadi pada lantai mobil angkutan umum biasanya dibiarkan begitu saja oleh pemilik mobil dan untuk menutupi lubang tersebut biasanya dilapisi karpet atau alas pada lantainya. Sebagian besar tidak memperbaiki kondisi lantai tersebut dikarenakan faktor biaya yang relatif mahal. Perbaikan lantai mobil mahal disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya proses pembuatan profil lantai tersebut yang harus menggunakan mesin press tetapi untuk bengkel-bengkel kecil atau menengah. Berdasarkan uraian diatas maka latar belakang karya ilmiah ini meliputi:

- a. Proses pembuatan profil pelat lantai mobil yang dilakukan sekarang ini masih menggunakan sistem manual (tanpa mesin) yaitu dengan menggunakan kapur, pahat, dan palu.
- b. Proses pembuatan membutuhkan waktu yang relatif lama, sebagai contoh untuk pembuatan profil pelat berukuran (P x L) 50 x 50 cm sampai pemasangannya dalam setiap bengkel yang berbeda-beda, ada yang satu sampai dua hari baru selesai.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat sebuah mesin pencetak pelat profil lantai mobil untuk membantu proses pembuatan profil lantai mobil lebih cepat dari segi waktu dan lebih mudah operasionalnya dibandingkan dengan sistem pengerjaan yang dilakukan secara manual. Kriteria sampel benda uji dan jenis bahan yang digunakan meliputi dimensi ukuran panjang dan lebar pelat setelah jadi panel maksimal berukuran 50 x 50 cm, dengan ketebalan pelat maksimal 1,2 mm dan menggunakan material baja lunak (ASTM A29). Selain itu produk panel pelat lantai mobil ini hanya digunakan untuk jenis mobil minibus hingga 1500 cc.

Penelitian dengan pendekatan eksperimental ini dimulai dari kegiatan pengumpulan data dan informasi terkait perbaikan panel pelat mobil pada beberapa daerah di Solo Jawa Tengah dan Bangka Belitung dengan kesimpulan bahwa proses pembuatan profil pelat lantai mobil di sebagian bengkel masih dilakukan secara manual yaitu proses pembuatan profil pelat menggunakan peralatan kapur, palu dan pahat. Selanjutnya konsep disain rancang bangun mesin roll pencetak pelat panel mobil ini dibuat berupa sket awal mesin yang ingin kita buat yaitu berupa berisi daftar tuntutan mesin yang harus dicapai, metode penguraian fungsi berupa pemecahan masalah dengan menggunakan analisa *black box* dan diagram struktur fungsi alat bantu untuk menentukan fungsi bagian utama mesin, dan hirarki fungsi yaitu suatu penjelasan bahwa setiap bagian mempunyai fungsi tersendiri.

Alternatif fungsi bagian berupa pilihan terhadap beberapa fungsi bagian dibuat bertujuan untuk membantu mencari jalan keluar guna memperoleh hasil yang lebih baik dalam pembuatan mesin. Variasi konsep disain dibuat dan dinilai kelebihan dan kekurangannya, dan selanjutnya ditinjau dari aspek teknis dan aspek ekonomisnya yang kemudian menghasilkan sebuah keputusan akhir variasi konsep mesin yang mana akan direalisasikan untuk dibuat. Selain itu dalam membuat variasi konsep ini juga diperlukan kesesuaian, yaitu evaluasi proses penilaian variasi konsep yang telah dibuat. Untuk menentukan jenis mesin yang akan dibuat sesuai dengan hasil dan fungsi yang diharapkan. Kegiatan disain terakhir adalah membuat gambar kerja yang bertujuan sebagai acuan dalam pembuatan part pada mesin. Gambar kerja juga mewakili penggunaan mesin apa yang akan dipakai.

Kegiatan permesinan dilakukan setelah konsep disain diputuskan selesai dan gambar kerja telah dibuat detailnya. Permesinan dilaksanakan dengan melibatkan berbagai mesin seperti mesin bubut, mesin frais, mesin gerinda, mesin bor, mesin gergaji potong dan mesin las yang mana fungsi mesin menyesuaikan dengan bagian yang akan kami buat. Sedangkan perakitan komponen yang merupakan suatu proses penggabungan bagian-bagian atau part-part yang telah dibuat menjadi suatu alat atau mesin yang sudah dirancang sesuai dengan tahapan-tahapan proses yang telah ditentukan dilakukan dengan melibatkan berbagai alat kerja bangku, kerja pelat, kerja las serta peralatan fabrikasi lainnya. Setelah tahapan perakitan selesai maka alat atau mesin pengerol panel lantai mobil ini sudah bisa diuji coba. Proses uji coba ini dijadikan acuan untuk mengukur berhasil atau tidaknya alat yang dibuat, dimana dilakukan selama proses perakitan sampai dengan alat selesai. Tujuan uji coba adalah sebagai evaluasi terhadap kualitas alat yang dirancang, apabila tidak berhasil, maka proses dikembalikan pada siklus tahapan perancangan. Selanjutnya dilakukan proses analisa dan perbaikan yang merupakan siklus puncak dari metodologi eksperimental yang digunakan.

Tahapan uji coba yang dilakukan meliputi 2 tahap, yaitu :

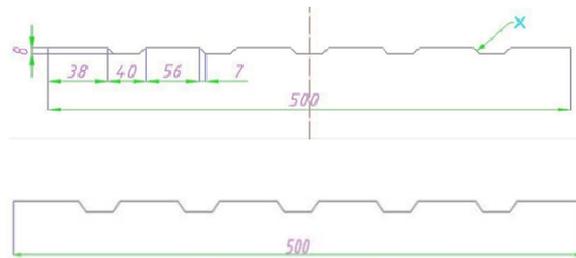
- a. Uji coba tanpa beban, yaitu uji coba dengan tidak memasukan bahan/ pelat ketika mesin beroperasi. Hal ini untuk memastikan mesin bekerja sesuai dengan harapan apa tidak sebelum memasukan bahan part produk.
- b. Uji coba dengan beban, yaitu dengan memasukan bahan/ pelat kedalam mesin.

## **METODE PENELITIAN**

### **Perencanaan Disain Mesin Roll Panel Plat**

Langkah awal untuk membuat panel plat beralur adalah merencanakan disain mesin dan kemudian membuatnya. Beberapa pilihan dapat dianalisa dan kemudian diambil disain yang paling memungkinkan untuk direalisasikan menjadi mesin pembentuk alur. Membentuk alur ini dapat dilakukan dengan metode banding, dengan metode dipress dan juga dengan metode diroll

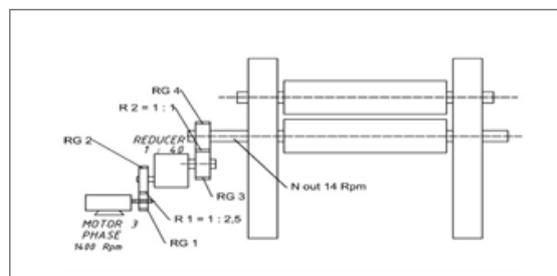
(Riyani,2014). Setelah dilakukan berbagai kajian dan analisa ditetapkanlah metode pembuatan panel beralur dengan metode diroll. Sampel plat alur yang direncanakan adalah berukuran 50 cm x 50 cm (500 x 500 mm) seperti tampak pada gambar 2.1 berikut. Dipilih bentuk trapesium dikarenakan sebagian besar panel lantai mobil minibus adalah berbentuk trapesium dan bentuk ini ternyata juga lebih mudah dalam perawatannya (pembersihannya).



Gambar 2.1. Plat Sampel Beralur dengan bentuk Trapesium

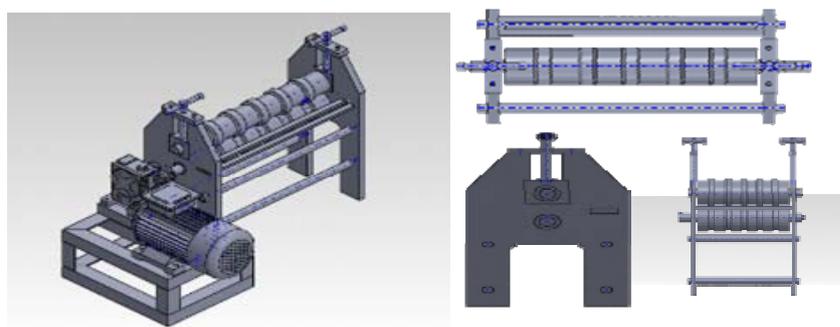
Perhitungan bentangan bahan pelat yang dibutuhkan dilakukan berdasarkan dimensi yang diharapkan pada gambar 2.1 tersebut yaitu dengan ukuran minimum 536 mm, sehingga panjang poros minimal sebagai pembentuk profil adalah 536 mm, selanjutnya penulis bulatkan sehingga panjang poros pembentuk profil menjadi 550 mm. Hal ini bertujuan agar poros pembentuk profil alur trapesium memiliki jarak bebas untuk pembentukan profil pelat. Berdasarkan bentangan yang telah ditetapkan serta berdasarkan rencana tebal plat alur yang akan dibuat yaitu maksimum mencapai 1.2 mm maka diperoleh beberapa parameter mesin roll meliputi daya motor 3 Pk pada 1400 rpm, Reducer digunakan 1 : 40 pada putaran akhir poros 14 rpm (Ansori, 2014).

Sistem transmisi rodagigi dipilih sebagai penerus daya yang diterapkan mengingat daya yang dapat diteruskan paling optimal dibandingkan jenis transmisi yang lain. Gambar 2.2. dibawah menunjukkan gambar kontruksi elemen penggerak dan mekanisme mesin roll pembentuk panel plat.



Gambar 2.2 Kontruksi Elemen Penggerak

Selanjutnya gambar 2.3. berikut menunjukkan varian konsep yang dipilih untuk dilanjutkan dalam proses pembuatan dan uji coba mesin roll pembentuk panel plat.



Gambar 2.3 Varian Konsep terpilih untuk dibuat mesin roll plat panel.

### Proses Permesinan Komponen Mesin Roll dan Perakitan

Pembuatan konstruksi mesin dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dianalisa dan dihitung sesuai dengan perencanaannya, sehingga mempunyai arah yang jelas dalam proses pemesinannya. Proses pemesinan terkait pembuatan komponen mesin roll meliputi:

- a. Proses bubut, dilakukan pada proses pembuatan komponen mesin seperti, poros profil pencetak, poros penahan, poros ulir penekanan.
- b. Proses *milling*, dilakukan pada pembuatan komponen mesin seperti, pembuatan pelat penekanan, pelat penahan/ rangka, pelat untuk dudukan poros ulir penekanan dan alur slot untuk pasak.
- c. Proses pengeboran, dilakukan pada proses pembuatan lubang dasar untuk pembuatan ulir dan lubang untuk rangka,
- d. Proses gergaji, dilakukan untuk memotong bahan sebelum diproses dimesin selanjutnya.
- e. Proses pengelasan, dilakukan pada proses perakitan kerangka dudukan reducer dan motor.
- f. Proses gerinda, dilakukan untuk merapikan bagian-bagian konstruksi kerangka yang tidak rapi.



Gambar 2.4. Proses Permesinan (pembubutan) Silinder Komponen Mesin Roll

Gambar 2.4 diatas menunjukkan proses permesinan yang dilakukan pada mesin bubut. Setelah pembuatan seluruh komponen mesin selesai, maka komponen tersebut dirakit sehingga menjadi mesin yang sesuai dengan hasil rancangan. Proses perakitan merupakan proses penggabungan atau perakitan bagian-bagian dari mesin pencetak profil pelat lantai mobil sehingga menjadi sebuah mesin yang utuh. Proses *assembling* pada mesin pencetak profil lantai mobil dilakukan pertama kali yaitu proses perakitan rangka dengan poros pencetak dengan menggunakan baut dan mur sebagai pengikat dan kemudian di ikuti dengan perakitan proses dudukan reducer dan motor yang di ikat menggunakan las. Gambar 2.5 dibawah ini menunjukkan perakitan mesin.



Gambar 2.5. Perakitan Mesin.

### Uji Coba Fungsi Mesin Roll Plat.

Uji coba mesin dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hasil kinerja mesin saat beroperasi, begitu juga kekurangan dan kelebihan dibandingkan dengan proses pembuatan pelat secara manual.

Tahapan uji coba yang akan dilakukan ada 2 tahap, yaitu :

a. Uji coba tanpa beban

Pada saat Mesin Roll diputar secara manual, menunjukkan kondisi poros bawah berputar sesuai dengan yang diharapkan, Poros atas tetap dan elemen pengatur penekanan diputar sesuai dengan yang diharapkan. Selanjutnya pada saat Mesin Roll plat diputar menggunakan motor, maka kondisi system menunjukkan bahwa poros bawah diputar oleh sistem transmisi sehingga berputar sesuai dengan yang diharapkan, poros atas tetap, elemen pengatur penekanan diputar sesuai dengan yang diharapkan, dan poros atas akan bergerak jika poros atas menyentuh poros bawah.

b. Uji coba dengan beban, yaitu dengan memasukkan bahan/ pelat kedalam mesin.

Mesin Roll plat diputar secara manual, maka pada pengujian pertama diputar secara manual menggunakan pelat drum bekas berukuran kurang lebih 20 x 30 cm, pelat profil terbentuk rapi kurang lebih dalam waktu 3 menit. Selanjutnya ketika dilakukan pengujian kedua dengan menggunakan pelat drum berukuran 55 x 80 cm pelat juga terbentuk dalam waktu kurang lebih 15 menit. Gambar 2.6. dibawah ini menunjukkan hasil uji coba mesin secara manual.



Gambar 2.6. hasil uji coba mesin secara manual

Selanjutnya pengujian dilakukan dengan cara diputar menggunakan motor. Pada pengujian menggunakan pelat drum berukuran kurang lebih panjang 35 cm lebar 5 cm untuk satu bentuk profil pelat terbentuk rapi dalam waktu kurang lebih 1 menit. Hasil uji coba kedua menggunakan pelat berukuran P x L kurang lebih 50 x 54 cm profil pelat terbentuk dalam waktu kurang lebih 12 menit. akan tetapi harus dilakukan secara bertahap, untuk menghindari beban lebih, dan tidak terjadi slip pada rol pembentuk. Gambar 2.7. dibawah ini adalah contoh hasil uji coba mesin secara otomatis.



Gambar 2. 6. Hasil uji coba mesin secara otomatis

Setelah dilakukan uji coba secara keseluruhan, selanjutnya dilakukan analisa penyebab profil pelat tidak terbentuk sesuai yang diinginkan. Analisa pertama mengenai pengerolan plat secara manual dapat disimpulkan bahwa dalam proses penekanan terlalu dalam maka akan mempersulit proses pemutaran rol. Sedangkan pada pengerolan secara otomatis dapat disimpulkan bahwa

proses pembentukan profil pelat tidak bisa dilakukan dalam satu kali proses serta penekanan proses pembuatan profil pelat yang terlalu dalam akan mempersulit proses kerja mesin.

## KESIMPULAN

Penelitian berupa rancang bangun mesin pengerol pelat ini dapat disampaikan kesimpulan bahwa :

1. Panel beralur trapesium dengan kedalaman hingga 8 mm dan lebar alur 40 mm dapat direalisasikan dengan produk panel ukuran 50 cm x 50 cm tanpa terjadi kerusakan material yang signifikan tidak berlubang dan tidak terjadi sobek hingga ketebalan plat sampai maksimum 1,2 mm.
2. Proses pengerolan dapat dilakukan secara manual maupun dengan menggunakan motor penggerak AC 3 fasa 1 PK.
3. Roll silinder dapat dilepas-pasang sehingga pembuatan komponen roll silinder ini dapat dilakukan lebih banyak variasi lagi agar diperoleh jenis alur yang terbaik untuk lantai mobil.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat – Dirjen DIKTI pada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini. Ucapan terimakasih juga peneliti sampaikan kepada Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung selaku Institusi yang telah membantu mewujudkan penelitian ini melalui penyediaan sarana proses *manufacturing* komponen-komponen mesin yang dibuat. Terimakasih tidak lupa juga peneliti sampaikan kepada seluruh tim dalam penelitian serta berbagai pihak yang telah membantu terselesaikannya penelitian dan artikel ini yang tidak dapat saya utarakan satu-persatu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, 2014, Pengertian Motor Listrik, diakses pada 13 Agustus 2014, Available: <http://insyaansori.blogspot.com/2013/04/motor-listrik-3-fasa.html>.
- Diveyev, B., Smolskyy, A., and Sukhorolskyy, M., 2008, *Dynamic Rigidity and Loss Factor Prediction for Composite Layered Panel*, Archives of Materials Science and Engineering, Vol. 31, Issue 1 May, pp. 45-48.
- Fredo, C.R. and Hedlund, A., 2005, *NVH Optimization of Truck Cab Floor Panel Embossing Pattern*, SAE International, 2005-01-2342.
- Han, X., Guo, Y.J., Yu, H.D., and Zhu, P., 2009, *Interior Sound Field Refinement of a Passenger Car Using Modified Panel Acoustic Contribution Analysis*, International Journal of Automotive Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 79-85.
- Lee, D.C., 2004, *A Design of Panel Structure for the Improvement of Dynamic Stiffness*, Proc. Instn. Mech. Engrs, Vol. 218 Part D: J. Automobile Engineering, pp. 647-654.
- Riyani, 2014, Pengertian Rolling, diakses pada 9 Agustus 2014, Available: <http://blogriyani.blogspot.com/2012/07/rolling-mill-machine-a.html>.
- S.M. Nacy, N.K. Alshahib dan F.F. Mustafa, 2009, *Vibration Analysis of Plates with Spott Welde Stiffener*, Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Vol. 3, No. 4, December, 272-279.
- Sunardi, I.M. Miasa dan R. Soekrisno, 2010, Pengaruh Dimensi Alur Trapesium Pelat Terhadap Frekuensi Alaminya, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Metalurgi*, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 296-305.
- Timoshenko, S., 1937, *Vibration Problems in Engineering*, 2<sup>nd</sup> Edition, pp. 421-425, D. Van Nostrand Company Inc, New York.

## TINJAUAN PEMBUATAN KOPLING GESEK SEPEDA MOTOR DARI KOMPOSISI SERAT KELAPA PADA KEKERASAN, KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK

Pramuko Ilmu Purboputro<sup>1</sup>, Rahmat Kusuma<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosuro  
email : pramukoip@ymail.com

### ABSTRACT

*The aim of this research is to study coconut fiber composite with copper powder, fiberglass and phenolic resin as matrice, due to wear and its hardness. The composite will be used for clutch, then compare with existing product material.*

*The clutch material consist of coconut fiber composite with copper powder, fiberglass and phenolic resin as matrice. Clutch material pressed in a dies with 2 tonage, with 60 minutes pressing time and 80<sup>o</sup> C sintering temperature with 40 minute holding time.*

*The resul were composite with composition coconut fiber 40 % weight, copper powder 20 %, fiberglass 20 % and phenolic resin 20% its hardness is 4,098 kg/mm<sup>2</sup>, dry wearness is 0,14 mm/hr and wet oil wearness is 0,19 mm/hr. The result is near with existing cluthc that hardness is 3,974 kg/mm<sup>2</sup>, dry wearness 0,15 mm/hr and wet wearness is 0,20 mm/hr.*

**Keyword :** *clutch material, coconut fiber, phenolic resin, hardness, wearness.*

### PENDAHULUAN

Serat sabut kelapa dapat dimanfaatkan sebagai komponen komposit kanvas kopling/*clutch*, karena sifat modulus elastisitas yang rendah (kenyal), namun mempunyai harga koefisien gesek yang tinggi. Resin phenolic merupakan salah satu resin yang sering dipakai sebagai bahan pengikat atau matriks komposit, karena sifat kerekatannya serta tahan panas yang cukup tinggi sampai 300°C, mempunyai kemampuan berikatan dengan serat alam tanpa menimbulkan reaksi dan gas.

Logam tembaga bersifat keras dan mempunyai konduktivitas panas yang baik, sehingga akan mudah untuk mengevakuasi panas dari hasil gesekan pada saat kopling bersegesekan. Tembaga juga mempunyai sifat melepas panas, sehingga sangat tepat untuk mengevakuasi panas dari permukaan gesek kopling menjadi cepat dingin kembali. Dari pertimbangan-pertimbangan di atas peneliti mencoba untuk memanfaatkannya sebagai bahan pembuatan kanvas kopling *clutch* kendaraan. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah kekerasan (*Brinell*), foto makro, dan karakterisasi gesekan dengan dynamometer test, dengan perbandingan variasi komposisi yang sudah ditentukan.

Setelah diketahui harga variasi komposisi yang optimal dalam hal ikatan permukaan, dan kekerasannya maka selanjutnya pada tahun kedua dilakukan percobaan pada dynamometer test untuk mengetahui : harga koefisien gesek, kemampuan torsi penransmisiannya, dan suhu maksimal saat bergesekan.

Penelitian ini dilakukan dua tahap. Tahap pertama, dilakukan optimasi pencarian sifat fisis berupa pemeriksaan struktur mikro, dan optimasi pemeriksaan sifat mekanisnya berupa kekerasannya untuk berbagai kondisi penekanan spesimen dari tekanan 1000 kg, 1500 kg dan 2000 kg, sesuai dengan kelaziman penekanan pada pembuatan kanvas kopling.

Tahap kedua memeriksa karakteristik performansi kopling gesek, berupa kemampuan untuk mentransfer torsi, daya dan koefisien geseknya. Parameter yang dicari adalah koefisien geseknya, dengan waktu pengkoplingan yang singkat ( waktu gesek pendek ) kenaikan suhu kopling yang minimal. Dengan demikian diperoleh sifat kopling gesek yang mampu meneruskan torsi dan daya, reaktif cepat kerjanya, dan kenaikan suhu yang rendah, dan awet.

Tujuan penelitian yaitu mendapatkan karakteristik bahan kopling terutama pada kekerasan, keausan dan koefisien geseknya.

Irfan, Pramuko IP, (2009), melakukan penelitian tentang kanvas rem gesek dengan memberikan waktu sintering pada tekanan kompaksi sebesar 10 menit. Keausan suatu bahan komposit semakin besar atau semakin mudah aus dapat dipengaruhi oleh besarnya waktu yang diberikan pada proses kompaksi. Bila waktu penekanannya semakin besar maka tingkat keausan pun juga semakin besar. Nilai kekerasan suatu bahan terpengaruh oleh besar waktu penekanan kompaksi yang diberikan dalam proses pembuatan bahan kanvas rem. Dalam pembuatan kanvas, nilai kekerasan kanvas juga

berpengaruh. Dengan semakin besar kompaksi yang dibebankan maka semakin keras pula komposit tersebut, karena komposit tersebut sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam proses pembuatan dari bahan menjadi komposit dan beberapa penyebabnya yaitu: variasi bahan, beban kompaksi yang diberikan serta lamanya beban kompaksi, dan pemanasan (*sinter*).

Imam, Pramuko I.P., (2009), melakukan penelitian tentang kampas rem gesek dengan memberikan peningkatan sintering . Dengan semakin tinggi suhu sintering berpengaruh pada tingkat keausan. Jika semakin tinggi suhu sinteringnya maka menyebabkan nilai keausan meningkat. Maka keausan semakin tinggi. Peningkatan suhu sintering juga berpengaruh pada kekerasan kampas. Semakin tinggi suhu sinteringnya maka nilai kekerasannya akan semakin menurun.

Iwan , Pramuko I.P, (2009), Bahan komposit banyak terdapat di alam, karena bahan komposit bisa terdiri dari organik dan anorganik seperti bambu, kayu, daun, dan sebagainya, yang bisa digunakan sebagai kampas rem atau kampas kopling gesek.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dua tahap. Tahap pertama, dilakukan optimasi pencarian sifat fisis berupa pemeriksaan struktur mikro, dan optimasi pemeriksaan sifat mekanisnya berupa kekerasannya untuk berbagai kondisi penekanan spesimen dari tekanan 1000 kg, 1500 kg dan 2000 kg , sesuai dengan kelaziman penekanan pada pembuatan kampas kopling.

Tahap kedua memeriksa karakteristik performansi kopling gesek, berupa kemampuan untuk mentransfer torsi, daya dan koefisien geseknya. Parameter yang dicari adalah koefisien geseknya, dengan waktu pengkoplingan yang singkat ( waktu gesek pendek ) kenaikan suhu kopling yang minimal. Dengan demikian diperoleh sifat kopling gesek yang mampu meneruskan torsi dan daya, reaktif cepat kerjanya, dan kenaikan suhu yang rendah, dan awet.

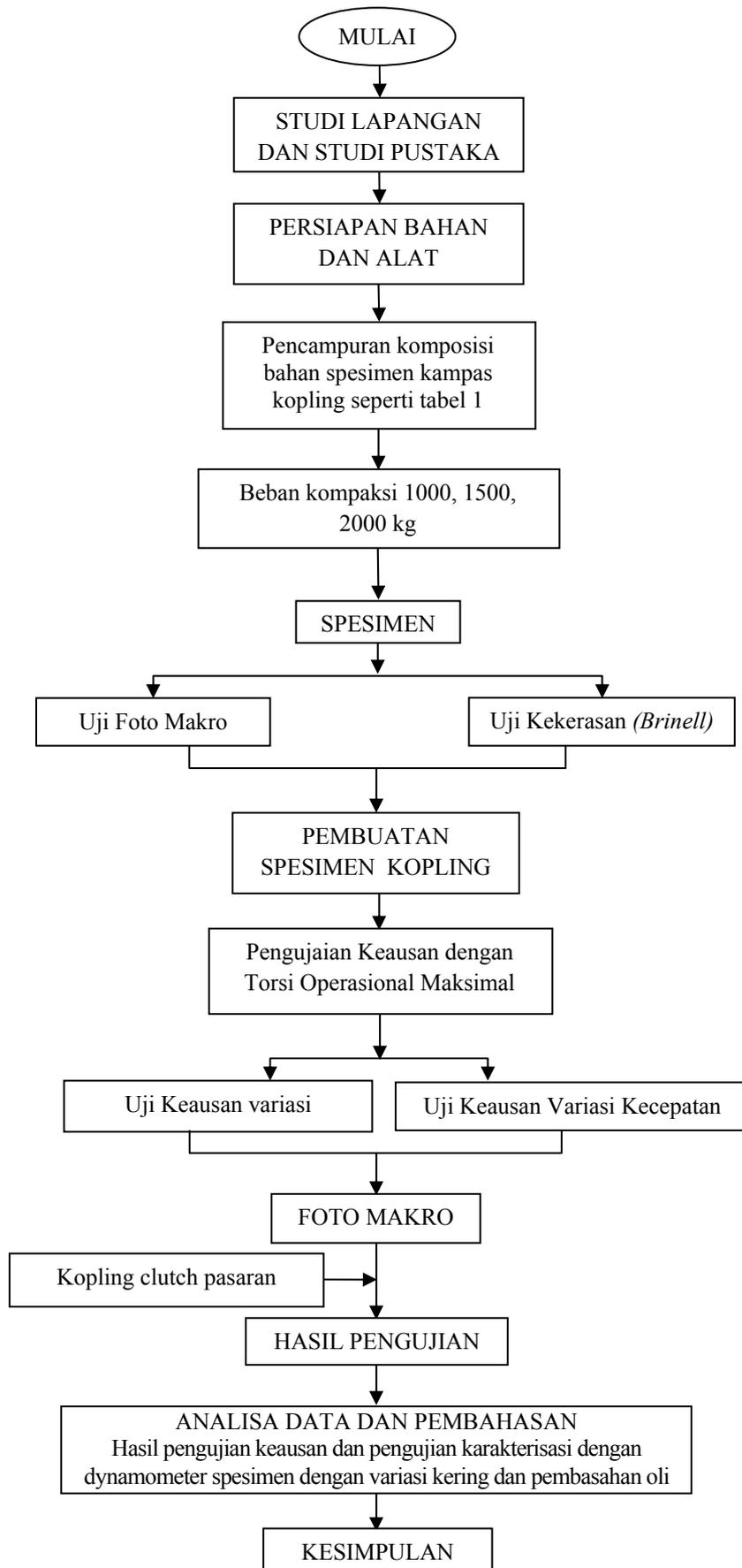
Bahan-bahan Pembentukan Komposit. Serat alam yang dipakai untuk kampas kopling kandungan airnya 5% saja. Berat Jenis antara 600-900 kg/m<sup>3</sup>. Dengan kekuatan antara 8,6 -200 MN/m<sup>2</sup> . Untuk itu yang dipakai pada penelitian ini adalah serat sabut kelapa. Fiber *glass* dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban. Serbuk Logam Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya. Logam yang dipakai tembaga yang memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus dan koefisien pemuaian rendah. Matriks Phenolic sebagai pengikat serat

**Tabel 1.** Komposisi bahan komposit bahan spesimen 1, 2, 3 kampas kopling

No. Spesimen	Serat Kelapa	Fiber <i>glass</i>	Serbuk Tembaga ( <i>Cu</i> )	Polimer Phenolic
1	40%	20%	20%	20%
2	30%	30%	20%	20%
3	20%	40%	20%	20%

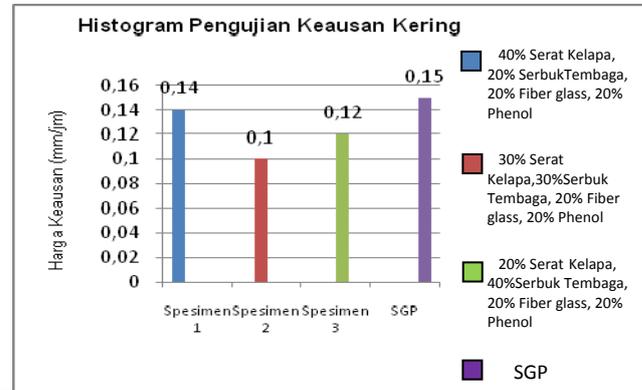
Pengujian gesek dilakukan pada cakram atau pringan yang dihubungkan dengan motor listrik . Cakram yang berputar dilapisi dengan plat logam. Plat kopling diletakkan dia atasnya dengan tekanan 1000 kg. Penekanan dilakukan seperti simulasi pembebanan pada kopling. Batasannya adalah dari tekanan permukaan maksimum permukaan gesek, yang diperoleh dari tabel kekuatan bahan yang mendekati bahan yang dibuat.

Daya listrik dicatat dari tegangan dan arus yang masuk motor listrik. Koefisien gesek dihitung dari hasil pengamatan tachometer, dan daya motor yang terhitung. Torsi yang didapat adalah gaya gesek dikalikan posisi jari-jari kopling. Gaya gesek sama dengan koefisien gesek dengan gaya tekan permukaan. Diagram alir penelitian yang dilakukukan adalah sebagai berikut.



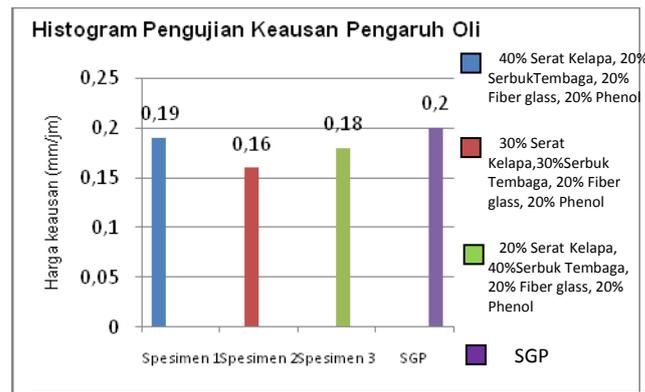
**PEMBAHASAN**

Dari gambar histogram 1, pengujian kering dengan beban 15 kg selama 1 jam maka didapat harga keausan spesimen 1 sebesar 0,14 mm/jam, spesimen 2 sebesar 0,10 mm/jam, spesimen 3 sebesar 0,12 mm/jam dan SGP sebesar 0,15 mm/jam. Dari semua pengujian kering paling rendah tingkat keausannya yaitu pada spesimen kanvas 2 dan harga keausan yang mendekati kanvas SGP adalah kanvas 1. Hasil pengujian keausan kering sebagai berikut.



**Gambar 1.** Histogram Hasil Pengujian Keausan kering

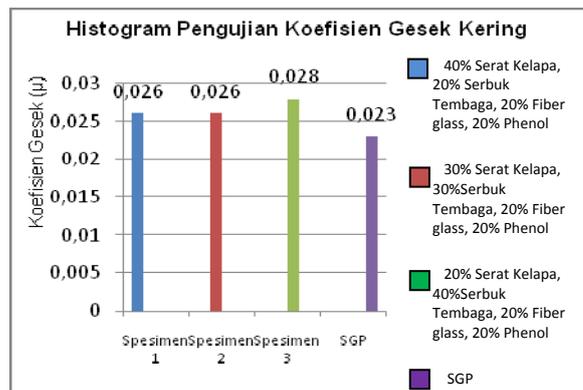
Hasil pengujian keausan pengaruh oli sebagai berikut.



**Gambar 2.** Histogram Hasil uji Keausan Pengaruh Oli

Dari gambar histogram 2, pengujian yang diberi oli dengan beban 15 kg selama 1 jam maka didapat harga keausan spesimen 1 sebesar 0,19 mm/jam, spesimen 2 sebesar 0,16 mm/jam, spesimen 3 sebesar 0,18 mm/jam dan SGP sebesar 0,20 mm/jam. Dari semua pengujian oli paling rendah tingkat keausannya yaitu pada kanvas 2 dan harga keausan yang mendekati kanvas SGP adalah kanvas 1

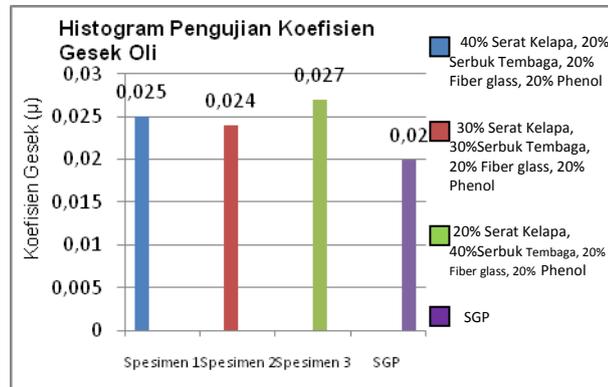
Hasil pengujian gesek kering sebagai berikut.



**Gambar 3.** Histogram Hasil koefisien gesek kering

Dari gambar histogram 3 pengujian koefisien gesek kering maka didapat koefisien gesek spesimen 1 sebesar 0,026 ,spesimen 2 sebesar 0,026 , spesimen 3 sebesar 0,028 dan SGP sebesar 0,023. Dari semua pengujian koefisien gesek kering yang paling rendah adalah kampas SGP.

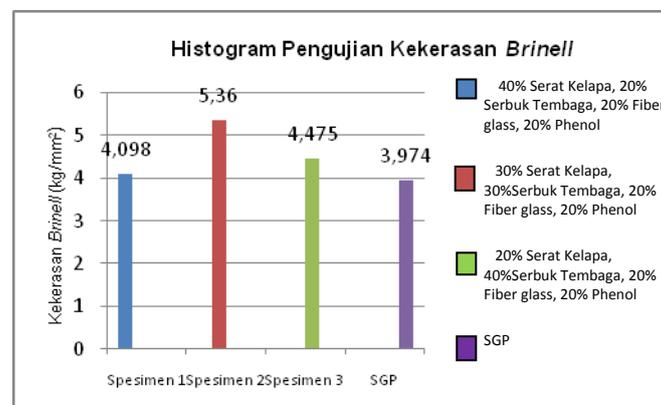
Hasil penelitian Koefisien Gesek ( $\mu$ ) oli sebagai berikut.



Gambar 4. Histogram Hasil koefisien gesek oli

Dari grafik Histogram 4, pengujian koefisien gesek oli maka didapat harga koefisien gesek spesimen 1 sebesar 0.025, spesimen 2 sebesar 0.024, spesimen 3 sebesar 0.027 dan kampas SGP sebesar 0.020. dari pengujian koefisien gesek oli yang paling rendah adalah kampas SGP.

Dari pengujian kekerasan Brinell dengan tekanan 153,2 N di dapat nilai kekerasan kampas kopling spesimen 1 sebesar 4,098 HB, kampas kopling spesimen 2 sebesar 5,360HB, kampas kopling spesimen 3 sebesar 4,475 HB, dan kampas SGP sebesar 3,974HB. Hasil Pengujian Kekerasan Brinell sebagai berikut.



Gambar 5. Histogram Hasil uji kekerasan

Dari semua pengujian kekerasan Brinell nilai yang paling keras adalah kampas spesimen 2. Dilihat dari besarnya nilai kekerasan Brinell (BHN), kampas kopling spesimen 1,2 dan 3 mempunyai nilai kekerasan yang lebih besar dari pada kampas kopling SGP dikarenakan semakin banyak kandungan berat logam semakin menambah nilai kekerasan dari kampas kopling, campuran variasi bahan yang digunakan pada kampas spesimen 1, 2 dan 3 adalah serbuk alumunium dan serbuk tembaga sehingga lebih keras dari kampas kopling SGP.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian spesimen kampas kopling yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan, yaitu :

1. Dari data hasil pengujian keausan, pada variasi kampas 1, 2 dan 3 yang terdiri dari bahan *fiberglass*, serbuk alumunium dan serbuk tembaga didapat harga keausan uji kering kampas 1 sebesar 0,14 mm/jam , kampas 2 sebesar 0,10 mm/jam, kampas 3 sebesar 0,12 mm/jam dan kampas SGP sebesar 0,15 mm/jam. Uji keausan dengan oli didapat harga keausan kampas 1 sebesar 0,19 mm/jam, kampas 2 sebesar 0,16 mm/jm, kampas 3 sebesar 0,18 mm/jam dan kampas SGP sebesar

0,20 mm/jam. Jadi dari spesimen kampas 1, 2 dan 3 yang paling baik diaplikasikan pada sepeda motor yaitu spesimen kampas 1 karena harga keausannya hampir sama dengan kampas SGP.

2. Harga kekerasan kampas kopling non asbes berbahan *fiberglass* variasi serbuk aluminium dan serbuk tembaga dari sampel 1, 2 dan 3 semua lebih tinggi dibandingkan dengan kampas kopling SGP, yaitu dengan harga kampas 1 sebesar 4,098 kg/mm<sup>2</sup>, kampas 2 sebesar 5,360 kg/mm<sup>2</sup>, kampas 3 sebesar 4,475 kg/mm<sup>2</sup> dan kampas SGP hanya 3,974 kg/mm<sup>2</sup> dikarenakan bahan penyusun kampas terdiri dari bahan yang berkarakter keras. Dan nilai harga kekerasan yang mendekati kampas SGP yaitu spesimen kampas 1.

Atas hasil penelitian spesimen kampas kopling yang telah dilakukan, dapat disarankan sebagai berikut:

1. Persiapan sebelum proses pembuatan kampas kopling hendaknya benar-benar matang, baik mengenai alat-alat yang akan dipakai, *dies* (cetakan) yang ukurannya telah benar-benar sesuai dengan yang diharapkan agar spesimen yang dihasilkan lebih bagus. Proses pencampuran bahan harus dilakukan dengan teliti dan dipastikan campuran telah tercampur merata
2. Pembuatan spesimen yang dilakukan lebih banyak dengan variasi yang beragam akan lebih memudahkan dalam pengamatan hasil pengujian kampas. Dan dapat meningkatkan kualitas spesimen yang dibuat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Calister, Material Science, Mc. Graw Hill, London, 2005
- German, R.M., 1984. Powder Metallurgy Science. Metal Powder Industries Federation. Princeton, New Jersey.
- Gustav Niemann, 1981, Design of Machine Elements, Mc. Graw Hill, India
- Imam Setiyanto, 2009. Pengaruh Variasi Temperatur Sintering Terhadap Ketahanan Aus Bahan Rem Gesek Sepatu. Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Mesin UMS, Agustus 2009, Surakarta.
- Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine ( Type OAT- U). Instruction Manual. Tokyo Testing Machine MFG. Co., Ltd. Japan.
- Setiawan, Irfan, 2009, Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Ketahanan Kampas Rem Gesek Sepatu. Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Mesin UMS, Agustus 2009, Surakarta.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Tembaga>.
- [www.rpmracingplus.com](http://www.rpmracingplus.com)

## PENGGUNAAN ANALISIS DIMENSIONAL TEOREMA $\pi$ BUCKINGHAM PADA PENYELIDIKAN PENGARUH KEKERASAN MATERIAL UNTUK MENENTUKAN KEMUDAHAN PROSES *ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING*

Nidia Lestari<sup>1</sup>, Muslim Mahardika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND  
Jalan Kalisahak No. 28 Yogyakarta

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada  
Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta

### ABSTRACT

*The ease of machining a workpiece by Electrical Discharge Machining (EDM) processes is determined by  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  theory. Base on  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  theory, the ease of EDM process is determined by thermal conductivity ( $\lambda$ ), melting temperature ( $\theta$ ), and electrical resistance of a material ( $\rho$ ), where the ease of EDM process is assumed proportional to the total energy of discharge pulses ( $E_t$ ). The advantage of using EDM is all of very hard material that can be processed. However, from  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  theory is needed the different energy to process 12 types of workpiece material. The case of this research is dimensional analysis of Buckingham  $\pi$  theorem relationship between the variables  $\lambda$ ,  $\theta$ ,  $\rho$  and a hardness physical properties material. EDM process is inseparable from the effect of voltage and capacitance. The result of the process causes the stochastic thermal ionization. Performance of a material related with the melting point of the material. When the material's melting point is reached there will be a movement of atoms which causes dislocations and residual stresses in the material. The results indicate that there is a positive correlation coefficient between hardness and  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  theory to determine the ease of EDM process. By using the Buckingham  $\pi$  theorem, mathematical formula between hardness and  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  theory has been established.*

**Keyword :** electrical discharge machining; Buckingham  $\pi$ ; teori  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ ; hardness

### PENDAHULUAN

*Electrical Discharge Machining (EDM)* telah berkembang pada tahun 1943. EDM terkenal dalam hal kemampuannya untuk membuat bentuk kompleks pada logam-logam yang sangat keras. Penggunaan yang umum untuk Mesin EDM adalah dalam pembuatan *dies* perkakas potong dan cetakan (*molds*) yang terbuat dari baja yang telah dikeraskan, *tungsten carbide*, *high speed steel*, dan material lain. Mesin EDM juga dapat memproses ukuran produk yang sangat kecil (*micro machining*) yang tidak mungkin dikerjakan dengan metode konvensional. *Removal material* benda kerja dilakukan oleh loncatan bunga api (*spark*). *Material removal rate*-nya sekitar  $0.3 \text{ cm}^3/\text{min}$  dengan *overcut* 0,020 mm sampai 0,63 mm. Proses permesinan non-konvensional ini tidak ada kontak langsung antara pahat dengan benda kerja, sehingga keausan pahat jadi sangat kecil.

EDM merupakan suatu proses permesinan non-konvensional di mana pelepasan material terjadi karena adanya loncatan listrik yang melalui *tool electrode* ke benda kerja melalui cairan dielektrik. Keuntungan dari EDM adalah ketidakbergantungannya kekerasan sebuah material benda kerja untuk diproses. Semua material dapat di *machining* selama material tersebut bersifat konduktor, seperti: baja, baja paduan, grafit, material keramik (Ho dan Newman, 2003; Mahardika dkk., 2008). Berdasarkan teori  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  kemudahan proses EDM ditentukan oleh konduktivitas termal ( $\lambda$ ), temperatur titik leleh ( $\theta$ ), dan tahanan listrik sebuah material ( $\rho$ ) (Mahardika, 2008). Teori ini lebih baik daripada teori sebelumnya yaitu teori  $\lambda \cdot \theta$  (Mohri dkk, 2003).

Pendekatan dengan menggunakan analisis dimensi teorema  $\pi$  Buckingham menghasilkan suatu  $\pi$  yang tidak berdimensi yang dapat mewakili ekspresi dari beberapa variabel dengan cara menunjukkan hubungan bagian-bagian variabel tersebut dalam sebuah persamaan (Buckingham, 1914).

Studi kasus dari penelitian ini adalah menganalisa secara dimensional hubungan antara teori  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  dengan kekerasan sebuah material sehingga didapatkan sebuah persamaan hubungan antara variabel  $\lambda$ ,  $\theta$ , dan  $\rho$  dengan energi yang dibutuhkan selama proses EDM dalam kaitannya dengan kemudahan permesinan pada EDM.

**METODE PENELITIAN**

Ada 12 jenis material uji yang digunakan: *aluminium* (AL), *brass* (Br), *cooper* (Cu), *steel* (Fe), *molybdenum* (Mo), *nickel* (Ni), *platinum* (Pt), *silver* (Ag), *stainless steel* (SS), *tantalum* (Ta), *titanium* (Ti), *tungsten* (W). Diameter benda kerja 300 μm. *Tungsten-silver* (Ag-W) dengan dimensi 10 mm × 10 mm × 1,2 mm sebagai *tool electrode* nya. Ag-W digunakan karena ketahanannya dan banyak digunakan di industri. *Melting point* nya 3683 K, *thermal conductivity* 160 W/m.K dan *electrical resistivity*  $3.52 \times 10^{-6}$  ohm.cm. Kedalaman potong permesinan 100 μm, dengan tegangan 110 V, kapasitansi 3300 pf dan *feed rate* 5 μm/s.

Teori  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  digunakan dalam menentukan sulit atau mudahnya suatu material diproses dengan EDM dan energi yang digunakan dalam memproses benda kerja dinyatakan dalam hubungan:

$$E \approx \lambda \cdot \theta \cdot \rho \dots\dots\dots (1)$$

semakin kecil hasil nilai  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  suatu material maka semakin kecil energi yang dibutuhkan untuk memproses material tersebut.

**Tabel 1.** Kemudahan permesinan dari 12 material berbeda berdasarkan Teori  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ .

No	Material	$\lambda$ (W/mK)	$\theta$ (K)	$\rho$ (Ωcm)	$\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ (WΩ)
1	Al (aluminum)	210	934	2.30E-06	4.51E-03
2	Ag (silver)	419	1235	1.55E-06	8.02E-03
3	Br (brass)	109	1173	7.00E-06	8.95E-03
4	Cu (copper)	401	1356	1.70E-06	9.24E-03
5	Ni ( nickel)	60.7	1728	1.10E-05	1.15E-02
6	Fe (steel)	76.2	1808	9.70E-06	1.34E-02
7	Pt (platinum)	69.1	2042	1.06E-05	1.50E-02
8	Ti (titanium)	17	1943	5.54E-05	1.83E-02
9	SS (stainless steel)	16	1694	7.20E-05	1.95E-02
10	Ta (tantalum)	54.4	3269	1.25E-05	2.22E-02
11	Mo (molybdenum)	138	2890	5.70E-06	2.27E-02
12	W (tungsten)	163.3	3643	5.65E-06	3.36E-02

Teorema  $\pi$  Buckingham merupakan salah satu cara menghasilkan set parameter berdimensi. Dengan melakukan analisis dimensional sebuah basis untuk ruang vektor yang diberikan simbol dimensi disebut satu set unit fundamental atau dimensi mendasar. Dimensi mendasar seperti M, L, dan T.

$$M^i L^j T^k \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan (2) merupakan contoh dimensi sesuai dengan vektor (i, j, k). Ketika dijumlah, dikalikan atau dibagi dengan yang lain, unit dimensi mereka juga dikalikan atau dibagi, hal ini sesuai dengan penambahan atau pengurangan dalam ruang vektor.

Masing-masing parameter  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  harus didefinisikan terlebih dahulu dalam bentuk dimensi dasar. Perhitungan  $\lambda$  ditentukan oleh:

$$\lambda = \alpha \cdot C_p \cdot d \dots\dots\dots (3)$$

dimana  $\alpha$  merupakan thermal diffusion coefficient,  $c_p$  merupakan *heat capacity*, dan  $d$  merupakan *density*. Dimensi dasar masing-masing variabel pada parameter  $\lambda$  adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{L^2}{T} \dots\dots\dots (4)$$

$$c_p = \frac{L^2}{T^2 \theta} \dots\dots\dots (5)$$

$$d = \frac{M}{L^3} \dots\dots\dots (6)$$

Sedangkan dimensi dasar  $\theta$  dan  $\rho$  adalah

$$\theta = \theta \dots\dots\dots (7)$$

$$\rho = \frac{ML^3}{T^3 I^2} \dots\dots\dots (8)$$

Untuk melihat keterkaitan kekerasan dengan teori  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ , kekerasan ( $H_v$ ) pun harus didefinisikan dimensi dasarnya.

$$H_v = \frac{M}{LT^2} \dots\dots\dots (9)$$

Selanjutnya dimensi dasar dari variabel-variabel di atas dimasukkan dalam matrik dimensional dengan ketentuan variabel fisik sebagai kolom, dan dimensi dasar sebagai baris seperti terlihat pada persamaan (10)

	$H_v$	$\alpha$	$c_p$	$d$	$\theta$	$\rho$
$M$	1	0	0	1	0	1
$L$	-1	2	2	-3	0	3
$T$	-2	-1	-2	0	0	-3
$\theta$	0	0	-1	0	1	0
$I$	0	0	0	0	0	-2

..... (10)

Sehingga, konstanta dimensional dari teorema  $\pi$  Burckingham nantinya didapat dalam bentuk

$$\pi = H_v^{a_1} \alpha^{a_2} c_p^{a_3} d^{a_4} \rho^{a_5} \theta^{a_6} \dots\dots\dots (11)$$

Untuk mendapatkan vektor

$$a = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6] \dots\dots\dots (12)$$

dibutuhkan produk matrik M atas hasil vektor nol. Dalam aljabar linear, vektor ini dikenal sebagai Kernel dari matriks dimensi. Matrik Kernel berupa  $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6) \in R^6$  di mana:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 2 & 2 & -3 & 0 & 3 \\ -2 & -1 & -2 & 0 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (13)$$

Matrik M dieliminasi dengan metoda Gauss-Jordan sehingga didapat matrik *reduced row echelon form*:

$$\left[ \begin{array}{cccccc|c} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right] = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (14)$$

Dalam persamaan Linear ditulis:

$$a_1 + a_5 = 0 \dots\dots\dots (15)$$

$$a_2 = 0 \dots\dots\dots (16)$$

$$a_3 - a_5 = 0 \dots\dots\dots (17)$$

$$a_4 - a_5 = 0 \dots\dots\dots (18)$$

$$a_6 = 0 \dots\dots\dots (19)$$

Dari penyelesaian persamaan Linear di atas, nilai Kernel dari matriks telah dapat ditentukan, yaitu:

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (20)$$

konstanta dimensi dari teorema Buckingham  $\pi$  untuk kekerasan didapat dalam bentuk:

$$\pi = Hv^{-1} \cdot \alpha^0 \cdot c_p^1 \cdot d^1 \cdot \theta^1 \cdot \rho^0 \dots\dots\dots (21)$$

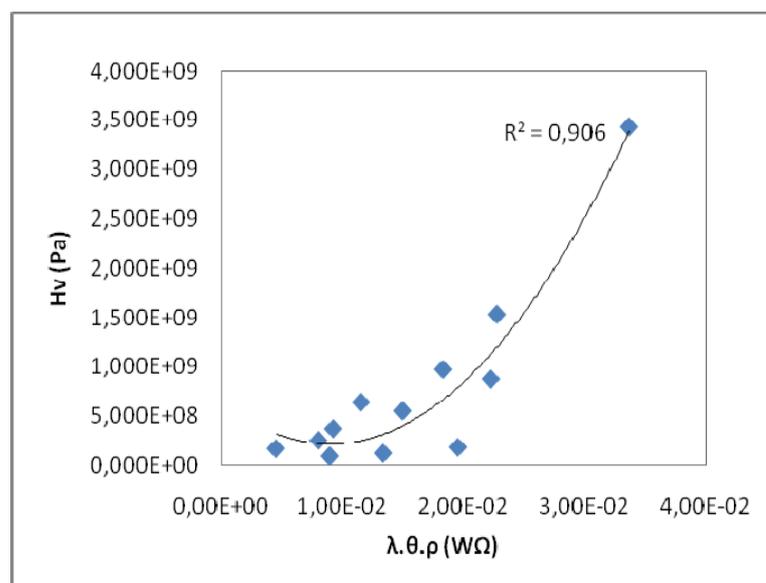
$$Hv = c_p \cdot d \cdot \theta \dots\dots\dots (22)$$

Jika diuraikan persamaan (22), maka didapatkan satuan  $Hv$  (kekerasan) sama dengan satuan hasil perkalian antara  $c_p \cdot d \cdot \theta$ .

$$\frac{M}{LT^2} = \frac{M}{T^2 L} \dots\dots\dots (23)$$

**Tabel 2.** Data kekerasan 12 material berdasarkan urutan

No	Material	$\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ (W $\Omega$ )	Hv (pa)
1	Al (aluminum)	4.51E-03	1.67E+08
2	Ag (silver)	8.02E-03	2.51E+08
3	Br (brass)	8.95E-03	9.10E+07
4	Cu (copper)	9.24E-03	3.69E+08
5	Ni (nickel)	1.15E-02	6.38E+08
6	Fe (steel)	1.34E-02	1.20E+08
7	Pt (platinum)	1.50E-02	5.49E+08
8	Ti (titanium)	1.83E-02	9.70E+08
9	SS (stainless steel)	1.95E-02	1.80E+08
10	Ta (tantalum)	2.22E-02	8.73E+08
11	Mo (molybdenum)	2.27E-02	1.53E+09
12	W (tungsten)	3.36E-02	3.43E+09



**Gambar 1.** Hasil koefisien determinasi analisis teorema  $\pi$  Buckingham dengan kekerasan

## PEMBAHASAN

Dari analisis dimensional yang telah dilakukan, diketahui bahwa ada beberapa variabel yang menghubungkan antara Teori  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$  dengan kekerasan, yaitu *heat capacity* ( $c_p$ ), *density* ( $d$ ), dan *melting point* ( $\theta$ ) dari sebuah material. Logam yang memiliki titik leleh tinggi, kekuatan ikatan logamnya lebih kuat dan laju keausannya pun rendah (Kapoor, 2012) dan tentunya berkaitan erat dengan *metallic bonding* sebagai bentuk pengaruh dari *density* sebuah material.

Jika salah satu dari 12 material tersebut dijadikan sebagai *tool electrode*-nya, maka dengan mengetahui nilai koefisien determinasi antara kekerasan dengan teori  $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ , maka efisiensi permesinan dengan EDM dapat tercapai. Seperti dalam menentukan kedalaman potong pada saat permesinan. Jika Cu digunakan sebagai *tool electrode*-nya, maka kedalaman potong pada saat permesinan tidak akan jauh meleset dari pengaturan awal kedalaman potong dibandingkan jika menggunakan Al. Hal ini disebabkan karena Cu lebih keras dari pada AL. Dengan kata lain laju keausan Al lebih tinggi dibandingkan Cu.

## **KESIMPULAN**

Dengan mengetahui nilai kekerasan material baik itu sebagai benda kerja maupun *tool electrode*, laju keausan material tersebut dapat diprediksi yang akan berdampak pada keefisienan waktu dalam memasukan nilai parameter pemotongan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Berghausen, P.E., Brettschneider, H.D., Davis, M.F., 1963, Electro Discharge Machining Program, The Cincinnati Milling Machine Co., Document AD0423199 for the US Department of Commerce.
- Buckingham, E., 1914, On physically Similar Systems, Illustrations of the Use of Dimensional Equations, *Physical Review*, Vol. 4, pp. 345-376.
- Ho, K.H., Newman, S.T., 2003, State of the Art Electrical Discharge Machining (EDM), *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, pp. 1287-1300.
- Kapoor, S., Liu, R., Wu, X.J., Yao, M.X., 2012, Temperature-Dependence of Hardness and Wear Resistance of Stellite Alloys, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 67.
- Mahardika, M., Tsujimoto, T., Mitsui, K., 2008, A New Approach on the Determination of Ease of Machining by EDM Processes, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 48, pp. 746-760.
- Mohri, N., Fukusima, Y., Fukuzawa, Y., Tani, T., Saito, N., 2003, Layer Generation Process on Work-Piece in Electrical Discharge Machining, *Annals of the CIRP*, Vol. 52/1, pp. 157-160.
- Mohri, N., Suzuki, M., Furuya, M., Saito, N., 1995, Electrode Wear Process in Electrical Discharge Machining, *Annals of the CIRP*, Vol. 44/1, pp. 165-168.

## ANALISIS GETARAN PADA BANTALAN LUNCUR YANG DIKIBATKAN OLEH PENGARUH KEKENTALAN PELUMASAN

Noor Eddy<sup>1</sup>, Andriyansa<sup>2</sup>, Arifin Halim<sup>3</sup>, R. Wibawa Purbaya<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti; <sup>4</sup>BPPT, PUSPITEK UPT-LAGG  
e-mail :<sup>1</sup>nooredy.mi@gmail.com

### ABSTRACT

To maximize the production in industry that demanding all machines equipment to work continuously, the machine condition should be well maintained. Vibration analysis is one of the most effective and efficient way to analyze the machine condition. All industrial rotary machineries are using sliding bearing to support their shaft. This research used oil pump Aqua DB125 with 3 phases 4 HP electric motor, 3 phases inverter Mitsubishi Freqrol E500 and 2 sliding bearing made from bronze Babbitt material with outer and inner diameter of 57 and 49 mm. Vibrations of bearings are measured using sensor accelerator which will be received by digital signal analyzer. The signal data then translated using fast fourier transform method software that changes time to frequency domain. The analyses are held with 17 different machine rotations from 900 to 4300 rpm with 2 kinds of lubrication that are SAE30 and SAE40. The result reveals that vibration in sliding bearing using SAE40 lubricant is lower than SAE30. The frequency amplitude for bearing using SAE 30 lubricant is  $14.375 \text{ m/s}^2$  while SAE 40 only reaches  $9.108 \text{ m/s}^2$ . Oil whirl appears in 1600 rpm and develops to oil whip in 4200 rpm. Transformation from oil whirl to oil whip is estimated happening in 0.45 times rpm.

**Keywords :** vibration, sliding bearing, velocity, viscosity, digital signal analyzer, fast fourier transform, oil whirl, oil whip

### PENDAHULUAN

Dalam industri, terutama mesin produksi umumnya bekerja secara terus menerus. Diperlukan suatu kondisi mesin yang baik agar hasil produksi dapat maksimal. Salah satu usaha untuk menjaga agar mesin bekerja optimum adalah dengan perawatan mesin. Salah satu cara paling efektif dan efisien untuk mengetahui kondisi mesin adalah dengan menganalisis getarannya, karena mesin yang menunjukkan gejala kerusakan akan menghasilkan sinyal getaran yang tidak biasa (Rahindradi Puntho, 2007).

Mesin-mesin rotasi tinggi dalam industri umumnya menggunakan bantalan luncur sebagai penopang porosnya. Bantalan luncur memiliki karakteristik getaran yang khas pada saat beroperasi. Salah satu Karakteristik yang timbul pada bantalan luncur adalah oil whirl. Oil Whirl dapat dideteksi dengan melihat pola frekuensinya dan melihat orbit dari poros yang ditumpu bantalan luncur (Rahindradi Puntho, 2007).

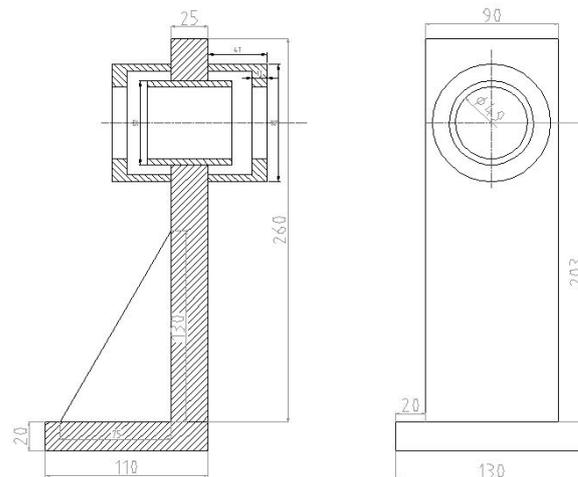
Bantalan luncur (*journal bearings*) sangat luas penggunaannya pada mesin-mesin yang memiliki elemen berputar (*rotating machines*), seperti turbin uap, generator, blower, kompresor, motor bakar, poros kapal laut, bahkan sebagai bantalan pada elemen yang seharusnya menggunakan bantalan gelinding *rolling elements bearing*. Hal tersebut karena bantalan luncur lebih baik dari bantalan gelinding (pada parameter yang dapat dianggap sama) dalam hal penyerapan getaran, tahanan terhadap gaya kejut, relatif tidak bising, dan umurnya lebih panjang. Semua karakteristik ini disebabkan oleh prinsip pelumasan bantalan luncur yang menggunakan lapisan tipis minyak pelumas saat menumpu poros. Tentu saja hal tersebut tidak lepas dari teknik desain dan pemilihan material yang terus dikembangkan. Masalah-masalah yang sering menyebabkan getaran pada suatu mesin *rotary* antara lain ketidakseimbangan (*unbalance*) elemen rotasi, ketidaklurusan (*misalignment*) pada kopling dan bearing, eksentrisitas (*eccentricity*), cacat pada bantalan antifriksi (*faulty antifriction bearing*), kerusakan pada bantalan sleeve (*sleeve bearing*), kelonggaran mekanik (*mechanical looseness*), buruknya sabuk penggerak (*faulty drive belt*), kerusakan roda gigi (*gear problem*), masalah listrik (*electrical problem*), resonansi (*resonance*), gaya aerodinamika (*aerodynamic and hydraulic forces*), gaya reciprocating (*reciprocating forces*), dan gesekan (*rubbing*) (IRD Entek, 1996).

Pada bantalan luncur untuk mengurangi gesekan di antara bagian yang berputar digunakan minyak pelumas dan ini mengurangi keausan, panas, dan kerugian daya gesekan. Meskipun lapisan minyak akan mengurangi gesekan persentuhan antara metal ke metal tetapi gesekan pada lapisan minyak harus diperhitungkan di antara alat bagian yang berputar. Koefisien gesekan antara material bantalan dengan material poros jauh lebih besar dibandingkan dengan gesekan antara lapisan minyak.

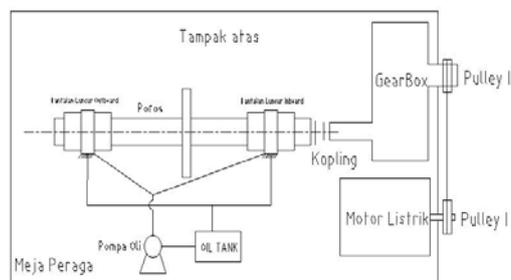
Faktor lain yang mempengaruhi gesekan adalah ukuran bantalan luncur, putaran, beban, dan temperatur operasi. Karena itu kerugian daya gesekan bantalan luncur dipengaruhi oleh banyak faktor yang harus dimasukkan ke dalam perhitungan (Surbakti: 2009).

## METODE PENELITIAN

Perancangan Model Penelitian. Pada penelitian ini akan dirancang suatu simulasi bantalan luncur yang bisa diaplikasikan kedalam *equipment-equipment* seperti pompa dan kompresor yang merupakan bentuk sederhana dari *equipment* di bidang industri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis spektrum getaran yang ditimbulkan pada bantalan luncur (*sliding bearing*) dengan pengaruh kecepatan aliran dan kekentalan pelumasannya.



Gambar 1. Perancangan bantalan luncur beserta dudukannya

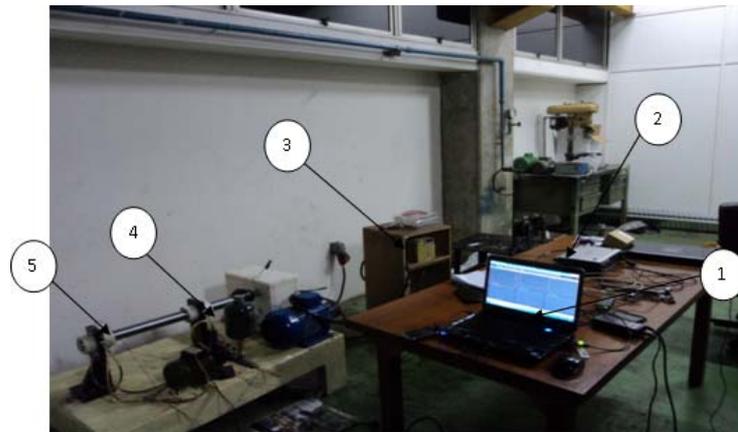


Gambar 2. Perancangan model uji penelitian

Model Penelitian terdiri atas: 1) motor listrik tiga phase dengan daya output 4 hp; 2) roda gigi dan gearbox; 3) pompa Oli serta Tanki Oli; 4) bantalan luncur beserta dudukannya. Perangkat penelitian: 1) Sensor *Accelerometer*; 2) *Inverter*; 3) *Digital signal Analyzer* “OnoSokki”; 4) Perangkat Komputer beserta *software* “OnoSokki”



Gambar 3. *Digital signal analyzer* dan Perangkat computer



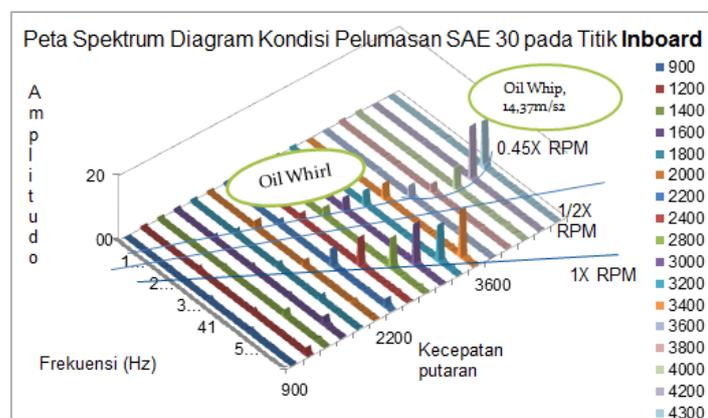
**Gambar 4.** Set-up pengujian Keterangan gambar: 1) Perangkat komputer dengan *software* DSA; 2) *Digital signal analyzer*; 3) *Inverter*; 4) Model Penelitian; 5) Sensor *Accelerometer*

Langkah-langkah dalam mempersiapkan *set-up* pengujian: 1) pastikan sensor *Accelerometer* telah tersambung pada *digital signal analyzer* dengan baik; 2) hubungkan kabel main power motor listrik pada *inverter*; 3) hubungkan kabel power *inverter* ketegangan listrik 3 phase; 4) aktifkan *inverter* dengan mengarahkan saklar yang terdapat pada belakang *inverter* ke posisi “On”; 5) aktifkan *Digital signal analyzer* “OnoSokki”; 6) letakan sensor *Accelerometer* pada posisi yang sudah ditentukan untuk pengujian; 7) aktifkan Perangkat komputer beserta *software* “OnoSokki”; 8) susun jalur-jalur kabel dengan baik agar tidak mengganggu pada saat pengujian dilakukan; 9) periksa kembali semua langkah-langkah di atas.

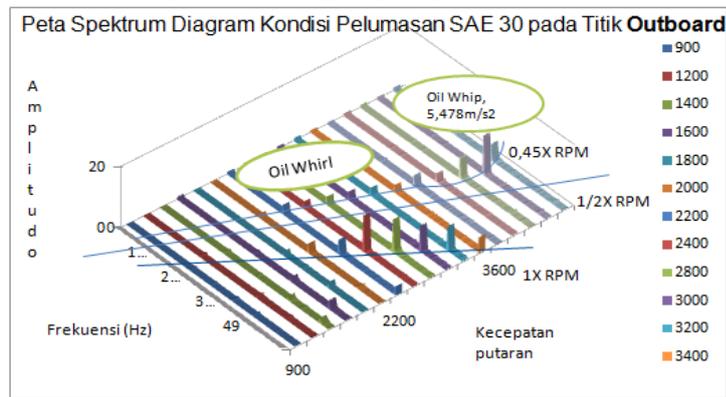
## PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan menguji sistem getaran pada lima kecepatan yang berbeda pada bantalan luncur dengan kondisi pelumasan yang bervariasi mulai dari kekentalan dan kecepatan alirannya. Pembahasan data hasil spektrum getaran dilakukan dengan kecepatan putaran 1200 rpm sampai dengan 4300 rpm yang diatur dengan menggunakan *inverter* dan untuk melihat kecepatan putaran yang sesungguhnya pada poros *output* menggunakan *stroboscope*.

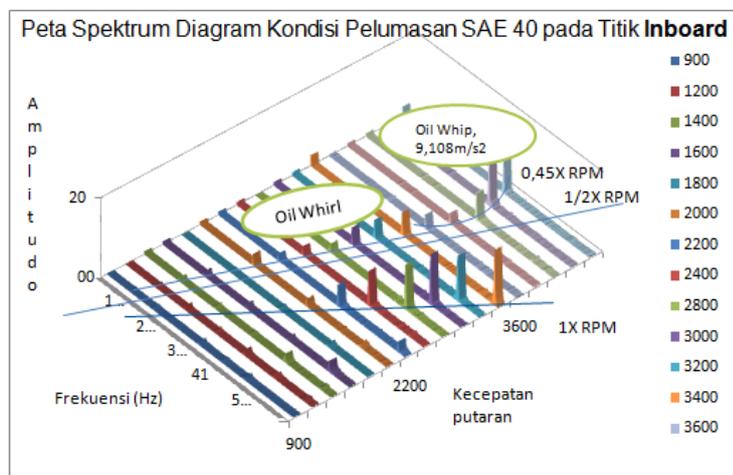
Pembahasan data hasil pengamatan spektrum getaran yang menggunakan perbandingan pada pelumasannya yaitu SAE 30 dan SAE 40. Berdasarkan sumber-sumber yang ada, salah satunya buku yang berjudul *Vibratory Condition Monitoring Of Machines* (Rao, J.S :2000), *frekuensi oil whirl* berada pada range 0,42-0,48 X RPM. Dengan asumsi pengambilan data menggunakan pada 0,48 X RPM, sehingga dapat diambil data untuk penentuan penelitian yaitu: data yang telah diketahui yaitu pada kecepatan putar 1200 rpm. Frekuensi *oil whirl* literatur,  $f = 1200/60 \times 0,48 = 9,6 \text{ Hz}$  pada kecepatan putar 2800 rpm. Frekuensi *oil whirl* literatur,  $f = 2800/60 \times 0,48 = 22,4 \text{ Hz}$  pada kecepatan putar 4300 rpm. Frekuensi *oil whirl* literatur,  $f = 4300/60 \times 0,48 = 34,4 \text{ Hz}$ .



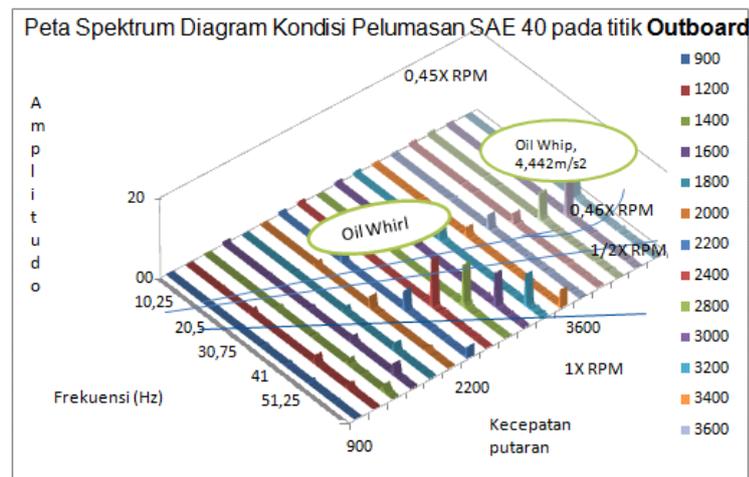
**Gambar 5.** Peta spektrum diagram kondisi pelumasan SAE 30 Inboard



Gambar 6. Peta spektrum diagram kondisi pelumasan SAE 30 Outboard



Gambar 7. Peta spektrum diagram kondisi pelumasan SAE 40 Inboard



Gambar 8. Peta spektrum diagram kondisi pelumasan SAE 40 Outboard

Peta spektrum diagram berguna untuk melihat kondisi pemodelan dengan berbagai kecepatan putaran yaitu mulai dari kecepatan putaran 900 rpm sampai dengan 4300 rpm. Pada gambar 5 peta spektrum diagram kondisi pelumas SAE 30 inboard dapat dilihat bahwa *oil whirl* mulai muncul pada kecepatan putaran 1600 rpm dan *oil whirl* berkembang menjadi *oil whip* ketika kecepatan putaran mencapai 4200rpm dan pada kondisi pelumas SAE 40 inboard *oil whirl* muncul pada kecepatan putaran yang sama namun terdapat perbedaan dari hasil puncak amplitudonya yaitu 14,37 m/s<sup>2</sup> pada pelumasan SAE 30 dan 9,108 pada pelumasan SAE 40. *Oil whirl* yang berkembang menjadi *oil whip* diperkirakan

berada pada 0,45x rpm. Gambar 7 peta spektrum diagram kondisi pelumasan SAE 40 inboard dapat dilihat bahwa kondisi pemodelan terjadi *unbalance* karena terdapat amplitudo pada 1XRPM dan besarnya amplitudo berbanding lurus dengan kecepatan putarannya, semakin tinggi kecepatan putarannya semakin tinggi pula nilai amplitudonya.

**Tabel 1.** Amplitudo hasil pengambilan data pada pelumasan SAE 30

Kecepatan Putaran (rpm)	Inboard (m/s <sup>2</sup> )	Outboard (m/s <sup>2</sup> )
1200	0,506	0,102
1800	1,605	0,145
2800	3,21	2,74
3400	4,243	2,44
4300	14,375	5,478

**Tabel 2** Amplitudo hasil pengambilan data pada pelumasan SAE 40

Kecepatan Putaran (rpm)	Inboard (m/s <sup>2</sup> )	Outboard (m/s <sup>2</sup> )
1200	0,201	0,105
1800	1,557	0,191
2800	2,175	2,049
3400	5,66	2,312
4300	9,108	4,442

## KESIMPULAN

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

1. Menggunakan 17 tingkat kecepatan putaran yang menjadi variabel pengambilan data mulai dari kecepatan putaran 900 rpm sampai dengan 4300 rpm untuk membuat peta spektrum berdasarkan amplitudo, kecepatan putaran dan frekuensi.
2. Pada dua kondisi pelumasan dapat menyimpulkan bahwa bantalan luncur yang menggunakan kondisi pelumas SAE 40 getarannya jauh lebih kecil daripada yang menggunakan pelumas SAE 30 dengan nilai amplitudo pada SAE 30 mencapai puncak peak amplitudo pada 14,375 m/s<sup>2</sup> sedangkan pada SAE 40 hanya mencapai 9,108 m/s<sup>2</sup>
3. *Oil whirl* muncul pada kecepatan putaran 1600 rpm dan berkembang menjadi *oil whip* pada kecepatan putaran 4200 rpm, *oil whirl* yang berkembang menjadi *oil whip* diperkirakan berada pada 0,45x rpm.
4. Hasil kegiatan eksperimen dibanding dengan hasil teoritis memiliki penyimpangan kurang dari 10%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti
2. Laboratorium Aero Gasdinamika dan Getaran (LAGG) BPPT
3. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti

## DAFTAR PUSTAKA

- Andriyansa. 2013. "Analisis Vibrasi Kompresor 16-K-101 Pada Unit ResidueCatalytic Cracking (RCC)". Jakarta: Laporan Kerja Praktek.
- Aplikasi Predictive Maintenance pada Transmisi Roda Gigi dan Bantalan dengan Analisis Spektrum Getaran, Disajikan pada seminar Nasional 'PEMBENTUKAN SIKAP ILMIAH Melalui Kegiatan Presentasi Karya Ilmiah, ISBN : 979-957552-2-2, UNTAR, September 2001.
- Charlotte, P.C. 2001. "Technical Associates Level I". Jakarta: Vibration Manual
- Courtney, Stuart dan Allan Todd. 2009. "Journal Bearing Vibration". California : Application Note
- Kulkarni, Sanjeev R. 2002. "Frequency Domain and Fourier Transforms".
- Mobley, R. Keith. 2002. An Introduction to Predictive Maintenance (Second ed.). Heinemann.
- Mukti. 2013. Bantalan dan Sistem Pelumasan. Jakarta: PDF Bahan Ajar Tentang Bantalan.
- Noor Eddy, Pemanfaatan Soundblaster AWE 32 dan MATLAB untuk Analisis Peta spektrum cacat lokal pada Bantalan Roller – Jurnal Ilmiah POROS, ISSN 1410-6841 Volume 2, No. 1 Januari 1999.
- Noor Eddy, Identifikasi Cacat Lokal pada Bantalan Rol Menggunakan Spektrum Getaran dengan Bantuan Soundblaster dan Paket Program MATLAB – Jurnal Ilmiah MESIN, ISSN 1411-1330, Volume 2, No. 1 Januari 2000.
- Noor Eddy, Mencari Frekuensi Oil Whirl pada Bantalan Luncur dengan Analisis Getaran. – Jurnal Ilmiah Terakreditasi No. 395 / DIKTI/ KEP/ 2000, POROS, ISSN 1410-6841, Volume 4, No. 2, April 2001.
- Noor Eddy, Kaji eksperimental untuk mendeteksi gejala awal ketidakstabilan induksi fluida pada mesin-mesin rotasi. – Jurnal Ilmiah Terakreditasi No. 02/Dikti/Kep/2002, MESIN, ISSN 1411 – 1330, Volume 6, No. 2, Mei 2004.
- Noor Eddy, Pengujian eksperimental bantalan luncur untuk memprediksi adanya ketidakstabilan induksi fluida, imbalance dan misalignment dengan analisis spektrum getaran dan orbit. – Jurnal Ilmiah Terakreditasi No. 23a/Dikti/Kep/2004, POROS, ISSN 1410-6841, Volume 8, No. 3 Juli 2005.
- Noor Eddy, Analisis getaran untuk mengetahui karakteristik komponen - komponen suatu mesin rotasi. Seminar Nasional Mesin dan Industri ( SNMI ) 2005, "Riset Aplikasi Bidang Teknik Mesin Dan Industri", Jakarta 27 – 28 September 2005, ISBN : 979 - 95752 - 5 – 7, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara Jakarta.
- Noor Eddy, Analisis Fenomena Oil Whirl pada Sistem Poros Rotor Ganda. Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI3) 2007. ISBN : 978-979-95752-7-2. Jakarta 11 September 2007.
- Saptono. 2010. "Machinery Vibration Diagnostics". Jakarta : PPT Vibrasi
- Rao, J.S. 2000. Vibratory Condition Monitoring Of Machines. India : CRC Pr I Llc
- Riyanto, Sugeng. d.k.k. 2009. "Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation in Time (DIT) Dengan Resolusi 1/10 Hertz". FMIPA UNY. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Romas dan Pertamina. 2010. "Training Manual Rotating Machinery Analysis". Bandung: PDF Training.
- Y. W. Lee, T. P. Cheatham, Jr., and J. B. Wiesner (1949). The Application of Correlation Functions in the Detection of Small Signals in Noise, MIT Research Laboratory of Electronics, Technical Report No. 141.
- <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-13161-2499100079-Chapter1.pdf/02/01/2014>
- <http://mysuhadi.blogspot.com/2008/04/time-domain-concept.html/16/01/2014>
- [http://mechanicalbrothers.wordpress.com/2011/01/23/oil-whirl-oil-whip/\(25/01/2014\)](http://mechanicalbrothers.wordpress.com/2011/01/23/oil-whirl-oil-whip/(25/01/2014))

## GAYA DORONG PADA AKTUATOR ELEKTROMAGNETIK SILINDRIS

Sigit Iswahyudi<sup>1</sup>, Wandu Arnandi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang

e-mail : <sup>1</sup>sigit\_iswahyudi@yahoo.com, <sup>2</sup>wandiarnandi@utm.ac.id

### ABSTRACT

*The use of electromagnetic actuator as thrust element was studied. The prototype ability was tested in producing thrust. The prototype has three main parts. The first was used to generate magnetic field, the second was used to flow magnetic flux and the third was used to generate thrust. The thrust of the prototype was tested by measuring the change of its weight in four modes. Mode 1: the voltage of the field generator was "on" and the voltage of the thrust generator was "off", mode 2: the voltage of the field generator and the thrust generator were "off", mode 3: the voltage of the field generator was "on" and the voltage of the thrust generator was "off", mode 4: the voltage of the field generator and the thrust generator "off". The last three mode were conducted in series and started when the preliminary mode reach its stability. The voltage of the field generator was maintained constantly at 12 V, but the voltage of the thrust generator was varied from 3 V, 6 V, 9 V and 12 V.*

*The results show that the prototype was able to generate impulsive thrust. In each measurement mode, there was a maximum value of thrust.*

**Keywords:** electromagnetic actuator, thrust, translation work

### PENDAHULUAN

Alat transportasi memiliki sistem penggerak untuk mengubah energi dari pembangkit menjadi kerja translasi. Proses ini pada umumnya melalui gerak putar elemen-elemen pada sistem sebelum kerja translasi diperoleh. Perputaran elemen selalu melibatkan gesekan dan membutuhkan pelumasan yang baik agar transfer energi berlangsung secara efisien. Jika fase perputaran elemen dikurangi maka efisiensi transfer energi dapat ditingkatkan.

Usaha-usaha telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sistem pemindah tenaga pada sistem transportasi. Pemanfaatan motor listrik sebagai sumber gerak rotasi yang diperoleh secara langsung dari energi kinetik elektron menjadi pilihan yang mudah karena teknologi ini sudah cukup matang sebagai penerapan persamaan Maxwell dalam membangkitkan gaya Lorentz. Pengembangan teori Maxwell lebih lanjut ke medan tensor bentuk simetri lebih tinggi dengan memanfaatkan teori *topology, group and gauge* membuka arah baru dalam pengembangan sumber daya dan propulsi elektromagnetik (Froning dan Barrett, 2011). Desain yang memanfaatkan teori ini misalnya secara teoritis dikembangkan teknologi kendaraan yang memiliki kecepatan sangat tinggi dengan magnetisme sebagai pendorong utamanya (Murad, 2000), dan pemanfaatan arus Eddy dalam medan magnet alam untuk transportasi di darat dan air pada ketinggian yang rendah (Pulatov, 2005). Dalam hal peluncuran roket dan pesawat ruang angkasa, suatu konsep pemanfaatan magnetisme dikembangkan oleh Bolonkin (2009). Elektromagnetisme merupakan konsep yang diharapkan dapat menjawab ketersediaan sistem pendorong yang kuat dan efisien.

Suatu langkah awal telah dilakukan untuk memanfaatkan teori ini ke ranah praktis dalam membangkitkan gaya dorong secara langsung untuk menghasilkan kerja translasi tanpa melibatkan gerak rotasi namun hasilnya masih jauh dari harapan (Arnandi dan Iswahyudi, 2013). Penelitian tersebut dibatasi pada pembangkitan gaya Lorentz yang mirip pada motor listrik untuk menghasilkan gaya dorong melalui rancangan konfigurasi pengaliran fluks elektromagnetik dan kawat yang dialiri arus listrik.

Dalam pembahasan ini, usaha lanjutan untuk memperoleh gaya dorong secara langsung dari suatu sistem aktuator elektromagnetik dibuat. Suatu prototipe berbentuk silinder yang dirancang berdasarkan teori pembangkitan gaya Lorentz diuji kemampuannya untuk menghasilkan gaya dorong secara langsung.

### METODE PENELITIAN

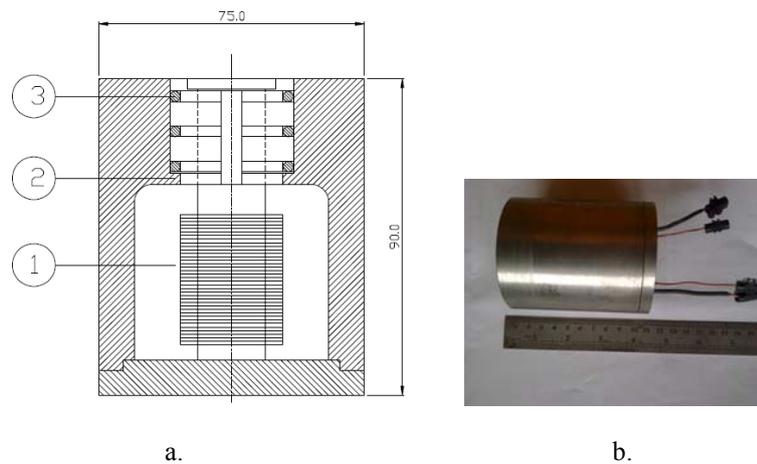
Prototipe aktuator elektromagnetik dibuat berbentuk silinder. Prototipe memiliki tiga bagian utama yang terdiri dari bagian pembangkit medan magnet, bagian pengalir fluks magnet dan bagian pembangkit gaya dorong. Bagian pembangkit medan dibuat dari lilitan tembaga berdiameter 1 mm sebanyak empat lapis di mana tiap lapisan terdiri dari 37 lilitan. Bagian pengalir fluks berbentuk silinder dibuat dari bahan baja ST 60 berdiameter 75 mm dan tingginya 90 mm. Bagian pembangkit

gaya dorong dibuat dari lilitan kabel yang terdiri dari tiga lilitan dengan diameter efektif 32 mm. Data teknis lain yang berhubungan dengan kelistrikan aktuator di daftar pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi spesimen

No	Nama Spesimen	Spesifikasi
	Aktuator elektromagnetik (Gambar 1)	$R_f = 0,3\Omega$ , $R_m = 0,5\Omega$ $R_{f\text{ter}} = 1,8\Omega$ , $R_{m\text{ter}} = 2,0\Omega$ , $M_0 = 2140\text{ g}$

Keterangan:  $R_f$  = hambatan pada kumparan pembangkit gaya,  $R_m$  = hambatan pada pembangkit medan magnet,  $R_{f\text{ter}}$  = hambatan total pada kumparan pembangkit gaya setelah dirangkai,  $R_{m\text{ter}}$  = hambatan total pada kumparan pembangkit medan magnet setelah dirangkai



**Gambar 1.** Aktuator elektromagnetik. a. (1) kumparan pembangkit medan magnet, (2) silinder penghantar fluks magnet, (3) lilitan pembangkit gaya dorong. b. Spesimen, jarak antara kumparan pembangkit bagian tengah dengan kumparan pembangkit bagian tepi dan dalam ialah 10 mm

Peralatan yang digunakan dalam pengukuran didaftar pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Daftar peralatan yang digunakan

No	Nama Peralatan	Jumlah	Spesifikasi
1	Adaptor	2	Variasi tegangan 3 V; 6 V; 7,5 V; 9 V; 12 V; 13,8V. Arus maksimum 7 A
2	Resistor	2	1,7 $\Omega$
3	Multimeter digital	1	-
4	Timbangan digital	1	ketelitian 1 g, kapasitas maksimum 50 kg
5	Kabel	-	diameter 1,5 mm

Prosedur Pengujian. Pembangkitan gaya dorong diuji dengan cara mengukur perubahan berat prototipe pada saat bagian pembangkit medan magnet dan pembangkit gaya dorong diberi tegangan dengan empat mode. Mode 1: tegangan pembangkit medan *on* dan tegangan pembangkit gaya *off*, mode 2: tegangan pembangkit medan dan pembangkit gaya dorong pada posisi *on*, mode 3: tegangan pembangkit medan *on* dan pembangkit gaya *off*, mode 4: tegangan pembangkit medan dan pembangkit gaya *off*. Ketiga mode terakhir dilakukan berurutan dimulai pada saat mode sebelumnya mencapai kestabilan. Tegangan pembangkit medan dipertahankan pada 12 V, sedangkan tegangan pembangkit gaya divariasikan dari 3 V, 6 V, 9 V hingga 12 V.

**PEMBAHASAN**

Pengujian gaya dorong terhadap prototipe menghasilkan data sebagaimana pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Data pengujian gaya dorong

Mode	Tegangan pada lilitan pembangkit gaya (volt)	Perubahan berat spesimen (maksimum, gram)
1	3	0
2	3	0
3	3	4
4	3	1
1	6	-6
2	6	-2
3	6	-1
4	6	18
1	9	-7
2	9	-3
3	9	-7
4	9	9
1	12	-6
2	12	0
3	12	0
4	12	16

Data penelitian mengungkapkan bahwa aktuator mampu menghasilkan gaya dorong, namun sifatnya sesaat atau impulsif. Gaya dorong muncul sebagai akibat dari interaksi antara medan magnet pada silinder khususnya pada bagian kepala silinder dengan arus listrik pada lilitan pembangkit gaya yang memiliki diameter lingkara 32 mm. Tegangan yang digunakan pada pembangkit medan magnet dan pada pembangkit gaya dorong ialah tegangan dc sehingga arus yang mengalir pada kedua elemen tersebut juga berupa arus dc. Dengan penggunaan arus dc, gaya dorong yang timbul diharapkan memiliki nilai yang konstan. Namun hal ini tidak muncul. Pada suatu mode pengujian, perubahan berat spesimen mengalami nilai maksimum tertentu kemudian turun mencapai suatu nilai yang stabil tertentu. Dari hasil pengujian terlihat bahwa perubahan berat prototipe maksimum yang dapat dicapai ialah 18 g pada pengujian mode 4 dengan tegangan lilitan pembangkit gaya 6 volt.

Dasar perancangan prototipe ini ialah persamaan Maxwell (Persamaan 1) (Zahn, M., 2005). Dimana,  $\mathbf{F}$  ialah vektor gaya,  $e$  ialah muatan elektron,  $\mathbf{E}$  ialah vektor kuat medan listrik,  $\mathbf{v}$  ialah vektor kecepatan electron, dan  $\mathbf{B}$  ialah kuat medan magnet. Untuk kasus prototipe yang dibangun ini, persamaan diturunkan menjadi Persamaan 2. Dimana,  $V$  ialah tegangan yang pada lilitan pembangkit gaya dorong,  $c$  ialah perbandingan antara panjang lilitan pembangkit gaya dengan resistansinya dan  $\mathbf{B}$  ialah kuat medan magnet yang dialami oleh masing-masing lilitan pembangkit gaya dorong pada masing-masing posisinya. Persamaan 1 yang masih dalam bentuk vektor disederhanakan menjadi dalam bentuk besar dari vektor yang searah dengan sumbu prototipe. Jika tegangan pada lilitan pembangkit medan dalam posisi *on*, maka fluks magnet pada prototipe akan tetap ada. Jika tegangan pada lilitan pembangkit gaya dalam posisi *on*, maka arus listrik akan tetap mengalir. Pada mode 2, kondisi ini terjadi, namun gaya dorong yang terukur tidak bersifat kontinu. Menurut Persamaan 1, semestinya pada kondisi ini muncul gaya dorong pada spesimen. Kemungkinan yang menyebabkan gaya dorong bersifat impulsif ialah terjadi perubahan orientasi dari vektor medan magnet. Gaya dorong tetap ada namun tidak pada arah sumbu prototipe. Besar gaya pada arah sumbu prototipe yang dialami dinyatakan menggunakan Persamaan 2. Gaya pada arah selain pada arah sumbu prototipe akan saling menghilangkan karena geometri dari lilitan pembangkit gaya dan arah medan sebagai “sink” atau “source” pada saat melalui lilitan pembangkit gaya.

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e\mathbf{v} \times \mathbf{B} \dots \dots \dots (1)$$

$$F = Vc (B_1 + B_2 + B_3) \dots \dots \dots (2)$$

## KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe aktuator elektromagnetik mampu menghasilkan gaya dorong yang bersifat impulsif,
2. Gaya dorong yang dihasilkan oleh aktuator masih sangat rendah jika dibandingkan dengan berat spesimen,
3. Gaya dorong sebagai gaya Lorentz yang dihasilkan oleh prototipe hanya akan terasa pada arah sumbu prototipe. Gaya pada arah lain akan saling menghilangkan karena geometri lilitan pembangkit gaya dan arah kuat medan magnet sebagai “sink” atau “source”,
4. Diperlukan perbaikan rancangan prototipe untuk dapat meningkatkan rasio antara gaya dorong yang dihasilkan dengan berat prototipe.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Tidar yang telah membiayai penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arnandi, W., dan Iswahyudi, S., 2013. Pemanfaatan Magnetisme sebagai Sumber Gaya Gerak. *Laporan penelitian*. Magelang: Universitas Tidar Magelang.
- Bolonkin, A., 2009. *The World's Future New Technologies and Revolutionary Projects*. Book New Technology. New York.
- Froning, H. D., Barrett, T. W., 2011. New Directions in Electromagnetism for Propulsion and Power, Space, Propulsion & Energy Sciences International Forum. *Physics Procedia 20 (2011) 84–92*.
- Iswahyudi, S., 2013. Paduan Aluminium 2030 sebagai Konduktor Penghasil Gaya Lorentz dalam Sistem Gerak Translasi. *Laporan penelitian*. Magelang: Universitas Tidar Magelang.
- Murad, P. A., 2000. Hyper-Light Dynamics and Effects of Relativity, Gravity, Electricity, and Magnetism. *Acta Astronautica*. Vol. 47, Nos. 2-9, pp. 575-587. Elsevier Science Ltd, Great Britain.
- Pulatov, V., 2005. Physics of Magnetic Propulsion. *Progress in Aerospace Science*. Vol. 41, pp. 64-91. Elsevier.
- Zahn, M., 2005. *Electromagnetic Field Theory*. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare). <http://ocw.mit.edu>, Diakses 07 07, 2012. License: Creative Commons Attribution-Non Commercial-Share Alike.

## PENGARUH VARIASI PUTARAN RENDAH DAN PUTARAN SEDANG PADA CENTRIFUGAL CASTING TERHADAP SIFAT FATIK PADUAN A 356 UNTUK VELG SEPEDA MOTOR

<sup>(1)</sup>Muhammad Abdus Shomad, <sup>(2)</sup>Priyo Tri Iswanto  
<sup>(1)</sup> Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur  
Program Vokasi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
<sup>(2)</sup> Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada  
e-mail : <sup>1</sup>abdusshomad@umy.ac.id, <sup>2</sup>priyotri@ugm.ac.id

### ABSTRACT

Motorcycle wheel has been produced by small and medium industries in Yogyakarta. Unfortunately, the qualities of those motorcycle wheels are not good enough. Low quality of those motorcycle wheels are due to the scrap material used, poor casting method, no heat treatment and no addition of grain refiner. Motorcycle wheels always receive dynamic loads, in their application. It is important to investigate fatigue properties of motorcycle wheels due to more than 90% of structural fractures have been affected by fatigue process. The purpose of this research is to study the effect of low to medium rotational speed of casting mold on fatigue properties of aluminum alloy motorcycle wheel.

Aluminum alloy A356 was used in this study. The centrifugal casting mold was rotated at 0, 350, and 500 RPM. The casting mold was prepared with pre-heating at temperature of 250C. In an electric furnace, aluminum alloy A356 was melted at 750C and added of 0.008% grain refiner titanium boron during melting process. In order to investigate fatigue properties of aluminum alloy motorcycle wheel, rotating bending fatigue test was conducted by Ono-type rotating bending fatigue testing machine.

Fatigue test data were plotted in semi log diagram. Stress amplitude and number of cycle to failure in Y and X axis, respectively. Fatigue diagrams show that relationship between stress amplitude and number of cycle to failure for specimen with casting mold rotational speed of 0, 350, and 550 RPM are  $\sigma_a = 444N^{-0.14}$ ,  $\sigma_a = 1068N^{-0.21}$ , and  $\sigma_a = 227N^{-0.11}$  respectively.

**Keyword:** fatigue test, stress amplitude, fatigue strength, rotational speed, A356, motorcycle wheel

### PENDAHULUAN

Menurut data dari AISI (Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia) tahun 2013 produksi sepeda motor total mencapai 1.970. 823 unit. Produk otomotif yang saat ini banyak permintaan dari konsumen yaitu Velg kendaraan roda dua. Velg adalah salah satu komponen sepeda motor yang dalam kerjanya mengalami pembebanan yang berulang (beban dinamis). Pembebanan berulang inilah yang menyebabkan kegagalan material (fatik). Saat ini diperkirakan kegagalan karena kelelahan kurang lebih 90% dari seluruh kegagalan yang disebabkan oleh hal-hal berhubungan pembebanan berulang (ASM Vol. 19, 1997:1099). Centrifugal casting merupakan metode pengecoran dimana logam cair membeku di dalam cetakan yang berputar. Centrifugal casting lebih baik dari pada *gravity casting* (Joshi, 2010).

Proses pengecoran dengan teknik *centrifugal casting* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan komponen-komponen yang berbentuk silindris, seperti poros pejal atau berlubang, *cylinder liners*, *bearing bushes*, dan lain-lain (Bambang, 2010). Hasil beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, proses pengecoran dengan teknik *centrifugal casting* ini dapat meningkatkan sifat mekanis dari produk cor yang dihasilkan. Demikian juga, dengan paduan aluminium A356 yang akan digunakan sebagai bahan dasar dalam penelitian ini, diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanis dan mengurangi porositas dari produk yang akan dihasilkan. Hasil telaah literatur mengindikasikan bahwa penelitian-penelitian yang berkaitan dengan teknik *centrifugal casting* maupun yang berkaitan dengan paduan aluminium A356 masih perlu dilakukan. Chirita, et al (2008) membuat perbandingan sifat mekanis spesimen yang diperoleh dari hasil pengecoran dengan teknik *centrifugal casting* dan *gravity casting* dari tiga jenis paduan Al-Si yang berbeda. Paduan yang digunakan adalah *hypoeutectic alloy*, *eutectic alloy*, dan *hypereutectic alloy*. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa efek *centrifugal casting* untuk beberapa paduan tersebut dapat meningkatkan *rupture strength* kira-kira 50%, dan *rupture strain* sekitar 300%, Young Modulus naik sekitar 20% dibandingkan dengan teknik *gravity casting*.

Mukunda, et al, (2010) menyatakan kecepatan optimum centrifugal casting adalah 800 rpm yang dapat menghasilkan bentuk silinder dengan partikel  $\alpha$ -Al terbentuk di dalam keliling tabung. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan putar dari *centrifugal casting*, temperatur cetakan dan temperatur awal cairan logam mempengaruhi kualitas dari sebuah komponen yang dihasilkan (Vassiliou, et al 2008).

Tjitro, dkk (2004) menyatakan struktur mikro hasil *centrifugal casting* berbentuk *equiaxed* dan *columnar* dengan orientasi kemiringan sesuai dengan arah putaran mesin. Sabatino, et al, (2006) menyatakan bahwa temperatur cetakan yang lebih tinggi menghasilkan fluiditas yang baik. kandungan Mg dapat memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap perilaku *natural* dan *artificial aging* paduan aluminium, yaitu diperolehnya indek kualitas optimum menggunakan *short solution heat treatment* selama 1 jam pada temperatur 540<sup>0</sup>C (Moller, et, al 2007). Maliwemu (2012) menyatakan bahwa putaran centrifugal casting sangat mempengaruhi karakteristik perambatan retak fatik. Syukron, (2011) menyatakan spesimen dengan perlakuan panas T6 mempunyai ketahanan rambat retak fatik lebih baik dibanding spesimen tanpa perlakuan panas T6.

## METODE PENELITIAN

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: alat pengecoran dengan sistem centrifugal casting dan alat uji rotari bending, seperti tersaji pada gambar 1 dan 2. Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu aluminium A.356 dengan kandungan komposisi kimia seperti tersaji pada tabel 1.

Tahapan dalam penelitian ini yaitu melakukan proses pengecoran dengan melakukan langkah uji coba dengan memutar cetakan sesuai dengan variasi putaran yang telah ditentukan. Pada tahap awal peneliti melakukan uji coba terhadap cara kerja sistem centrifugal casting. Tersaji pada gambar 1 cetakan centrifugal casting. Uji coba untuk mengetahui mekanisme sistem centrifugal casting yaitu, kemudahan dalam membuka dan menutup cetakan saat kondisi panas, fungsi ejektor untuk mengeluarkan hasil coran dari cetakan, serta berfungsi atau tidaknya laluan udara agar tidak ada udara terjebak.

Pada tahap berikutnya adalah melakukan pemanasan awal (*pre-heating*) pada cetakan dengan suhu 250<sup>0</sup>C. Pada *pre-heating* menggunakan Liquefied Petroleum Gas (LPG), dengan menempatkan burner diantara cetakan atas dan bawah sampai temperatur cetakan mencapai 250<sup>0</sup>C, seperti tersaji pada gambar 1. Setelah terkondisikan suhu cetakan 250<sup>0</sup>C, selanjutnya dilakukan proses peleburan paduan aluminium A356 yang akan dituangkan pada cetakan dengan suhu tuang 750<sup>0</sup>C. Proses selanjutnya cetakan diputar dengan variasi mulai 0, 350,550 RPM. Setelah cetakan dingin, velg kendaraan roda dua yang dihasilkan seperti tersaji dalam gambar 3, selanjutnya dipotong-potong dibuat spesimen uji. Proses berikutnya yaitu untuk pembuatan benda uji rotari bending dengan standar standar JIS Z 2274 No.1 seperti tersaji pada gambar 4.



**Gambar 1.** Alat centrifugal casting (Bambang, U, 2010)



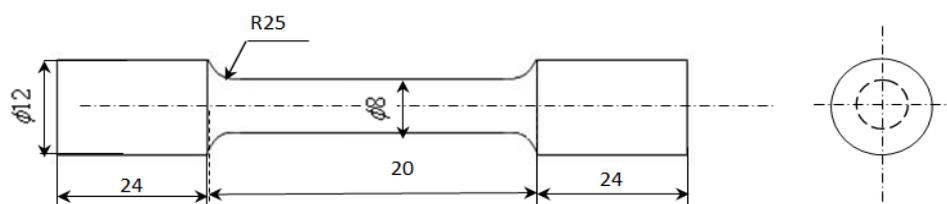
**Gambar 2.** Alat uji rotari bending

**Tabel 1.** Komposisi kimia A.356

Al	Si	Mg	Mn	Cu	Sn
93,22	5,69	0,187	0,0202	<0,0500	0,0509



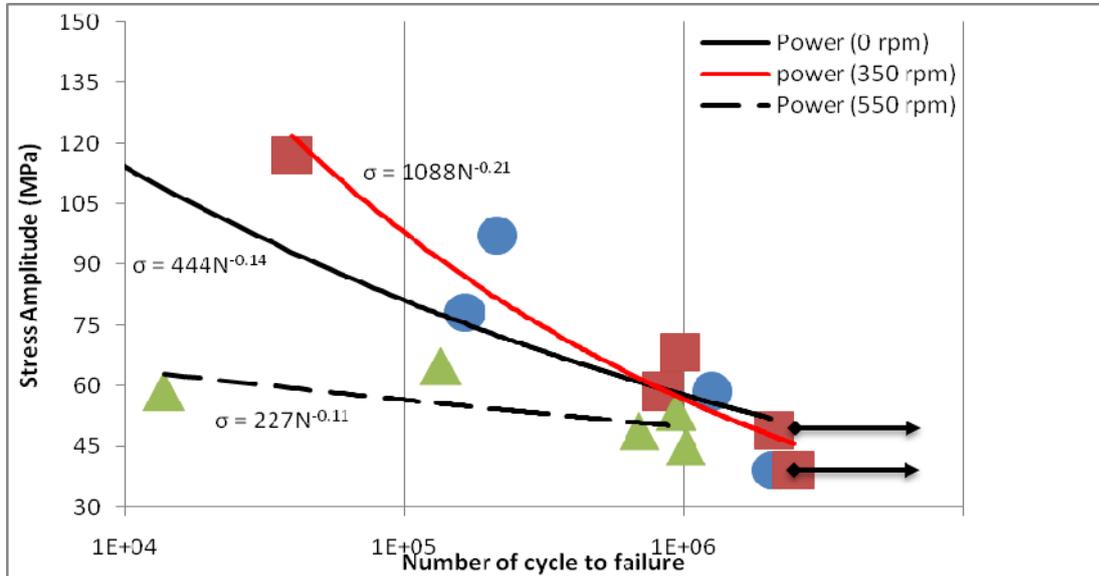
**Gambar 3.** Velg hasil pengecoran dengan centrifugal casting



**Gambar 4.** Spesimen Uji Fatik

## PEMBAHASAN

Kekuatan lelah velg sepeda motor bahan Aluminium A.356 dengan variasi putaran mulai dari 0 rpm, 350 rpm, dan 550 rpm dapat diperoleh melalui uji kelelahan (*rotari bending fatigue test*) dan menganalisa grafik S-N seperti tersaji pada gambar 5 di bawah ini.



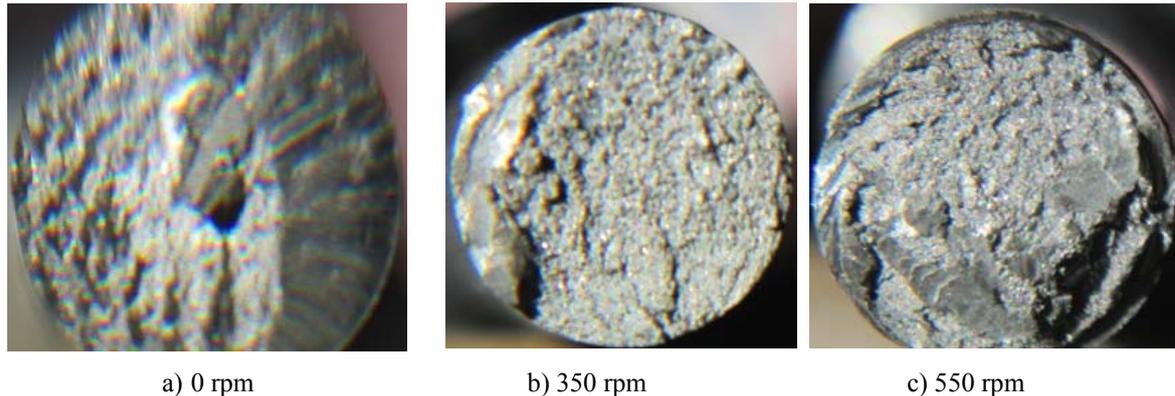
Gambar 5. Grafik S-N hasil uji rotari bending pada putaran 0, 350, 550 rpm

Dapat diketahui hasil uji rotari bending dari grafik S-N diatas, menunjukkan bahwa: pengujian yang telah dilakukan adalah *rotari bending fatigue test*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa velg dengan putaran 0 RPM menghasilkan hubungan amplitudo tegangan dengan jumlah siklus  $\sigma_a = 444N^{-0.14}$ , putaran 350 RPM mempunyai hubungan amplitudo tegangan dengan jumlah siklus  $\sigma_a = 1088N^{-0.21}$  dan pada putaran 550 RPM mendapatkan hubungan amplitudo tegangan dengan jumlah siklus  $\sigma_a = 227N^{-0.11}$ .

Untuk dapat memberikan analisa yang lebih detail dan komprehensif maka akan diuraikan juga analisa mengenai penampang patahan yang terjadi pada setiap spesimen variasi putaran. Hal ini dapat dijadikan sebagai data tambahan untuk menarik kesimpulan akhir dari uji lelah rotari bending.

Dapat dilihat pada perpatahan benda uji pada pengujian dengan pembebanan 30% dari UTS ditunjukkan pada gambar diatas kemudian dilakukan pengamatan struktur makronya menunjukkan bahwa terjadi *crack* awal dan terus berkembang hingga menuju daerah penampang kemudian yang tersisa tidak kuat lagi menahan beban maka terjadi patahan akhir (*final failure*) yang sering disebut lelah (*fatigue*) akibat pembebanan yang berulang secara terus-menerus (beban dinamis). Sehingga peristiwa ini dapat dianalisa sebagai berikut.

Pada gambar 6.(a) spesimen patahan permukaan 0 rpm menunjukkan pola patahan radial dimana pola ini menggambarkan spesimen yang tidak rata dan memiliki pola radial yang perpatahan terjadi di tengah. Sedang pada spesimen benda uji 350 rpm (b) menunjukkan pola patahan yang merata secara linear dengan membuat garis pantai semakin rapat dan halus, sedang pada patahan spesimen 550 rpm (c) dengan permukaan/pola patahan yang kasar, peristiwa ini terjadi disebabkan karena getaran berlebih pada mesin uji akibat beban yang diberikan terlalu kecil.



**Gambar 6.** Permukaan Perpatahan spesimen

### KESIMPULAN

Hasil pengujian rotari bending pada spesimen velg sepeda motor dengan bahan A.356 dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hubungan amplitudo tegangan dengan jumlah siklus pada putaran 0 RPM adalah  $\sigma_a = \sqrt{V-0.14}$
2. Hubungan amplitudo tegangan dengan jumlah siklus pada putaran 350 RPM adalah  $\sigma_a = \sqrt{3.2V-0.221}$
3. Hubungan amplitudo tegangan dengan jumlah siklus pada putaran 550 RPM adalah  $\sigma_a = \sqrt{V-0.11}$
4. Pengaruh putaran rendah sampai sedang (0 ~ 550 Rpm) centrifugal casting terhadap kuat fatik belum terlihat dengan jelas.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan sungguh-sungguh mengucapkan banyak terima kasih kepada pemberi dana penelitian tesis Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) sehingga penelitian dapat terlaksana. Penulis juga merasa sangat berterima kasih kepada bapak Sonaji dan bapak Yanto yang telah banyak membantu selama penulis melakukan pengujian di laboratorium Bahan Teknik UGM.

### DAFTAR PUSTAKA

- ASM, Handbook, 2008, Volume 15 Casting, ASM International.
- ASM Handbook, 2000, Introduction to Aluminium Alloys and Tempers, ASM International.
- ASTM Standard, 2004, Standard Practice for of Aluminium Alloys Casting form All Processes.
- ASTM Standard, 2004, Standard Test Methods for Testing of Metallic materials.
- ASTM Standars, 2004, Standard Methods for Tension Testing of Metallic Materials (Metric).
- Afriyanto, 2010, Pasar Komponen Otomotif Tumbuh 15%, Harian Bisnis Indonesia, hal 13, Kamis, 23 September 2010.
- Apelian, D., 2009, Aluminium Cast Alloys : Enabling Tools for Improved performance, NADCA. 2009 : 2008 : 2007 : 2006 : 2005, North American Die Casting Association, 1-4 Nov 1999, Cleveland, .USA.
- Bambang, U., 2010, Pengaruh Kecepatan Putar terhadap Sifat Fisis Mekanis pada Centrifugal Casting Aluminium Alloy Velg Sepeda Motor”, Master Tesis, Indonesia.
- Bintoro, W.M., 2010, Pengaruh Temperatur Cetakan, Bentuk produk dan Inokulan Ti-B Pada Proses Pengecoran Sentrifugal Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Aluminium. Master Tesis, UGM, Yogyakarta.
- Brown, J.R., 1994, Foseco Non-Ferrous Foundryman’s Handbook, 11th edition, Butterworth Heinemann.
- Callister, Jr., William, D., 2007, Materials Science and Engineering an Introduction, 7 ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Chirita, G., Soares, D., and Silva, F.S., 2008, Advantages of the Centrifugal Casting Technique for The Production of Structural Component with Al-Si Alloys. Master Tesis School of Engineering Minho Portugal
- Gwodz, M., and Kwapisz, K., 2008, Influence of Ageing Process on the Microstructure and Mechancal Properties of Aluminium-Silicon Cast Alloys – Al - 9% Si-3%Cu and Al- 9% Si-0,4%Mg .Master Tesis, Minho Portugal

- Maliwemu, Kondi., E.U, Iswanto, T.P, 2012, Karakteristik Perambatan Retak Fatik Aluminium Scrap Dengan Variasi Putaran *Centrifugal Casting*, *Journal Foundary Vol. 2*
- Joshi. A.M., 2010, Centrifugal Casting, Master Tesis, Dept. Of Metallurgical Engg. & Material Science, Indian Institute of Technology-Bombay, India.
- Syukron, M, 2011, Karakteristik Perambatan Retak Velg dari Bahan A356 Dengan Variasi Putaran Centrifugal Casting dan Heat Treatment T6, Tesis, Universitas Gadjah Mada.
- Yudha, Dharma, I,D,GE, 2008 Sifat Fisis Mekanis dan kelelahan Fatik Baja, Skripsi, Universitas Gadjah Mada,
- Zulhanif, Sugiarto Teguh, Sugiyanto, 2013, Analisis Ketahanan Lelah Baja Karbon dengan Rotary Bending, *Fema Jurnal, Vol. 1*

## INSPEKSI SAMBUNGAN LAS PADA H BEAM ROOF STRUCTURE TANGKI AMONIAK MENGGUNAKAN METODE MAGNETIC PARTICLE INSPECTION (MPI)

Dewin Purnama<sup>1</sup>, Yorgie<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta  
Kampus Baru UI Depok 16424  
Email : dewinto@gmail.com

### Abstract

*In tank construction that is consist of a roof structure, wall construction to the floor foundations required inspection process at the part of welded joint with a testing method called Non Destructive Test (NDT) ie Magnetic Particle Inspection Method (MPI). The selection of this method is set by inspection selection of Inspection Test Plan (ITP). Therefore any welds need to go through the process of Quality Control (QC) that is useful for controlling the results of quality welding and also to avoid all kind of damage in ammonia tank which will caused leakage of ammonia gas. This study aims to determine the types of discontinuities that occurs in the weld joint with MPI method and determine the quality control of welded joint whether is accepted or rejected according to the standards used.*

*Testing methods used for inspection roof structure in the construction of ammonia tank using Wet Visible Continuous which means using the wet method that is applied to a specimen along with the flow of magnetization current.*

*Based on research and field inspections carried out in accordance with the procedure based on the work of NDT MPI American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section V article 6 for Magnetic Particle Inspection (MPI), the interpretation results of discontinuities on the Roof Structure P.4 with code number H Beam 4 Weld Joint 1 which using the method of Magnetic Particle Inspection (MPI) is the porosity along the 5 mm and undercut measuring 4 mm, both of these discontinuities is rejected and should be in repair.*

**Keywords:** Non Destructive Test, MPI, ASME, Porosity and Undercut

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Pada konstruksi tangki yang terdiri dari struktur atap, konstruksi dinding hingga pada fondasi lantai diperlukan proses inspeksi pada bagian yang terdapat sambungan las dengan suatu metode pengujian *Non Destructive Test (NDT)* yaitu Metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)*. Pemilihan metode MPI ini sudah diatur pemilihan jenis inspeksinya berdasarkan *Inspection of Test Plan (ITP)*. Di dalam ITP, segala jenis proses inspeksi untuk tiap bagian pada konstruksi tangki telah di atur sesuai dengan tingkat bahaya yang akan terjadi, terutama pada konstruksi tangki amoniak, dimana nantinya tangki ini digunakan sebagai tempat penyimpanan *Liquid Gas* yang berbahan  $\text{NH}_3$  (*Amoniak*). *Liquid Gas* jenis  $\text{NH}_3$  sangat berbahaya, apabila tangki ini mengalami kebocoran yang terjadi pada sambungan las nya.

Oleh karena itu setiap hasil pengelasan perlu melalui proses *Quality Control (QC)* yang berguna untuk mengontrol mutu dari hasil pengelasan tersebut serta berguna untuk menjaga tangki *amoniak* tersebut dari segala macam jenis kerusakan yang dapat mengakibatkan kebocoran dari gas *amoniak*. Bagian yang menjadi perhatian khusus dalam konstruksi tangki *amoniak* ini salah satunya adalah pada konstruksi struktur atap, dimana konstruksi struktur atap ini adalah bagian yang melindungi penyimpanan *Liquid Gas* dari kebocoran yang diakibatkan karena adanya tekanan *Liquid Gas Amoniak*. Maka pengujian yang menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* ini mendapat porsi 100 persen dari seluruh proses inspeksi, dikarenakan pengujian menggunakan metode MPI ini memiliki kehandalan yang cukup baik serta tingkat sensitivitas yang jauh lebih baik dari metode inspeksi lainnya dimana bentuk sesungguhnya dari *diskontinuitas* yang ada dapat dimunculkan dengan jelas disamping biaya yang dikeluarkan untuk alat, bahan kimia dan ahli inspeksi pada metode ini relatif lebih murah.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap sambungan las di Joint 1 konstruksi struktur atap tangki pada struktur H Beam P.4.1 nomor 4 dengan metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* dengan menggunakan Yoke AC yang mempunyai prinsip electromagnet agar tidak menyebabkan robohnya konstruksi atap tangki yang bisa berdampak pada bocornya gas *amoniak*.

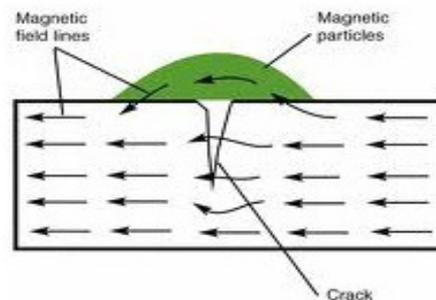
## Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis diskontinuitas yang terjadi pada sambungan las dengan metode MPI serta menentukan kualitas mutu dari sambungan las tersebut apakah ditolak atau diterima sesuai dengan standar yang digunakan

## TINJAUAN PUSTAKA

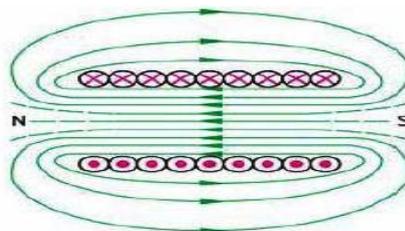
### Teori Umum *Magnetic Particle Inspection (MPI)*

Sebuah logam ferromagnetik apabila di aliri sebuah gaya magnet maka benda tersebut akan menjadi sebuah logam yang memiliki medan magnet. Apabila pada logam ferromagnetik tersebut terdapat suatu keretakan atau sebuah patahan maka secara alamiah garis-garis medan magnet tersebut akan berpindah arah mencari kembali kerapatan dari logam ferromagnetik tersebut agar bisa membentuk kembali siklus medan magnet dari kutub utara kembali ke kutub selatan. Prinsip inilah yang diaplikasikan pada pengujian tanpa merusak dengan metode MPI dimana pada patahan atau retakan tersebut diberikan *chemical* atau cairan yang berisikan serbuk besi yang memiliki daya kapilaritas sehingga cairan tersebut dapat berpenetrasi masuk sampai ke ujung patahan logam tadi. (<http://sersasih.wordpress.com/2011/06/25>)



**Gambar 1.** Arah medan magnet terpotong oleh retakan (<http://sersasih.wordpress.com/2011/06/25>)

Pada saat *chemical* tadi sudah mengisi lubang yang dibentuk dari patahan logam tersebut selanjutnya serbuk besi akan ikut terangkat kembali ke permukaan logam membentuk sebuah gambaran seberapa panjang ataupun besarnya diskontinuitas yang ada. (<http://sersasih.wordpress.com/2011/06/25>)



**Gambar 2.** Garis Gaya Magnet (<http://sersasih.wordpress.com/2011/06/25>)

Pada inspeksi MPI terdapat dua jenis magnet yang digunakan, yaitu:

#### a. Magnet Permanen :

Merupakan bahan-bahan logam tertentu yang jika di magnetisasi maka bahan logam tersebut akan mampu mempertahankan sifat magnetnya dalam jangka waktu yang lama (permanen). Garis-garis gaya magnet dari sebuah magnet permanen memiliki sifat sebagai berikut :

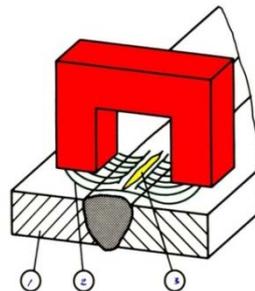
- Membentuk rangkaian tertutup antara kutub utara dan selatan
- Tidak memotong satu sama lainnya
- Selalu mencari lintasan dengan tahanan magnetis yang terkecil
- Kerapatannya berkurang dengan bertambahnya jarak dari kutub
- Memiliki arah, menurut kesepakatan, dari kutub utara ke kutub selatan diluar magnet dan dari kutub selatan ke kutub utara di dalam magnet

Gaya yang menarik material magnet lain ke kutub suatu magnet dinamakan Flux Magnetis. Flux Magnetis tersusun dari semua garis-garis gaya magnet. Salah satu contoh magnet permanen adalah magnet yang berbentuk seperti tapal kuda. (Wing Hendroprasetyo AP, 2012)

b. Elektromagnet

Merupakan magnet yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang jika diberikan arus listrik maka bahan tersebut akan menjadi magnet, tetapi jika pemberian arus listrik di hentikan, maka sifat magnet pada bahan tersebut akan hilang. Contoh benda yang menggunakan prinsip electromagnet adalah *Yoke AC*.

*Yoke AC* dapat dipakai untuk memagnetisasi specimen secara memanjang. Pada dasarnya *Yoke* merupakan sebuah magnet tapal kuda kontemporer yang dibuat dari inti besi lunak, mempunyai retensivitas atau *retentivity* yang rendah dimana *Yoke AC* ini dimagnetisasi memakai kumparan kecil di sekeliling batang horizontalnya



**Gambar 3.** Prinsip kerja MPI dengan *Yoke AC* (<http://pancaur.blogspot.com>, 2014)  
Keterangan : 1. Benda Uji, 2. Medan Magnet, 3. Bentuk indikasi yang muncul

**Klasifikasi metode MPI** (ASME Section V, 2010)

a. **Metode Dry Visible**

Metode pengujian ini menggunakan *Chemical* bersifat kering dan hanya membutuhkan cahaya sebesar 1000 lux untuk dapat menginterpretasikan hasil pengujian

b. **Metode Wet Visible**

Metode pengujian ini menggunakan *Chemical* yang bersifat basah atau lebih cair untuk proses pengujiannya, dengan metode ini pun membutuhkan cahaya sebesar 1000 lux untuk menginterpretasi hasil pengujian

c. **Metode Wet Flourescence**

Pengujian logam dengan metode MPI Wet Flourescent pada dasarnya hampir sama dengan metode Wet visible, hanya metode ini menggunakan serbuk magnet yang akan terlihat dengan sinar UV (20 Lux) dan Black light (1000 Lux).

**Kategori Diskontinuitas** (Wing Hendroprasetyo AP, 2012)

Diskontinuitas dapat dibagi menjadi 3 kategori :

a. **Bawaan**

Biasanya berhubungan dengan diskontinuitas yang ditemukan dalam logam cair. Lebih sering ditemukan sebelum proses pengolahan logam baik itu dalam material yang langsung diambil dari alam maupun material yang diolah kembali menjadi bahan baku lewat proses fabrikasi. Biasanya terjadi karena peleburan dan pembekuan ingot

b. **Proses**

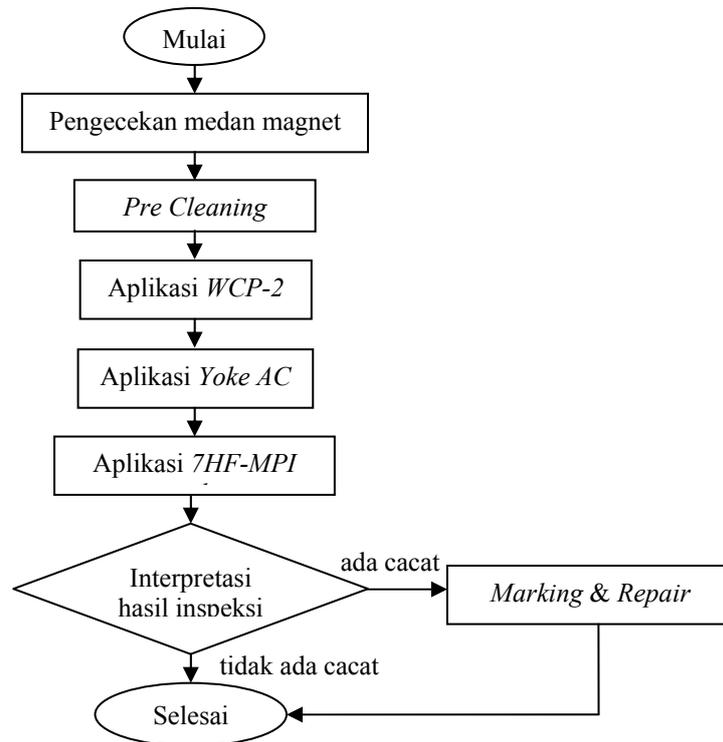
Biasanya berhubungan dengan aneka proses manufaktur seperti permesinan, pembentukan, ekstruding, pengerolan, pengelasan, laku panas, dan pelapisan. Contohnya saat proses pengelasan diluar tangki, factor kancangnya angin dan intensitasnya angin yang besar sehingga setelah proses pengelasan dilakukan banyak ditemukan *Porosity*, *Blow hole*, dan *Worm hole*

c. **Diskontinuitas servis**

Berhubungan dengan aneka kondisi pengoperasian seperti korosi tegangan, kelelahan, dan erosi

## EKSPERIMEN

### Diagram alir metode inspeksi MPI



Gambar 4. Gambar diagram alir metode inspeksi MPI

#### Acceptance Criteria dan Examination Procedure

Acceptance Criteria atau yang disebut standar yang diterima pada saat proses interpretasi hasil inspeksi NDT berdasarkan pada *American Society of Mechanical Engineers (ASME) VIII mandatory app.6 paragraph 6-4 2010* dan *American Welding Society (AWS) D1.1* masing –masing digunakan dalam lingkup pengujian tanpa merusak atau *Non Destructive Test (NDT)* untuk metode pengujian *Magnetic Particle Inspection (MPI)* dan standar untuk konstruksi.

Sebelum pengujian dengan menggunakan metode MPI ada beberapa hal yang perlu di persiapkan yaitu menguji kekuatan yoke terlebih dahulu (*Power Lifting of Yoke*) berdasarkan *ASME section V Article 7 ( T-762(b) )*, yaitu untuk arus AC yoke harus mampu mengangkat beban sebesar 4,5 kg ( 10 lb ) pada maximum pole spacing-nya. Apabila yoke masih dapat mengangkat beban yang disyaratkan, maka yoke tersebut masih bisa untuk digunakan. *Chemical* yang digunakan adalah *White Contrast Paint (WCP-2)* dan *7HF-MPI INK* (Berwarna hitam).

Sesuai dengan standar *American Society of Mechanical Engineers (ASME) section V article 7 ( T-762(a) )*, kalibrasi alat yang menggunakan elektromagnetik minimum di kalibrasi selama 1 tahun sekali dan bersamaan dengan itu juga dikeluarkan sertifikat kalibrasi umum yang di kalibrasi selama 1 tahun sekali dan bersamaan dengan itu juga di keluarkan sertifikat kalibrasi *Yoke* tersebut.

Metode pengujian yang digunakan untuk inspeksi *Roof Structure* pada pembangunan tangki amoniak ini yaitu menggunakan metode *Wet Visible Continuous* yang artinya pengujian dengan menggunakan metode basah yang diaplikasikan pada suatu spesimen bersamaan dengan mengalirnya arus magnetisasi. Berikut adalah langkah-langkah pengujian MPI yang diatur sesuai dengan prosedur pengujian yang digunakan:

- Harus melalui tahap *Visual Inspection* terlebih dahulu oleh *Welding Inspector*
- Pengecekan kekuatan medan magnet  
Pengecekan medan magnet ini diatur dalam *ASME section V article 7 ( T-764.2)*  yang didalamnya disebutkan bahwa alat yang digunakan untuk mengukur kemampuan medan magnet *Yoke* menggunakan *Pie Shaped Magnetic Field Indicator* dan *Artificial Flaw Shim*.
- Pre Cleaning*

- d. *Apply White Contrast Paint*
- e. *Apply AC Yoke and 7HF-MPI INK*  
Nyalakan AC/DC yoke, lalu benda kerja mulai di magnetisasi, magnetisasi benda uji dimaksudkan agar benda uji dapat menarik serbuk *ferromagnetik* yang nantinya serbuk *ferromagnetik* tersebut akan mendeteksi adanya cacat pada benda uji tersebut. Seiring dengan dinyalakannya *Yoke* maka pengaplikasian *7HF* pun bersamaan dilakukan untuk memunculkan diskontinuitas yang terdapat pada hasil pengelasan.
- f. *Inspection*  
Untuk meneliti bentuk cacat yang terdapat pada benda uji. Selain itu juga dari hasil pengevaluasian kita akan dapat menentukan apakah benda uji harus di perbaiki atau tidak.
- g. *Interpretation*  
Untuk melihat dan menentukan langkah yang diambil untuk memperbaiki diskontinuitas yang tampak setelah metode inspeksi dijalankan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi benda yang diujikan :

- *Roof Structure* model *H Beam* no. P.4
- Tebal : 12 [mm]
- Panjang : 2391 [mm]
- Jenis material : Steel
- Proses pengelasan: FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) – *Fillet Joint*

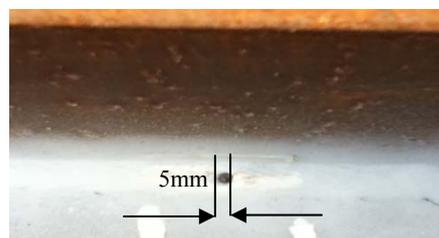
### Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian dan inspeksi di lapangan yang dilakukan sesuai dengan prosedur pekerjaan NDT MPI yang berdasarkan *American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section V article 6 for Magnetic Particle Inspection (MPI)*, maka hasil interpretasi diskontinuitas pada *Roof Structure* kode P.4 dengan no. *H Beam 4 Weld Joint 1* yang menggunakan inspeksi *Magnetic Particle Inspection (MPI)* berupa :

#### a. *Porosity*

*Porosity* yang ditemukan pada hasil pengelasan ini disebabkan karena kondisi angin yang cukup kencang disekitar lokasi pengelasan sehingga membuat suatu lubang yang besar dan menjadi sebuah cacat. Setelah proses inspeksi menggunakan metode MPI ini ditemukan satu indikasi diskontinuitas yang berbentuk melingkar pada sambungan las 1 seperti ditunjukkan pada gambar 5.

Cairan yang *7HF-MPI Ink* yang disemprotkan membentuk sebuah gambaran melingkar yang sesuai dengan besar dari diskontinuitas tersebut. Setelah ditemukannya indikasi diskontinuitas tersebut langkah berikutnya adalah mengukur besar diskontinuitas tersebut.



**Gambar 5.** Diskontinuitas *Porosity*

Setelah diskontinuitas tersebut diukur langkah selanjutnya adalah mencocokkan ukuran diskontinuitas dengan *Acceptance Criteria* atau standar yang digunakan untuk menentukan diskontinuitas tersebut *Reject* atau *Acceptable*. *Acceptance Criteria* yang digunakan adalah *American Society of Mechanical Engineers (ASME) VIII Division 1 app.6 2011a* paragraph 6-4. Pada *ASME VIII Division 1 app.6* paragraf 6-4(b) disebutkan bahwa dalam satu sambungan las harus bebas dari sebuah indikasi diskontinuitas yang bentuknya melingkar atau bulat yang ukurannya, mengacu pada standar ini, maka diskontinuitas *porosity* ini dinyatakan *reject* atau harus segera di *repair*. Langkah yang diambil setelah dinyatakan *reject* adalah *repair* yaitu dengan cara di gerinda sepanjang 1cm ke

samping kiri dan kanan diskontinuitas hingga sambungan las tersebut habis, nantinya akan diisi kembali dengan sambungan las yang baru.

#### b. Undercut

*Undercut*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 adalah suatu alur atau takikan yang terjadi pada perbatasan sisi-sisi lasan yang sejajar arah pengelasan sehingga bagian kaki lasan mengalami penipisan. Karena di dalam *Acceptance Criteria* pengujian NDT ini tidak diatur untuk diskontinuitas jenis *undercut* maka standar yang digunakan yaitu *American Welding Society D1.1 Tabel Visual Inspection 6.1 point 7* yang mengatur tentang diskontinuitas *undercut*.

Langkah berikutnya setelah ditemukannya diskontinuitas yaitu dengan mengukur panjang dari *Undercut* yang ditemukan, dan hasilnya ditemukan bahwa *undercut* yang ditemukan sepanjang 4 mm. Sesuai dengan *Acceptance Criteria* yang digunakan yaitu mengacu pada *American Welding Society D1.1 Visual Inspection Acceptance Criteria Table 6.1*. Pada point 7 diatur tentang standar penerimaan diskontinuitas *undercut*, disebutkan “Apabila sebuah material dengan tebal kurang dari 1 inch atau 25,4 mm maka *undercut* tidak boleh lebih dari 1mm. Setelah dicocokkan dengan standar yang digunakan maka jenis diskontinuitas ini dinyatakan *reject* atau harus segera di *repair*. Proses dari *repair* itu sendiri hanya dengan proses gerinda saja hingga *undercut* tersebut hilang sehingga secara *visual* sudah tidak terlihat kembali.



**Gambar 6.** Diskontinuitas *Undercut*

Setelah semua proses *repair* selesai maka hasil inspeksi kemudian bisa diberikan sebuah *marking* yang menandakan bahwa proses inspeksi pada bagian *joint 1* ini sudah selesai dilakukan dan *joint 1* dikatakan sudah *accept* sesuai dengan acuan standar yang digunakan.

#### KESIMPULAN

- Pada *Roof Structure P.4 H Beam model no. 4 Joint 1* ditemukan diskontinuitas berupa *porosity* dan *undercut* sehingga hasil pengelasan ini harus di *repair* sesuai dengan *Acceptance Criteria* dalam *ASME Section VIII Division 1 Mandatory Appendix 6 for Magnetic Particle Inspection (ASME VIII Div.1 app.6 paragraph 6-4)*.
- Mengacu pada *Acceptance Criteria* kedua diskontinuitas yang ditemukan pada *joint 1* harus direpair dengan cara di gerinda dan penambahan las-lasan untuk diskontinuitas *porosity*, dan untuk diskontinuitas *undercut* direpair. Untuk jenis diskontinuitas ini pengambilan langkah selanjutnya untuk *repair* ditangani langsung oleh *welder*.

#### DAFTAR PUSTAKA

*American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section V*, 2010

<http://pancaur.blogspot.com/2013/04/magnet.html>, diakses pada tanggal : 6 Juli 2014

<http://sersasih.wordpress.com/2011/06/25/laporan-ndt-ft-untirta-2>, diakses pada tanggal : 30 April 2014.

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, “*Training Handout Magnetic Testing*”, NDE Center, 2012.

**PEMBUATAN MESIN ROLLER UNTUK MEMPERCEPAT PROSES  
PENGERINGAN PELEPAH POHON PISANG SEBAGAI  
BAHAN BAKU PEMBUATAN KERAJINAN *PACKING*  
KUB BATIK DAHLIA KAB. TEGAL**

**Rusnoto<sup>1</sup>, Tofik Hidayat<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Mesin, <sup>2</sup>Teknik Industri Fakultas Teknik UPS Tegal  
Email : tofik.hdt@gmail.com

**ABSTRACT**

*Besides being known as the "Japanese" Indonesia because of the ability of metal machining, also known as Tegal batik is batik moor. To maintain the quality of batik products and sustainability efforts, the Department of Industry and Trade District. Tegal routinely conduct training, both in terms of product quality and penjualanya system .. We have 5 KUB (Business Group) Batik, each of which has 10 SMEs (Small and Medium Industries) batik spread across the District. Tegal, however there are still many who have not entered SMEs batik Batik KUB. SMEs batik competition is getting tougher this time, the breakthrough efforts made by the owners of SMEs batik, from the style that made up the system packaging or packing batik. One of them is EVAN Collection batik SMEs that develop packing material with a banana tree fronds. The water content is pretty much made the stem of the banana tree is not directly usable. Required drying for 2 -3 days before they can dipakai. Penelitian aims to provide solutions on how to speed up the drying process while maintaining the quality of banana remain good to use as raw material packing.*

*The method used is the method of experiment. To answer these problems made design aids in the form of a roller machine. Engines designed using the rational method of batik workers and anthropometric data. The engine is operated using manual labor so that it can be used at any time by the owners of SMEs irrespective of electricity.*

*The test results showed the roller machine capable of reducing the moisture content of banana by up to 70% - 80%. After drying after rolling, banana bark will dry within 0.5 to 1 day in sunny weather. With the high engine has been adapted to a worker anthropometry, the workers feel comfortable in operating the machine rollers.*

**Keywords:** *banana fronds, Packing, roller machine, anthropometry, rational method*

**PENDAHULUAN**

Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS, 2012), pada tahun 2011 jumlah penduduk yang bekerja meningkat 1,35% dari tahun sebelumnya atau sebesar 109.670.399 jiwa. Jika membandingkan jumlah penduduk yang bekerja dengan tenaga kerja pada UKM, terlihat pada tahun 2010 jumlah tenaga kerja yang diserap UKM sebanyak 99.401.775 jiwa atau 97,22 persen dari total penduduk yang bekerja, kemudian meningkat pada tahun 2011 menjadi sebanyak 101.722.458 jiwa. UKM menyerap 97,24 persen dari total penduduk yang bekerja di Indonesia. (Widyantoro, 2013). Gambaran tersebut menjelaskan bahwa peran UKM sangat membantu dalam mengatasi permasalahan tenaga kerja. Menurut laporan Kementerian Koperasi dan UKM tahun 2011, UKM periode 2010-2011 mengalami peningkatan sebesar 2,57 persen yaitu dari 53.823.732 unit pada tahun 2010, menjadi 55.206.44 unit pada tahun 2011. Dari sisi penerimaan PDB, pada tahun 2010 nilai PDB atas harga konstan 2000, peran UKM tercatat sebesar Rp.1.282,6 triliun atau 57,83 persen dari total PDB nasional. Pada tahun 2011 kontribusi UKM pada nilai PDB atas harga konstan 2000 sebesar Rp. 1.369,3 triliun atau 57,60 persen, meningkat sebesar Rp. 86,8 triliun atau 6,76 persen dibandingkan tahun sebelumnya.

Walaupun memberikan kontribusi yang cukup baik pada perekonomian nasional dan regional, bukan berarti UKM tidak memiliki masalah. Menteri Koperasi dan UKM Syarif Hasan pada acara KTT APEC 2013 di Bali menyatakan, sampai saat ini ada tiga masalah yang dihadapi oleh industri UKM di Indonesia. Kendala pertama yang dihadapi oleh sektor UKM adalah persoalan pembiayaan untuk modal. Kedua adalah kemampuan pada penguasaan teknologi. Dan kelemahan ketiga adalah masalah pemasaran.

Ketiga kendala yang di kemukakan oleh Menteri Koperasi dan UKM dirasakan oleh UKB Batik Dahlia, misalnya kendala dalam pemasaran. Inovasi pemasaran dikembangkan dengan melakukan kemasan atau *packing* menggunakan pelepah pohon pisang. Usaha ini cukup berhasil,

namun kendala lain muncul pada proses produksi yaitu lamanya proses pengeringan pelepah pisang. Secara alamiah pelepah pisang akan kering jika dilakukan penjemuran selama 3-4 hari. Melihat permasalahan diatas maka perlu upaya untuk membantu UKM terutama pada percepatan proses pengeringan pelepah pisang, sehingga mampu memenuhi kebutuhan produksi dengan cepat. Maka pada penelitian ini kami mengambil judul “Pembuatan Mesin Roller Untuk Mempercepat Proses Pengeringan Pelepah Pohon Pisang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kerajinan *Packing* Di UKB Batik Dahlia Kabupaten Tegal.

Tujuan dari penelitian ini adalah: 1) Seberapa cepat pengaruh pemakaian mesin roller pada proses produksi pengeringan pelepah pohon pisang?; 2) Apakah penggunaan mesin roller pada proses produksi pengeringan layak dari sisi ekonomi bagi pemilik UKM Batik?

Metode Perancangan. Metode perancangan adalah berupa prosedur, teknik-teknik, bantuan-bantuan atau peralatan untuk merancang. Metode perancangan menggambarkan sejumlah macam aktifitas dengan jelas yang memungkinkan perancang menggunakan dan mengkombinasikan proses perancangan secara keseluruhan. Tujuan utama metode baru ini adalah usaha untuk membawa prosedur rasional (masuk akal) di dalam proses perancangan. Cross (1992) metode perancangan dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu : metode kreatif (*creative methods*) dan metode rasional (*rational methods*). Dalam penelitian ini metode perancangan yang dipilih untuk merancang mesin siram tadalah metode rasional (*rational methods*).

Metode rasional (*rational methods*) adalah metode yang dilandasi pada kebutuhan pemakai dan bekerja secara rasional. Tahap metode rasional yang paling relevan dan paling luas digunakan, serta mencakup keseluruhan proses perancangan adalah: 1) Klarifikasi tujuan. Tahap penting pertama dalam perancangan adalah bagaimana mencoba untuk menjelaskan tujuan/sasaran perancangan. Langkah-langkah pada tahapan ini adalah : Menyiapkan daftar tujuan perancangan, Menyusun ke dalam kumpulan tujuan tingkatan (*level*) tinggi dan *level* rendah dan Menggambarkan diagram pohon tujuan; 2) Penetapan fungsi. Analisis fungsi (*function analysis*) adalah untuk menetapkan kebutuhan fungsi dan batas sistem perancangan baru; 3) Penetapan spesifikasi. Metode penetapan spesifikasi pelaksanaan (*performance spesification*) adalah sesuatu yang diharapkan untuk membantu menjelaskan masalah perancangan. Spesifikasi artinya merupakan kebutuhan pelaksanaan dan bukan merupakan kebutuhan produk. Metode ini menegaskan pelaksanaan bagaimana penyelesaian perancangan harus dicapai dan tidak ada komponen fisik khusus yang memungkinkan cara-cara pencapaian pelaksanaan tersebut. Tujuan metode spesifikasi pelaksanaan adalah untuk membuat spesifikasi akurat dari kebutuhan pelaksanaan suatu penyelesaian perancangan; 4) Pembangkitan alternative. Tujuan utama metode ini adalah perluasan pencarian kemungkinan penyelesaian baru. Pada langkah ini dimungkinkan akan berkembang model baru dari disai yang telah ditetapkan.

Ergonomi. Prinsip utama ergonomi adalah bagaimana menyesuaikan pekerjaan dengan pekerja. Artinya, perancangan suatu alat/desain harus berdasarkan penggunaan oleh manusia, dan harus dipertimbangkan mengenai kemampuan dan kemauan manusia. Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (desain) atau rancang ulang / redesain (Nurmianto, 1996). Tarwaka (2004) menerangkan dalam bukunya seperti yang dikemukakan oleh Manuaba (1999) bahwa salah satu definisi ergonomi menitik beratkan pada penyesuaian desain terhadap manusia. Untuk dapat mendesain sesuai dengan kebutuhan manusia maka diperlukan data antropometri pemakai desain. Dikenal dua macam antropometri, yakni antropometri statis dan antropometri dinamis.

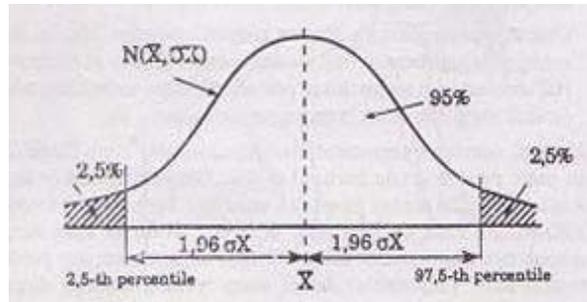
Untuk mengetahui apakah data antropometri telah sesuai dengan yang diperlukan dalam penelitian ini maka dilakukan beberapa uji, antara lain: 1) Uji Keseragaman Data. Uji keseragaman data digunakan untuk mengetahui apakah data yang telah diperoleh itu seragam, apakah berasal dari populasi yang sama, dan apakah data berada diluar batas atau tidak; 2) Uji Kecukupan Data. Apakah sampel data antropometri telah dianggap mencukupi untuk penelitian ini. Rumus yang digunakan adalah:

$$N' = \left( \frac{\frac{K}{S} \sqrt{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- N' = Jumlah pengukuran seharusnya
- N = Jumlah pengukuran yang sudah dilakukan
- K = Tingkat kepercayaan
- S = Tingkat ketelitian
- $x_i$  = Hasil pengukuran ke i

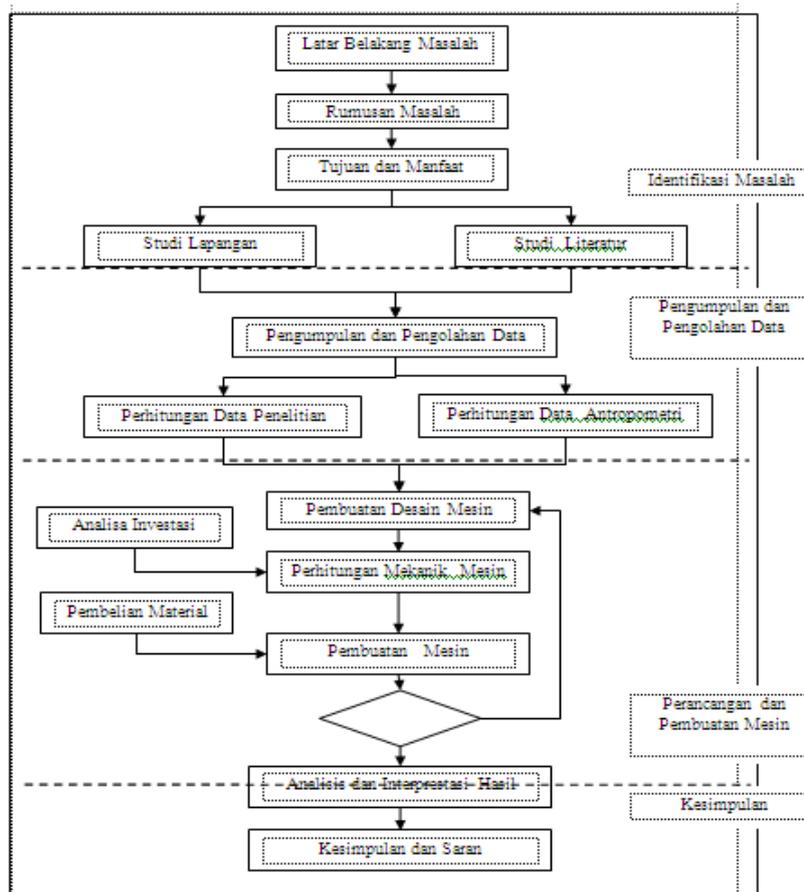
3) Persetil Data. Yang dimaksud persentil adalah nilai yang menunjukkan prosentase tertentu dari orang yang memiliki ukuran pada atau dibawah nilai tersebut. Dalam antropometri, angka 95-th akan menggambarkan ukuran manusia yang “terbesar” dan 5-th menunjukkan ukuran “terkecil”. Bilamana diharapkan ukuran yang mampu mengakomodasi 95% dari populasi yang ada maka diambil rentang 2,5-th dan 97,5-th persentil sebagai batas-batasnya.



Gambar 1. Distribusi normal dengan data antropometri 95 persentil (Nurmianto, 1991)

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Eksperimen dengan membuat mesin roller untuk menjawab permasalahan yang dihadapi KUB dan UKM Evan Collection. Lokasi penelitian dilaksanakan di Kelurahan Kademangaran Kecamatan Dukuhturi Kabupaten Tegal. Subjek penelitian ini adalah kelompok pekerja batik di UKM KUB Batik Dahlia di Kelurahan Kademangaran Kecamatan Dukuhturi Kabupaten Tegal. Objek penelitian adalah pekerja pada proses pengeringan pelepah pisang di UKM KUB Batik Dahlia di Kelurahan Kademangaran Kecamatan Dukuhturi Kabupaten Tegal.



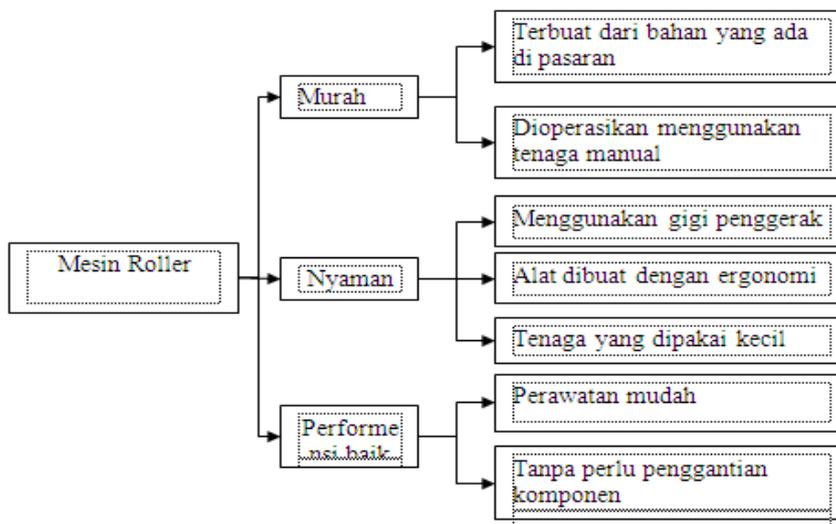
Gambar 2. langkah-langkah penelitian

Sumber Data. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari sumber objek yang diteliti (Djarwanto, 1997). Data primer dalam penelitian ini adalah data pengukuran antropometri tubuh pekerja dan data hasil wawancara (*voice of customer*), pengamatan secara langsung pekerja batik. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian, dengan mengumpulkan data-data yang sebelumnya telah dikumpulkan oleh pihak lain (Djarwanto, 1997). Data sekunder dalam penelitian ini adalah data-data yang berasal dari jurnal-jurnal penelitian, referensi dari perpustakaan dan dari dinas terkait.

Populasi dalam penelitian ini adalah pekerja batik pada KUB Dahlia. Sampel adalah sebagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi (Sugiyono, 2004). Sampel dalam penelitian ini adalah proses pengeringan pelepah pohon pisang dan pekerja batik pada UKM Evan Collection.

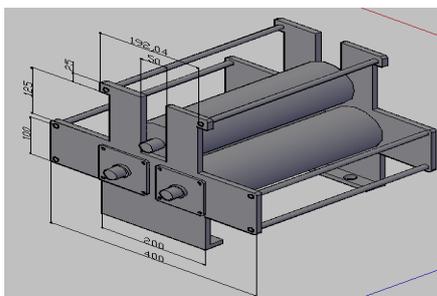
## HASIL PENELITIAN

Perancangan mesin, meliputi: 1) tahap klarifikasi tujuan. Tahapan ini merupakan tahapan dimana peneliti menangkap harapan-harapan yang ungkapkan oleh calon pemakai produk dalam bentuk bagan pohon. Harapan pekerja dari mesin yang baru adalah murah, mudah dioperasikan dan nyaman.



Gambar 2. Objective Tree Mesin Roller

2) Tahap Penetapan Fungsi. Pada tahapan ini, peneliti harus dapat menetapkan fungsi dari alat yang akan dibuat. Tahapan ini dapat dimaknai sebagai jawaban atas pertanyaan penelitian yaitu fungsi dari alat adalah untuk mempercepat proses pengeringan pada pembuatan packing batik; 3) Tahap penetapan spesifikasi. Tahapan ini menetapkan spesifikasi dari produk yang akan dibuat, termasuk bahan yang akan dipakai dan cara kerja dari mesin roller tersebut. Gambar dibawah ini adalah gambar dari mesin roller yang akan dibuat sesuai dengan permintaan pekerja di KUB Dahlia dan UKM Evan Collections. (gambar 4)



Gambar 4. Spesifikasi Produk



Gambar 5. Roller

4) Tahap Pembuatan Produk. Mesin roller terbuat dari beberapa komponen, seperti rumah mesin, roller, bearing set dan mur baut panjang. Komponen-komponen penyusun ada yang harus dibuat dan

ada yang dibeli serta modifikasi komponen yang dibeli. Adapun langkah langkah pembuatan mesin roller adalah sebagai berikut: a) pembuatan roller. Roller terbuat dari besi pejal galvanis. Penggunaan besi galvanis untuk menghindari karat pada mesain, karena roller berhubungan langsung dengan air yang akan dipress antara roller. (gambar 5); b) pembuatan rumah-rumah. Rumah-rumah terbuat dari besi plat dengan ketebalan 10 mm, hal ini untuk mendukung saat roller bekerja. (gambar 6); c) pembuatan baut panjang, berfungsi untuk merakit dua buah rumah-rumah tempat untuk meletakkan roller. Baut yang panjang merupakan modifikasi baut yang di sambung menggunakan besi beton esser yang di lakukan pembubutan dengan diameter yang disamakan dengan mur yang digunakan.(gambar 7); d) perakitan dilakukan ketika semua komponen telah dibuat, seperti terlihat pada gambar 8.

Perancangan Dudukan Mesin: 1) Data Anthropolometri. Data anthropometri yang diperlukan untuk merancang desain dudukan mesin roller. Desain dudukan dibuat pada posisi pekerjaan dilakukan dengan posisi berdiri, untuk itu data yang dibutuhkan adalah data siku antropometri pekerja. Sedangkan untuk merancang handle atau pemutar mesin didesain menggunakan data antropometri jarak siku ke ujung jari pekerja.(Tabel 1); 2) Pengolahan data anthropometri tinggi siku berdiri, terdiri dari: a) Rata-rata Anthropolometri Tinggi Siku Berdiri:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{1869}{20} = 93,45$$

b) Tinggi Dudukan Mesin. Dimensi tinggi siku berdiri adalah penentu dari tinggi meja yang merupakan dimensi maksimal, sehingga nilai tinggi siku berdiri yang digunakan untuk menentukan tinggi dudukan tersebut adalah persentil 5 (P5):

$$\begin{aligned} P &= \bar{x} - (1,645 \cdot \sigma) \\ &= 93,45 - (1,645 \cdot 4,55) \\ &= 86,46 \text{ cm} \end{aligned}$$

3) Pengolahan Data Anthropolometri Jarak Siku ke Ujung Jari Tengah, terdiri dari: a) Rata-rata Anthropolometri Jarak Siku ke Ujung Jari Tengah:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{832}{20} = 41,6$$

b) Menghitung Panjang Handle Pemutar Mesin. Dimensi jarak siku ke ujung jari adalah penentu dari tinggi meja yang merupakan dimensi maksimal, sehingga nilai jarak siku ke ujung jari yang digunakan untuk menentukan panjang handle tersebut adalah persentil 5 (P5):

$$\begin{aligned} P &= \bar{x} - (1,645 \cdot \sigma) \\ &= 41,6 - (1,645 \cdot 2,35) \\ &= 37,73 \text{ cm} \approx 38 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi panjang handle pemutar adalah 38 cm

Desain Dudukan Mesin. Dudukan mesin yang sudah jadi kemudian dirakit dengan mesin roller seperti pada gambar 9.

**Tabel 1.** Data anthropometri karyawan

No.	Nama	Usia (th)	Tinggi Siku Berdiri (cm)	Jarak Siku ke Ujung Jari (cm)	No.	Nama	Usia (th)	Tinggi Siku Berdiri (cm)	Jarak Siku ke Ujung Jari (cm)
1	Muntahanah	32	96	43	11	Latifah	37	98	45
2	Purwaningsih	30	93	41	12	Aliyah	40	92	39
3	Darimah	30	86	38	13	Inti Tra	29	96	42
4	Romlah	24	91	41	14	Saadah	40	92	43
5	Sailah	40	98	45	15	Nurlaela	21	93	39
6	Sunarti	40	90	40	16	Fatkhahun	38	85	38
7	Evi	24	100	45	17	Nur Atiyah	28	85	40
8	Nurifah	39	96	41	18	Sriyani	29	91	44
9	Luthfi	24	96	42	19	Nur Khafidoh	31	97	41
10	Khodijah	37	94	40	20	Komarayah	22	100	45



Gambar 6. Rumah mesin



Gambar 7. Baut panjang modifikasi



Gambar 8. Mesin roller yang sudah dirakit



Gambar 9. Dudukan mesin

Pengujian Mesin. Pengujian mesin dilakukan dengan cara mencoba mesin menggunakan material yang sesungguhnya yaitu pelepah pohon pisang. Hasil pengujian menunjukkan mesin dapat beroperasi dengan baik yaitu mampu mengurangi kandungan air pada pelepah pisang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pelepah yang telah dilakukan pengerolan mengering setelah dijemur 0,5 sampai 1 hari. Sedangkan waktu normal adalah lebih dari 3 hari. Mesin ini didesain dengan kemampuan untuk bekerja dengan ukuran ketebalan pelepah pisang beragam, dengan cara mengatur tinggi rendah roller atas. Pengaturan ini juga dimaksudkan untuk mengatur berapa banyak air yang akan dikeluarkan. Mesin didesain menggunakan tenaga manual untuk menyesuaikan daya listrik UKM.



Gambar 10. Pengujian mesin

## KESIMPULAN

Dari hasil diketahui bahwa mesin mampu mempercepat proses pengeringan pelepah pisang yang berarti mampu menunjukan percepatan produksi secara keseluruhan. Dari sisi operasional mesin sangat mudah dan dapat menggunakan pekerja yang ada dan tidak menambah biaya produksi karena dioperasikan secara manual.

## PUSTAKA

- Atmosoeharjo, H.S. 1994. *Penerapan Ergonomi Dalam Rekayasa manusia Mesin/Peralatan (Man-Machine Design)*. Forum Ilmu Kesehatan Masyarakat XII No. 1-2 : 113-122.
- Cross, N. 1994. *Engineering Design Methods – Strategies Of product*, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons Ltd, England.
- Grandjean. E. 1973. *Ergonomics In the Home*, Taylor and Francis, London.
- Manuaba, A. 1992. *Pengaruh ergonomi terhadap produktivitas*. Seminar Produktivitas Tenaga Kerja, Jakarta.
- Muller, K.F.H. 1965. *Ergonomic: man in his working environment*. Chapman and Hill Inc, London.
- Nurmianto, Eko. 1996. *Ergonomi konsep dasar dan aplikasinya*, Guna Widya, Jakarta.
- Nurmianto. E. 1998 *Ergonomi Konsep Dasar Dan Aplikasinya*, Edisi Pertama, Guna Widyan, Jakarta
- Prasetyowibowo, Bagas. 1999. *Desain Produk Industri*. Penerbit Yayasan Delapan Sepuluh, Bandung.
- Sritomo Wignjosobroto. 1997. *Prosiding Lokakarya Pengembangan Kemampuan Rancang Bangun Produk*.

## PROTOTYPE MESIN PENCETAK GARAM BRIKET OTOMATIS DENGAN SISTEM CRANKSHAFT PENGGERAK MOTOR LISTRIK 2 PK

Ariawan Wahyu P<sup>1</sup>, V.S Tripriyo<sup>2</sup>, Iwan Hermawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, <sup>2,3</sup>Jurusan Administrasi Niaga, Politeknik Negeri Semarang  
e-mail : <sup>1</sup>ariawanwhp@yahoo.co.id, <sup>2</sup>Tripriyo\_ps@yahoo.com, <sup>3</sup>hermawaniwan@yahoo.com

### ABSTRACT

*The main product of salt UKM in Pantura Central Java Juwana – Rembang is briquette and granular salt. The particular problem in making briquette salt is pressing technology. UKM produce briquette salt by 2 methods, using salt pressing machine and manual. The problem of pressing machine are : need big power (5PK), need 2 operators and low safety. The research will design and fabrication the effective and safety salt pressing machine.*

*The method used in the research is identify salt press machine technical and define specification of machine, design salt press machine, implemented machine design, Testing machine performance, Testing product, and analyze testing output. The result of research is prototype salt press machine with main dimension 100x100x150 cm, generated by electric motor 2 PK, use 1 operator and safety operational. Resulting of the research, Machine able to press 450 pieces per hour with reject about 4%. The product shows that solidity is nearly same with press machine and higher than manual press.*

**Key words :** Machine, Press, briquette salt

### PENDAHULUAN

Garam merupakan salah satu sumber kebutuhan elektrolit tubuh dan merupakan komponen penyedap pangan favorit yang digunakan di seluruh dunia. Kendati Indonesia termasuk negara maritim, namun usaha meningkatkan produksi garam belum optimal. Kebutuhan nasional garam masih menyisakan gap kuantitas (2,1 juta ton), dengan kebutuhan mencapai 3,3 juta ton sedangkan produksi garam nasional baru mencapai 1,2 juta ton, dan dipenuhi dengan melakukan import garam. **(Hendrajana B dan Bagiyo Suwasono, 2010)**

Di Pantura (Pantai Utara) Jawa Tengah khususnya daerah Juwana sampai Rembang banyak terdapat petani garam tradisional, yang hasil garamnya di jual ke pabrik garam, selanjutnya garam tersebut di olah menjadi dua produk utama yaitu garam briket dan garam meja. Khusus garam briket proses produksinya yaitu dari garam grosok atau garam kasar yang dicuci terlebih dahulu kemudian diberi yodium selanjutnya garam di pres menjadi berbentuk kubus. Proses pengepresan ini ada 2 cara yaitu manual dan menggunakan mesin pres, untuk pengepresan secara manual garam di haluskan (*crusher*) dulu agar mudah dicetak karena pencetakan manual menggunakan tenaga manusia. **(PT. Garam, 2000)**

Kelemahan pengepresan menggunakan palu (manual), selain produktifitasnya rendah juga bisa mengakibatkan kandungan yodium yang ada dalam garam akan menguap saat di oven, dikarenakan kepadatan garam kurang baik. Sedangkan mesin pres garam yang selama ini digunakan oleh UKM garam masih memiliki beberapa kelemahan; (a) Mesin pres garam diopeasikan oleh dua operator (kurang efektif), (b) Kurang aman penggunaannya (pengambilan garam secara manual sedangkan mesin terus melakukan pengepresan, sehingga rawan terjadi kecelakaan), (c) Mesin terlalu besar dan korosif, (d) Langkah pengepresan terlalu panjang, sehingga waktu pengepresan kurang efektif, (e) Daya motor yang digunakan sangat besar yaitu 5 PK, (f) Jumlah reject cukup tinggi sekitar 10 %. Oleh karena itu diperlukan penelitian pengembangan mesin cetak garam yang lebih efektif dan aman. Tujuan penelitian ini adalah membuat teknologi mesin pres garam yang efektif dan aman. Mesin dirancang otomatis dengan 1 operator, mesin aman bagi operator karena tidak kontak langsung dengan bagian pengepresan, dimensi lebih keci dan kompak, daya motor lebih kecil (2 PK), serta jumlah gagal produk (reject) dibawah 5%. **(Hakim dkk, 2012)**

Proses penelitian ini meliputi 2 bagian utama yaitu proses desain dan implementasi desain menjadi produk mesin pres garam. Tahapan desain meliputi langkah-langkah ; identifikasi kebutuhan, perumusan masalah, sintesis, analisa dan optimasi, evaluasi serta presentasi **(Joseph E. Shigley dan Larry D. Mitchell, 1991: 6)**. Dalam menentukan dimensi dan spesifikasi komponen utama mesin dilakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

• **Perhitungan Gaya Pres Crankshaft**

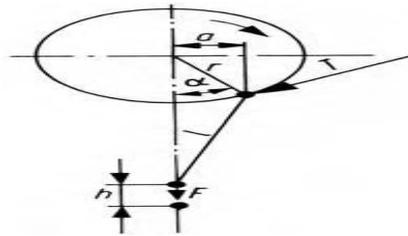
Daya Sesaat yang tersimpan pada flywheel

$$P_{desf} = P \left( \frac{360 - \alpha}{\alpha} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Gaya Tangensial Dinamis

$$T_{fd} = \frac{P_{desf} \times 60}{r_c \times \pi \times n} \dots \dots \dots (2)$$

Gaya Pres pada Crankshaft



Gambar 1. Diagram Benda Bebas Crankshaft

$$F = \frac{T_{fd}}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (3)$$

• **Perhitungan V-belt**

Perbandingan transmisi

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Dp}{dp} \dots \dots \dots (4)$$

Kecepatan sabuk

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 1000} \dots \dots \dots (5)$$

Panjang sabuk

$$L = 2X + \frac{\pi}{2}(dp + Dp) + \frac{1}{4X}(Dp - dp)^2 \dots \dots \dots (6)$$

Jumlah sabuk yang diperlukan

$$N = \frac{F_m}{F_0} \dots \dots \dots (7)$$

(Khurmi, 2005)

• **Perhitungan Kebutuhan Daya Motor**

Daya motor

$$P = T \times \omega \dots \dots \dots (8)$$

dimana,

$$T = F \times l \text{ dan } \omega = (2 \times \pi \times n) / 60 \dots \dots \dots (9)$$

(Sularso, 1997)

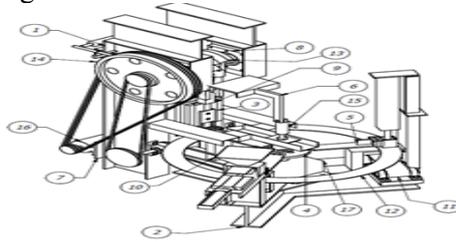
**METODE PENELITIAN**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : unit mesin pres garam, mesin uji tarik/tekan, mesin oven.

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- A. Melakukan kajian indentifikasi teknikal rekayasa mesin garam yang ada dan mendefinisikan (a) Hemat Tempat - ukuran dan dimensi dari mesin pengepress garam ini sederhana dan cukup kecil 100 X 100 cm x 150 cm. (b) Praktis dan mudah pengoperasiannya: pengoperasian mesin lebih mudah dan aman. (c) tidak memerlukan operator khusus.

- B. Rekayasa produk mampu mendorong peningkatan kapasitas dan kualitas produksi, dimana kecepatan produksi kualitas dan jumlah produk gagal lebih baik dari teknik pres tumbuk manual. Dengan indikator jumlah **garam reject (alfa <5%)**.
- C. Membuat Desain Mesin Pres garam



Gambar 2. Desain Mesin Pres Garam

- D. Implementasi Rancangan Mesin
- E. Menguji Mesin Hasil Rancang Bangun
- F. Menguji Produk Garam yang Dihasilkan

**PEMBAHASAN**

Hasil penelitian ini adalah berupa unit mesin presgaram (gambar 3) dengan spesifikasi dimensi utama 100 x100 x 150 cm, penggerak motor listrik 2 PK, mekanisme pengepresan dengan sistem fly-wheel crank shaft, operator 1 orang



Gambar 3. Mesin Pres Garam Hasil Penelitian

Prinsip kerja dari mesin pres garam yang dirancang bangun ; Langkah pertama pengisian hoper dengan garam halus/ kasar, kemudian reducer memutar cavity hingga mencapai bagian pengepresan dimana terdapat limit switch untuk mengaktifkan silinder pada kopling cavity untuk menarik kopling sehingga putaran cavity berhenti. Silinder pneumatik pada hopper aktif, lalu mendorong garam dari hopper menuju cavity. Setelah beberapa saat dengan memanfaatkan timer, silinder pada crankshaft mendorong batang penyangga kopling flywheel untuk selanjutnya akan memutar crankshaft untuk mengepres garam. Pada saat punch naik, limit switch yang terdapat disamping ekor burung punch akan tersentuh yang selanjutnya akan mengaktifkan silinder pneumatik pada ejector. Ejector akan turun untuk mendorong garam jatuh dari cavity menuju konveyor. Ketika ejektor naik terdapat limit switch yang ketika tersentuh akan memundurkan posisi hopper keposisi semula dan menurunkan kopling pada cavity sehingga cavity dapat berputar lagi mengikuti putaran reducer. Proses selesai dan kembali ke proses awal lagi.

**Pengujian Mesin**

Proses pengujian merupakan suatu uji coba dari keberhasilan alat atau mesin yang dirancang berdasarkan tujuan dan fungsi dari pembuatan alat atau mesin tersebut. Proses pengujian dilakukan dengan cara menjalankan mesin , menghitung kapasitas pengepresan garam tiap jam, baik untuk garam halus maupun kasar, dan menghitung jumlah produk yang gagal (reject).

**Hasil Pengujian Mesin**

Dari hasil pengujian didapat data sebagai berikut :

**Tabel 1.** Pengujian Kapasitas Mesin dan Jumlah Produk Gagal

Jenis garam	Pieces/jam	Tingkat Keberhasilan (%)
Halus	450	97,7%
Kasar	450	95,6%

Dari data hasil pengujian alat diatas terlihat jumlah maksimum garam yang dapat dihasilkan

oleh mesin pres garam sebanyak 450 *pieces* baik itu untuk jenis garam kasar maupun halus dengan tingkat kegagalan pada garam halus 2,3% dan garam kasar 4,4%.

### **Pengujian Produk Garam Briket**

Masalah utama pengepresan garam dengan cara manual adalah produk yang dihasilkan mudah pecah (*reject*) dan kandungan yodium mudah terurai ketika proses oven. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian produk hasil mesin out-put penelitian kemudian dibandingkan dengan produk pres manual dan pres dengan mesin yang dipakai UKM.

**Tabel 2.** Pengujian Kekuatan Garam Briket

No	Jenis Garam	Gaya yang dibutuhkan sampai garam pecah (Newton)		
		1	2	3
1	Garam produksi rumahan (pres manual)	900	950	850
2	Garam produksi perusahaan	1200	1250	1200
3	Garam hasil mesin penelitian	1200	1150	1250

Proses pengujian adalah dengan uji tekan menggunakan mesin *universal testing machines*, garam briket diletakkan di landasan kemudian ditekan dan dicatat besarnya gaya yang dibutuhkan sampai garam pecah. Hasil pengujian dibandingkan antara garam briket pres manual, mesin pres yang digunakan UKM), mesin pres penelitian. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa gaya yang dibutuhkan sampai garam pecah, antara hasil mesin UKM dan mesin penelitian hampir sama yaitu sekitar 1200 N, hal ini berbeda dengan garam briket hasil pres manual yaitu sekitar 900 N. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa produk hasil penelitian lebih tidak mudah rusak (pecah) jika dibandingkan dengan mesin pres manual.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan pengujian dapat dibuat kesimpulan sementara :

- 1) Mesin dapat memproduksi garam *briket* dengan bahan baku garam halus maupun dengan garam kasar.
- 2) Kapasitas produk yang dihasilkan yaitu sekitar 450/jam, dengan tingkat kegagalan pada garam halus 2,3% dan garam kasar 4,4%.
- 3) Alat lebih aman dibanding mesin yang digunakan UKM dan hanya butuh 1 operator.
- 4) Dari hasil uji tekan produk garam briket penelitian lebih tidak mudah pecah dibandingkan produk pres manual, dan setara dengan hasil mesin pres yang digunakan UKM.

### **Saran**

Kedepan perlu dikembangkan mesin pres setipe dengan mesin hasil penelitian dengan dua cavity sekali pres, tentunya dengan kontruksi yang lebih kuat, sehingga kapasitas produksi dan jumlah *reject* bisa dioptimalkan.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada DIKTI yang telah mendanai penelitian hibah bersaing ini.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Hakim, Archit, Ariawan. 2012. *Rancang Bangun Mesin Press Garam dengan Penggerak Motor Kopleng*. Tugas Akhir Mahasiswa Teknik Mesin POLINES, Semarang
- Hendrajana B dan Bagiyo Suwasono, 2010, *Penerapan IPTEK untuk Pengembangan Model Kawasan Industri Garam Rakyat*, Laporan Akhir Iptekmas, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pesisir, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan), Jakarta.
- Joseph E. Shigley dan Larry D. Mitchell, 1995, *Perencanaan Teknik Mesin*, Erlangga, Jakarta.
- Khurmi, R.S & Gupta, J.K. 2005. *Textbook of machine design*. Eurasia Publishing House (PVT.) LTD : New Delhi
- Sularso & Suga, Kiyokatsu. 1997. *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*, PT. Pradnya Paramita : Jakarta
- PT. Garam, 2000, *Teknologi Pembuatan dan Kendala Produksi Garam di Indonesia*, Departemen Kelautan dan Perikanan.

## SIMULASI MODEL KARAKTERISTIK *SELF EXCITED VIBRATIONS* DALAM ALIRAN FLUIDA DENGAN ANSYS

Sufiyanto<sup>1)</sup>, Rudi Hariyanto<sup>2)</sup>, Darto<sup>3)</sup>,

<sup>1,2,3)</sup> Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang

<sup>1)</sup> ui\_masrudi@yahoo.com, <sup>2)</sup> otnayifus@yahoo.co.id, <sup>3)</sup> darto\_unmer@yahoo.com

### ABSTRACT

*Change of speed stream and pressure fluid or change both of them caused vibrations in piping system are called self excited vibrations. Beside that stream fluctuation can increase the happening of energy losses in stream.*

*The aim of this experiment to obtain fluid stream characteristics that caused self excited vibrations and structure characteristics is effected the vibrations.*

*The applied method is a model simulation with ANSYS software in order to analyse of fluid stream characteristics when passed through pinch area and structure analysis that is effected by the fluid stream characteristics. The result of stream characteristics are pressure change and speed of stream at the inlet and outlet area and also pinch area. Here in after the stream characteristic used to analyse vibration characteristic with mathematical model.*

*The result of which is obtained from model simulation indicate that moment fluid flow characteristic pass pinch area happened change of potential energy in the form of pressure become kinetic energy in the form of speed of stream and or on the contrary. The frequency of self excited vibrations from mathematical model equation show value between 16 - 18 Hz. The result of structure simulation model ANSYS show average pressure around  $2,15 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  with elongation equal to 2,8%.*

**Key words :** Stream Characteristics, Self Excited Vibrations, ANSYS Simulation Model

### PENDAHULUAN

Konsep dasar tentang getaran mekanik dan mekanika fluida merupakan hal yang telah dipelajari secara luas dan menjadi bagian penting dalam bidang teknik mesin. Namun aplikasi ataupun kajian yang menggabungkan atau mengkombinasi kedua konsep dasar tersebut dalam sebuah sistem fluida masih jarang dilakukan. Salah satu peristiwa yang dapat terjadi dan diamati dalam sebuah aliran sistem fluida yaitu terjadinya fenomena *self excited vibrations*. Fenomena ini muncul pada sebuah sistem fluida yang pada awalnya dalam kondisi aliran tunak (*steady flow*) tetapi kemudian menunjukkan gejala terjadinya getaran tanpa adanya gaya luar yang mempengaruhi sistem tersebut (Pejack, 2006). Pada kecepatan aliran yang kritis akan terjadi osilasi yang kemudian berkembang menjadi amplitudo yang besar. Peningkatan kecepatan yang lebih tinggi akan mempercepat terjadinya kondisi tidak stabil dalam aliran. Selain itu juga dilakukan analisis pendekatan matematis untuk menentukan kriteria dan mengungkap mekanisme ketidakstabilan saat terjadinya *self excited vibrations* yang diamati.

Dalam sistem fluida yang memiliki karakteristik kecepatan, tekanan dan perubahan kedua karakteristik yang terjadi pada aliran fluida tersebut dapat memberikan kontribusi terjadinya getaran, aliran tumbukan maupun tekanan balik yang umum terjadi dalam pengoperasian mesin-mesin hidrolis. Permasalahan yang muncul pada aliran fluida dengan adanya faktor aliran tumbukan, tekanan balik dan getaran dapat mengakibatkan pembengkakan pada sistem perpipaan. Pada kasus yang ekstrim dapat mengakibatkan keretakan dan kegagalan fatig pada sistem perpipaan. Pompa dan katup merupakan komponen dalam sistem perpipaan penyebab terbesar terjadinya getaran dan aliran tumbukan akibat perubahan drastis tekanan dan kecepatan yang terjadi pada komponen tersebut (Walker, 2007).

Penelitian tentang karakteristik aliran fluida yang mengalir di dalam sebuah *tube* telah dianalisis oleh Hazel dan Heil (2003). Pada saat tekanan fluida yang bekerja dalam *tube* bernilai negatif maka *tube* akan mengalami pengkerutan (*collapsible tubes*) kemudian *tube* menekuk tidak simetris dan deformasi yang besar mengakibatkan interaksi yang kuat antara fluida dan dinding *tube*. Pengaruh utama dari inersia fluida pada perilaku sistem yang diakibatkan oleh efek Bernoulli dapat membangkitkan penambahan *pressure drop* ketika *tube* menekuk dan luas penampang berkurang. Pada saat itu perubahan pembebanan fluida pada dinding dapat mengakibatkan interaksi kuat struktur-fluida, yang berpotensi menyebabkan fenomena seperti pembatasan aliran dan berkembang menjadi perpindahan yang besar pada osilasi dinding sebagai getaran yang dibangkitkan sendiri dalam aliran.

Penelitian lain yang menganalisa hubungan antara karakteristik aliran fluida dan struktur dinding *tube* dilakukan oleh Heil dan Waters (2006). Analisa tentang *tube* berisi fluida dengan

konstanta elastis dinding yang menunjukkan osilasi frekwensi tinggi dengan amplitudo kecil. Gangguan kecepatan yang dibangkitkan oleh gerakan dinding didominasi oleh komponen transversal dan menggunakan simulasi numeris untuk menganalisa aliran dua dimensi yang berkembang dalam penampang *tube*.

Dalam penelitian ini dilakukan analisa karakteristik aliran fluida yang mengalami *self excited vibrations* dengan menggunakan simulasi model ANSYS. Dengan melakukan variasi nilai rasio jepitan (*pinch ratio*) pada penampang aliran selang fleksibel yang menghasilkan kondisi kritis pada aliran fluida, maka diperoleh karakteristik aliran fluida sebagai akibat perubahan penampang aliran tersebut. Perubahan kecepatan aliran dan tekanan fluida yang terjadi merupakan karakteristik aliran yang akan diamati pada hasil simulasi model tersebut. Selanjutnya analisa struktur dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan karakteristik aliran terhadap karakteristik struktur pada dinding selang fleksibel.

**Definisi Self-Excited Vibrations**

*Self excited vibrations* dalam mekanika fluida adalah sebuah getaran yang berubah menjadi tidak stabil (*unstable*) tanpa adanya gangguan eksternal tetapi dicirikan dengan sebuah kondisi awal yang stabil dalam aliran tunak (*steady flow*). Getaran yang terjadi berkembang dari sebuah aliran dan kemudian menunjukkan peningkatan amplitudo getaran (Pejack, 2006).

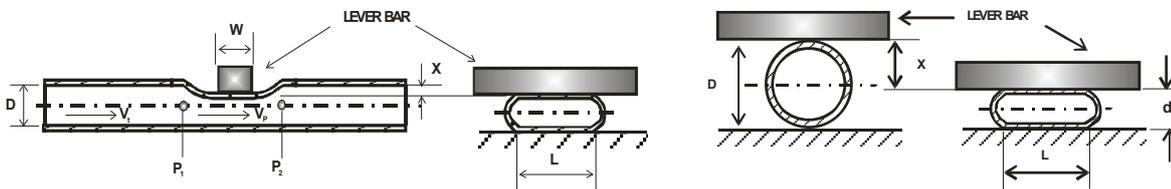
Bentuk umum *self excited vibrations* digunakan karena pendekatan aliran atau sistem aliran fluida adalah *steady flow* dan tanpa diawali gangguan eksternal secara periodik atau mempertahankan getaran. Salah satu aspek yang mempengaruhi terjadinya getaran dengan pembangkitan sendiri adalah adanya perubahan luasan saluran *pinch* yang dilalui oleh aliran fluida (Pejack, 2006).

**Model Matematis Self-Excited Vibrations**

Model matematis sederhana dari sistem fluida yang mengalami *self excited vibrations* dikembangkan untuk mengungkap mekanisme dibalik ketidakstabilan dan memperoleh kriteria untuk ketidakstabilan (Pejack, 2006). Untuk mendapatkan gambaran tentang model matematis, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Variabel-variabel yang digunakan dalam persamaan model matematis adalah :

- |  |   |
|--|---|
| $A_t$ : luas penampang <i>tube</i>                     | $P_2$ : tekanan sisi keluar daerah jepit              |
| $A_p$ : luas penampang jepit                           | $V_t$ : kecepatan fluida di dalam <i>tube</i>         |
| $D$ : diameter luar <i>tube</i>                        | $V_p$ : kecepatan fluida di daerah jepit              |
| $g$ : gravitasi  | $W$ : lebar batang tuas                               |
| $K$ : konstanta elastis pegas ( $K$ ) dari <i>tube</i> | $x$ : jarak perpindahan <i>tube</i> pada daerah jepit |
| $L$ : panjang kontak batang dengan <i>tube</i>         | $x_e$ : jarak perpindahan saat kesetimbangan          |
| $m$ : masa tuas dan beban di lokasi jepit              | $\alpha$ : rasio luas $A_p/A_t$                       |
| $P_t$ : tekanan di dalam <i>tube</i>                   | $\rho$ : densitas fluida                              |
| $P_a$ : tekanan atmosfer                               | $\beta$ : $x/D$                                       |
| $P_1$ : tekanan sisi masuk daerah jepit                |   |



Gambar 1. Model Matematis dan Deformasi Penampang di Daerah Jepitan (*Pinch*)

Dengan menggunakan persamaan differensial gerakan dari hukum Newton kedua diperoleh persamaan sbb :

$$\left[ \frac{\pi W (P_a - P_b)}{4} + \left( \frac{\pi W}{8} \right) \frac{\rho V_t^2}{(1 - (x/D)^2)^2} - K \right] x + mg = m\ddot{x} \tag{1}$$

Kriteria *self excited vibrations* terjadi pada kondisi dimana energi kecepatan lebih besar dibandingkan dengan energi potensial yang berupa tekanan dan konstanta elastis *tube* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\frac{\pi W \rho V_t^2}{8} \left[ \frac{1 + 3\beta_e^2}{(1 - \beta_e^2)^3} \right] > K + \frac{\pi W}{4} (P_t - P_a) \quad (2)$$

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan digunakan adalah dengan metode analisis simulasi dengan menggunakan bantuan *software* ANSYS untuk menganalisa karakteristik aliran fluida pada saat melewati daerah jepitan. Karakteristik aliran yang dihasilkan berupa perubahan tekanan dan kecepatan aliran fluida pada daerah sebelum dan sesudah jepitan serta daerah tepat dibawah daerah jepitan. Selanjutnya karakteristik aliran tersebut digunakan untuk melakukan analisis karakteristik getaran menggunakan model matematis. Data-data yang diperlukan dalam melakukan simulasi diperoleh dari data eksperimen sebagai data input.

### Variabel Penelitian

Adapun variabel pengujian dalam penelitian ini adalah :

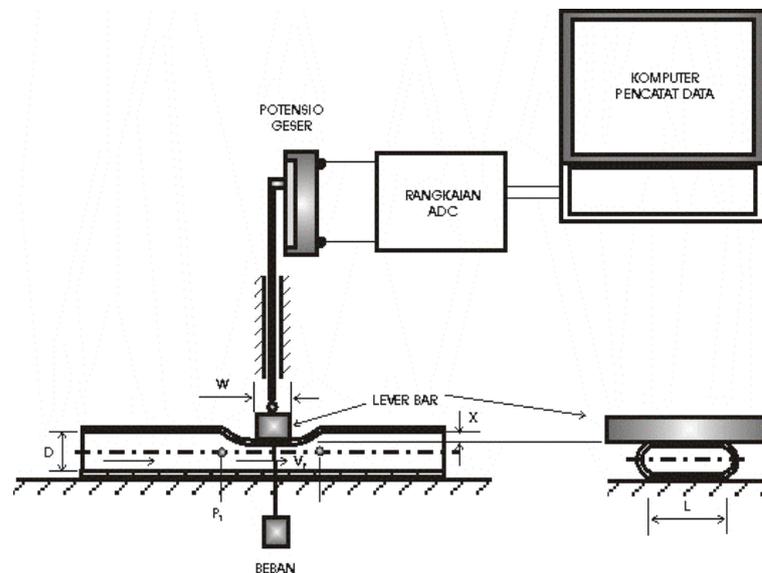
- **Variabel bebas** :  $\alpha$  = rasio jepitan pada *tube* yang dilakukan dengan mengatur besarnya pembebanan
- **Variabel terikat** :  
 $P$  = tekanan fluida di daerah *pinch* (N/m<sup>2</sup>)  
 $V$  = kecepatan aliran di daerah *pinch* (m/dtk)

### Alat yang Digunakan

Adapun peralatan uji yang digunakan (gambar 2) terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

- Pompa air (*water pump*)
- Pengukur aliran (*flow meter*)
- Pengukur tekanan (*pressure gauge*)
- Alat pencatat getaran
- *Dial indikator*
- Jangka sorong

### Skema Pengujian



Gambar 2. Skema Alat Uji

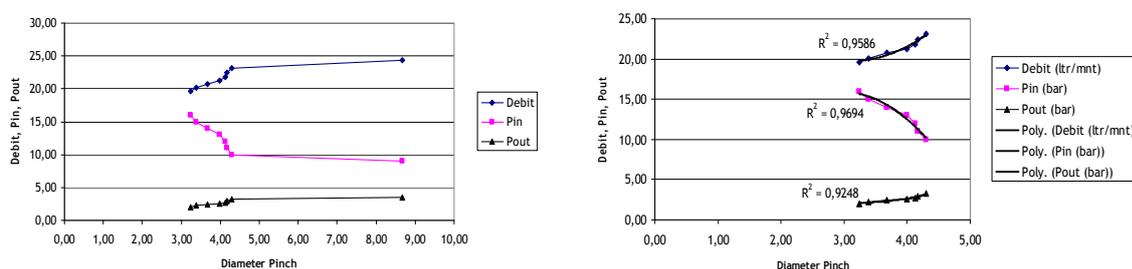
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Pengujian

Adapun data penelitian yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan perhitungan seperti ditunjukkan pada tabel 1.

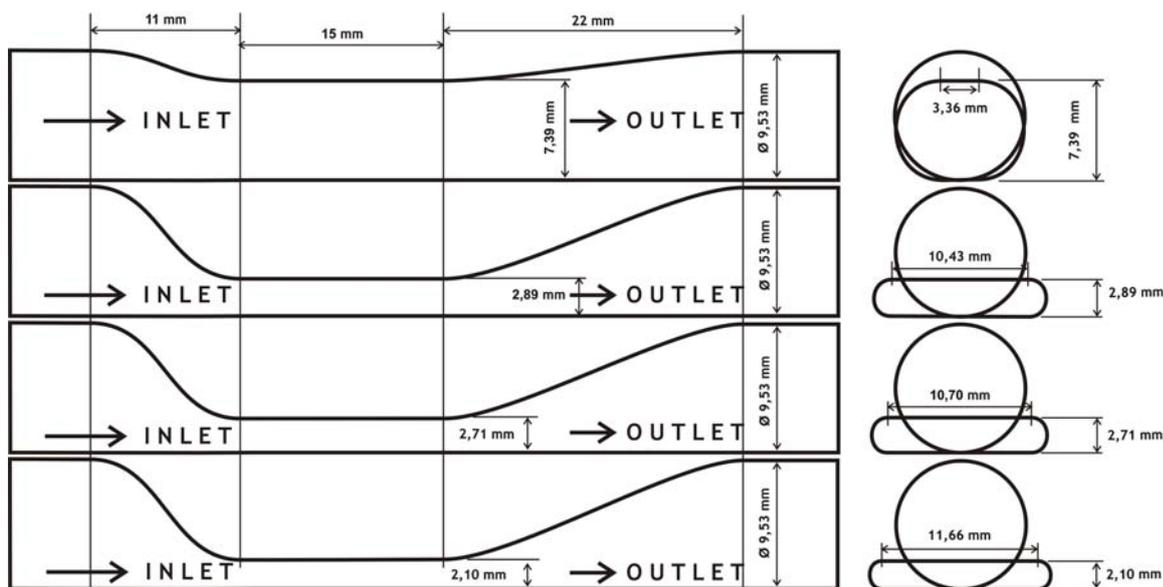
Tabel 1. Pengolahan Data Pengujian

no	Diameter Pinch (mm)				Debit (ltr/mnt)				P <sub>in</sub> (Psi)	P <sub>out</sub> (Psi)			
	Uji-1	Uji-2	Uji-3	Rerata	Uji-1	Uji-2	Uji-3	Rerata		Uji-1	Uji-2	Uji-3	Rerata
1	8.70	8.60	8.70	8.67	24.39	24.39	24.39	24.39	9.00	3.50	3.50	3.50	3.50
2	4.48	4.20	4.20	4.29	23.19	23.19	23.07	23.15	10.00	3.50	3.10	3.10	3.23
3	4.20	4.12	4.18	4.17	22.59	22.59	22.12	22.43	11.00	3.10	2.90	2.80	2.93
4	4.10	4.13	4.15	4.13	22.00	22.00	21.40	21.80	12.00	2.80	2.60	2.70	2.70
5	4.02	4.01	3.95	3.99	21.40	21.16	21.16	21.24	13.00	2.60	2.50	2.60	2.57
6	3.80	3.72	3.51	3.68	20.80	20.80	20.68	20.76	14.00	2.50	2.40	2.40	2.43
7	3.35	3.38	3.42	3.38	20.20	19.96	20.20	20.12	15.00	2.40	2.30	2.00	2.23
8	3.24	3.31	3.16	3.24	19.60	19.60	19.60	19.60	16.00	2.20	1.90	1.80	1.97



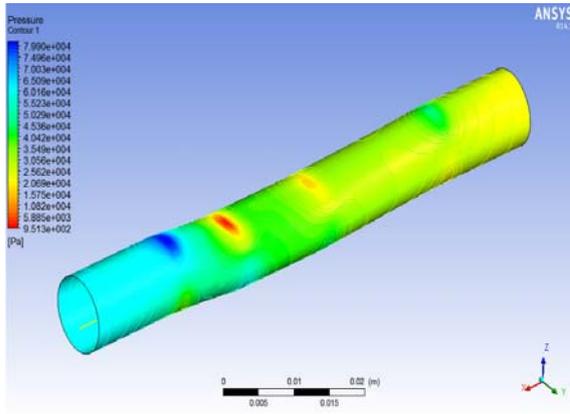
Gambar 3. Karakteristik Aliran Antara Diameter Pinch dan Debit

Berdasarkan data pada tabel 1 digunakan sebagai data untuk penggambaran geometri model yang akan dianalisa menggunakan software ANSYS untuk membuat simulasi aliran fluida dalam tube. Terdapat 4 model geometri yang digunakan untuk membandingkan karakteristik aliran fluida di dalam tube dengan ANSYS.

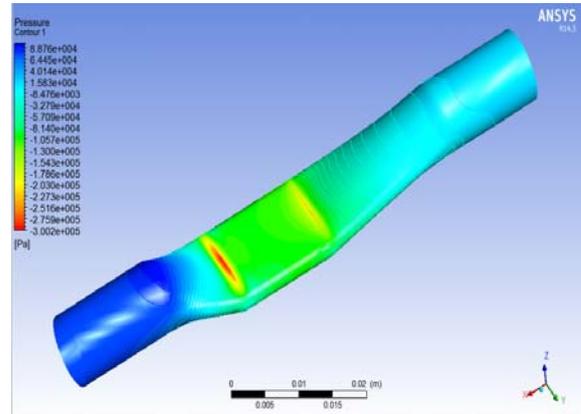


Gambar 4. Model Geometri Simulasi ANSYS

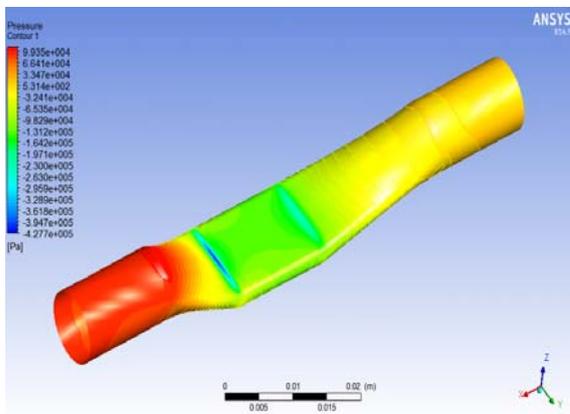
Hasil simulasi ANSYS karakteristik aliran (Gambar 5) berdasarkan model geometrinya sebagai berikut :



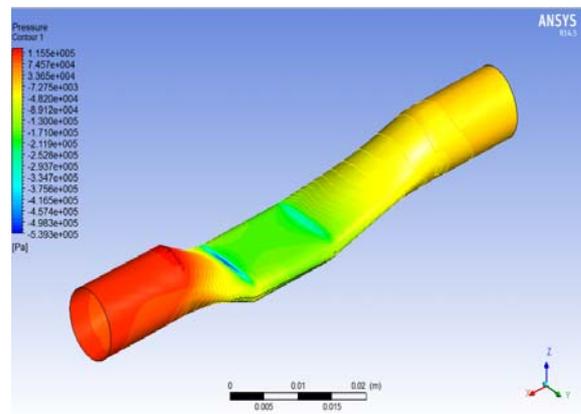
Model Geometri-1



Model Geometri-2

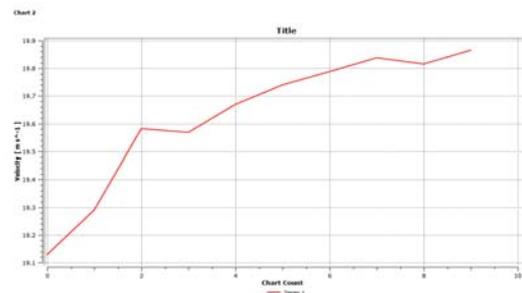
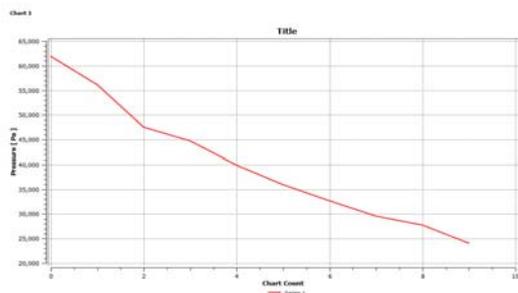


Model Geometri-3

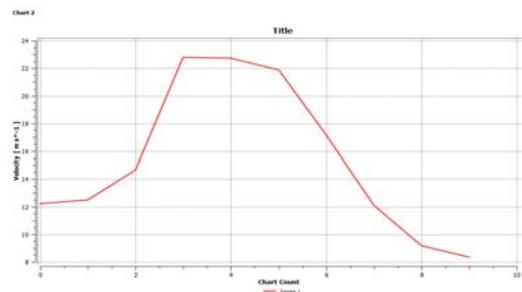
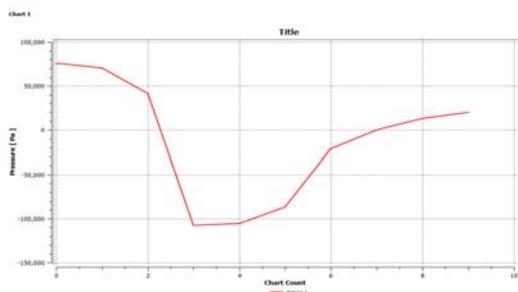


Model Geometri-4

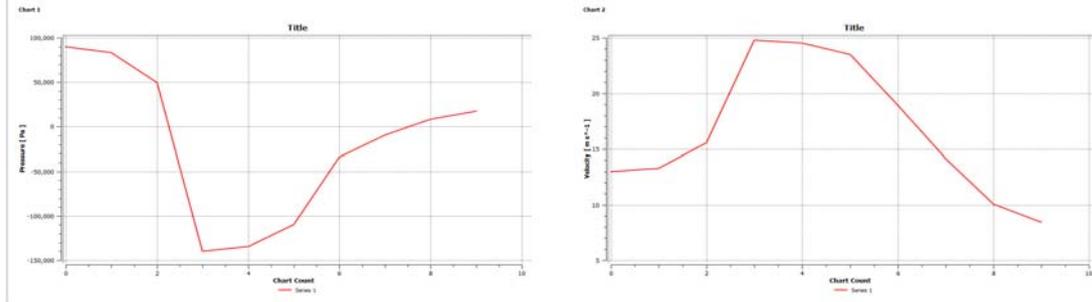
Gambar 5. Hasil Simulasi Model Geometri



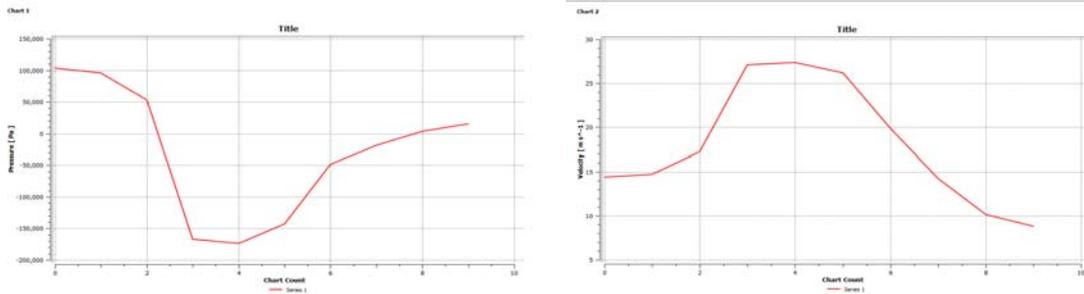
Gambar 6. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-1



Gambar 7. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-2



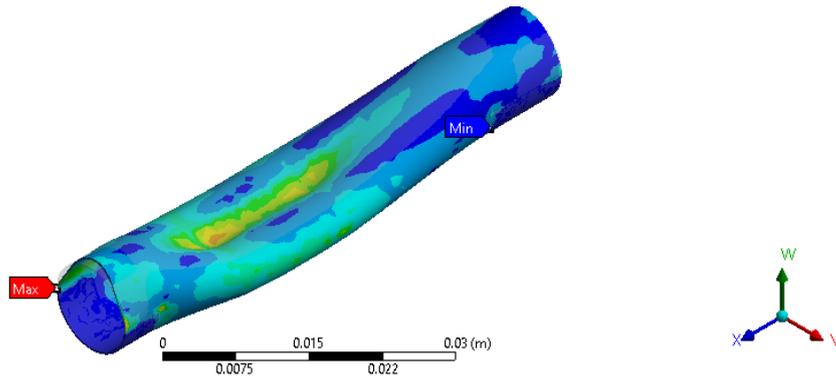
Gambar 8. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-3



Gambar 9. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-4

**B: GEOMETRI 1 Static Structural**  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: Pa  
 Time: 1  
 19-Aug-14 7:05 PM

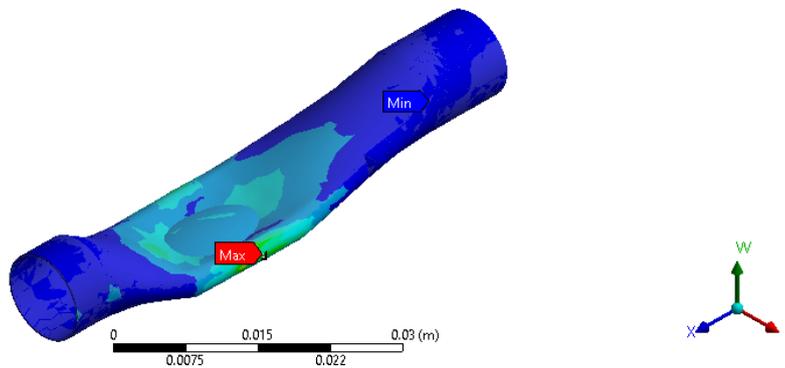
9.7168e7 Max  
 8.6372e7  
 7.5576e7  
 6.478e7  
 5.3984e7  
 4.3188e7  
 3.2392e7  
 2.1596e7  
 1.08e7  
 3594.4 Min



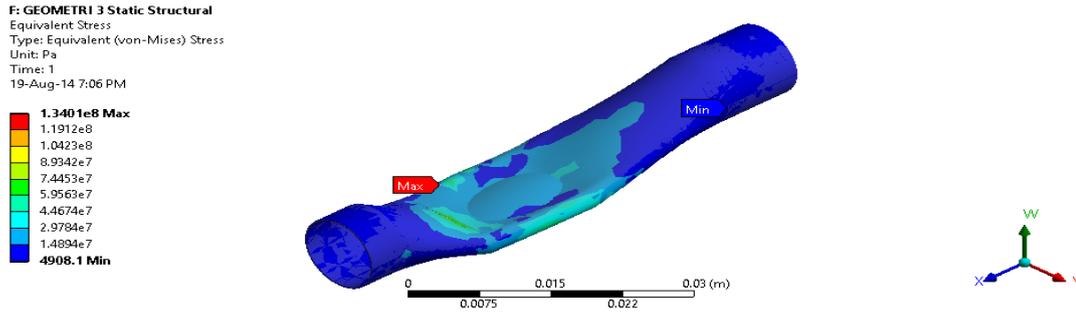
Gambar 10. Simulasi Tegangan Struktur Model Geometri-1

**D: GEOMETRI 2 Static Structural**  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: Pa  
 Time: 1  
 19-Aug-14 7:06 PM

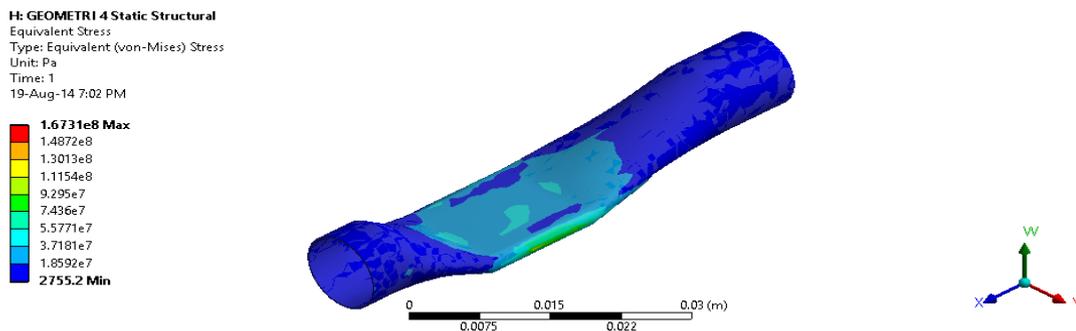
9.8285e7 Max  
 8.7366e7  
 7.6447e7  
 6.5527e7  
 5.4608e7  
 4.3688e7  
 3.2769e7  
 2.185e7  
 1.093e7  
 11069 Min



Gambar 11. Simulasi Tegangan Struktur Model Geometri-2



Gambar 12. Simulasi Tegangan Struktur Model Geometri-3



Gambar 13. Simulasi Tegangan Struktur Model Geometri-4

Berdasarkan nilai tekanan dan kecepatan hasil pengujian maka dapat dilakukan penghitungan frekwensi berdasarkan persamaan model matematis. Hasil perhitungan frekwensi model matematis ditunjukkan dengan tabel 3 berikut.

Tabel 3. Frekwensi Model Matematis

m (kg)	(P <sub>i</sub> -P <sub>a</sub> ) KN/m <sup>2</sup>	Kecepatan Aliran V <sub>t</sub> m/dtk	K	W	ρ	βe	K <sub>sistem</sub> (N)	ω = √(K/m)	f = ω/2π
0.20	62.05	5.70	1723.6	0.01	1000	0.776	-4474.17	#NUM!	#NUM!
0.20	68.95	5.41	1723.6	0.01	1000	0.316	2126.85	103.12	16.42
0.20	75.84	5.25	1723.6	0.01	1000	0.303	2217.35	105.29	16.77
0.20	82.74	5.10	1723.6	0.01	1000	0.299	2297.64	107.18	17.07
0.20	89.63	4.97	1723.6	0.01	1000	0.285	2381.81	109.13	17.38
0.20	96.53	4.85	1723.6	0.01	1000	0.252	2472.25	111.18	17.70
0.20	103.42	4.70	1723.6	0.01	1000	0.221	2559.03	113.12	18.01
0.20	110.32	4.58	1723.6	0.01	1000	0.205	2635.95	114.80	18.28

### Pembahasan

Tekanan awal fluida di dalam *tube* tanpa adanya beban penjepit sebesar 6 psi (4,1 . 10<sup>4</sup> Pa) ditunjukkan pada pembacaan manometer yang terpasang pada sisi *inlet*. Pada model geometri-1 dengan *d<sub>out pinch</sub>* = 8,67 mm terjadi peningkatan tekanan pada *inlet* menjadi 9 psi (6,2 . 10<sup>4</sup> Pa). Hal ini terjadi karena dengan perubahan penampang diameter *pinch* yang mengecil maka tekanan fluida akan meningkat. Dengan semakin kecil diameter *pinch* maka tekanan sisi *inlet* akan semakin besar karena fluida tertahan memasuki daerah *pinch*. Hal ini berdampak pada tekanan sisi *outlet* semakin menurun dan pada tekukan memasuki daerah *pinch* terjadi *pressure drop*. Pada contour tekanan yang dihasilkan oleh model geometri menunjukkan adanya daerah dengan aliran yang mengalami *pressure drop* pada tekukan memasuki daerah *pinch*. Tetapi pada hasil simulasi model geometri 1 belum menunjukkan terjadinya *pressure drop* pada contour tekanannya karena *pinch ratio* yang diberikan belum menghasilkan kondisi kritis untuk terjadinya *self excited vibration*.

Penurunan tekanan fluida di dalam *tube* justru akan meningkatkan kecepatan aliran fluida. Hal ini sesuai dengan konsep kontinuitas aliran Hukum Bernoulli, dimana pada daerah *pinch* terjadi

pengurangan luasan penampang sehingga kecepatan aliran fluida justru akan meningkat. Semakin menyempit daerah *pinch* maka semakin tinggi kecepatan aliran dan diikuti dengan penurunan tekanan fluida. Fenomena tersebut dapat dilihat pada gambar 6, 7, 8, 9 karakteristik aliran fluida pada hasil simulasi keempat model geometri yang ada.

Berdasarkan tinjauan konsep energi bahwa energi yang dimiliki oleh fluida selama mengalir di dalam *tube* adalah konstan. Pada saat terjadi perubahan penampang yang dilewati fluida di daerah *pinch* maka akan terjadi perubahan karakteristik aliran yaitu antara tekanan fluida dan kecepatan aliran. Saat fluida memasuki daerah *pinch* pada sisi *inlet* aliran akan tertahan sehingga tekanan fluida meningkat dan kecepatan aliran menurun. Di daerah *pinch* selanjutnya akan terjadi penurunan tekanan karena fluida tertahan di sisi *inlet*, tetapi justru fluida harus mengalir dengan kecepatan yang lebih tinggi untuk mempertahankan debit aliran sesuai Hukum Kontinuitas aliran.

Perubahan karakteristik aliran antara tekanan fluida dan kecepatan aliran tersebut menunjukkan adanya bentuk pertukaran energi antara energi potensial berupa tekanan fluida dan energi kinetik berupa kecepatan aliran. Siklus perubahan energi tersebut akan silih berganti sehingga memunculkan fenomena getaran yang disebut dengan *self excited vibrations*.

Terkait dengan analisa frekwensi model matematis yang ditunjukkan dalam tabel 3, dapat dijelaskan bahwa frekwensi osilasi yang terjadi pada saat *self excited vibrations* terjadi berkisar antara 16 sampai 18 Hz. Sedangkan nilai frekwensi model untuk data pertama tidak menghasilkan sebuah nilai dari perhitungan karena  $K_{\text{sistem}}$  pada data tersebut menghasilkan nilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa energi potensial yang dimiliki oleh sistem berupa tekanan dan konstanta elastis selang masih lebih besar dari energi kecepatan aliran yang terjadi. Pada kondisi ini nilai *pinch ratio* yang diberikan pada selang belum mencapai nilai kritis sehingga *self excited vibrations* belum terjadi.

Berdasarkan *material properties* dari bahan selang yaitu polypropelene memiliki kekuatan tarik sebesar 4000 psi ( $2,758 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ ) dan deformasi pada kondisi luluh 23%. Hasil simulasi struktur model ANSYS menunjukkan tegangan rata-rata berkisar pada  $2,15 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  dengan *elongation* sebesar 2,8%. Secara teknis dapat dinyatakan bahwa kondisi tersebut masih dalam batas ijin yang ditentukan.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi model geometri dengan menggunakan ANSYS dapat disimpulkan bahwa semakin besar *pinch ratio* yang diberikan pada *tube* maka tekanan pada sisi *inlet* meningkat sedangkan sisi *outlet* menurun. Di daerah *pinch* terjadi perubahan karakteristik aliran yaitu terjadinya *pressure drop* dimana tekanan fluida menurun tajam sedangkan kecepatannya justru meningkat drastis. Hal ini menunjukkan adanya konversi energi dari energi tekanan menjadi energi kecepatan pada aliran fluida.

Frekwensi yang dihasilkan dari persamaan model matematis *self excited vibrations* menunjukkan kisaran antara 16 – 18 Hz.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hazel, L., and Matthias Heil, 2003. *Finite-Reynolds-Number Flows In Three-Dimensional Collapsible Tubes*, J. Fluid Mech., vol. 486, pp. 79–103. @ 2003 Cambridge University Press 79 DOI: 10.1017/S0022112003004671, United Kingdom
- Heil, Matthias, And Sarah L. Waters, 2006. *Transverse Flows In Rapidly Oscillating Elastic Cylindrical Shells*, J. Fluid Mech., vol. 547, pp. 185–214. @ 2006 Cambridge University Press 185 DOI : 10.1017/S0022112005007214, United Kingdom
- Pejack, E. R., 2006. *Apparatus For Demonstrating Self-excited Vibrations In Fluid Flow*, Department of Mechanical Engineering, University of the Pacific, Stockton, California 95211, USA
- Prolite, 2008, *Polypropylene Tubing*, © NewAge Industries, Inc. <http://www.newageindustries.com>, May 2009.
- Sufiyanto, 2010, Pengaruh Kapasitas Aliran Terhadap Karakteristik Getaran Pada Aliran Fluida Yang Mengalami *Self Excited Vibration*, Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang
- Sufiyanto, 2010, Karakteristik *Self Excited Vibration* Pada Aliran Fluida Dalam Pipa Fleksibel, Jurnal Transmisi Vol-VI Edisi-1/ Hal. 557 – 566, ISSN : 0216-3233, Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang
- Wardana, I.N.G., 2000. Getaran Pipa Akibat Aliran Fluida, Proc. Piping Technology Seminar 2000, p. 213-221

## STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PERUBAHAN TIPE KARBURATOR TERHADAP UNJUK KERJA MESIN MOBIL MATARAM PROTO

Apri Rahmadi<sup>1</sup>, Hary Wibowo<sup>2</sup>, A. Agung Putu Susastriawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta  
e-mail : <sup>1</sup>apriahmadi@ymail.com, <sup>2</sup>harywib@akprind.ac.id, <sup>3</sup>a\_agung@yahoo.com

### ABSTRACT

*This research done to determine the effect of changes in the type of carburetor on the engine performance Mataram Proto. Proto Mataram car is energy-efficient three-wheel vehicle made for the purpose of energy-saving vehicles competition. In this study, the two carburetor is used, the first is Mikuni carburetor venturi diameter of 16 mm and the second is the carburetor carburetor venturi Honda GX35 with a diameter of 8 mm. This research was conducted in the automotive laboratory, Institute of Science & Technology AKPRIND Yogyakarta. Testing the engine performance and exhaust emissions done twice, first using 16 mm Mikuni carburetor and the second using a carburetor Honda GX35. Both tests are done at 2000 rpm up to 6000 rpm interval 500 rpm intervals and retrieval of data in the form of power, torque, fuel consumption and exhaust gas emissions done at the same time on each test. The result is the use of carburetor Honda GX35 lower the average power of 3.47%, 3.43% torque, specific fuel consumption by 14.2%, CO by 28.96%, and 21.02% for HC. However, there was an average increase in the concentration O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and respectively 35.71% and 0.75%.*

**Kata kunci :** Carburetor, Mataram Proto, Engine Performance, Exhaust Emissions.

### PENDAHULUAN

Mataram Proto merupakan sebuah mobil prototip tiga roda dan memiliki bentuk yang futuristik. Mobil ini menggunakan motor bensin sebagai penggerakannya dan menggunakan bahan bakar dengan oktan 95. Mobil ini digunakan hanya untuk keperluan kompetisi kendaraan hemat energi dimana kendaraan tersebut harus menempuh jarak sejauh mungkin dengan menggunakan energi seminimal mungkin. Dalam kompetisi tersebut, terdapat strategi perlombaan yang disebut dengan istilah "kill and run strategy" yang biasa diterapkan oleh peserta lomba untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar. Maksud dari istilah tersebut adalah pengemudi kendaraan dapat menghidupkan dan mematikan mesin kendaraan selama pengemudi menjalankan kendaraannya di lintasan. Pada saat mesin dihidupkan, maka kendaraan akan melaju sampai kecepatan tertentu dan jika kecepatan mobil sudah cukup mesin bisa dimatikan dan mobil akan bergerak meluncur. Pada saat mobil meluncur, akan terjadi penurunan kecepatan sehingga mobil akan bergerak melambat. Apabila kecepatan mobil sudah sangat rendah atau mendekati diam, maka mesin mobil dinyalakan kembali. Berdasarkan strategi tersebut, maka diperlukan mesin yang memiliki torsi yang besar pada putaran rendah tetapi hemat bahan bakar.

Sistem bahan bakar merupakan suatu sistem yang sangat penting pada motor bakar. Pada motor bensin bahan bakar dan udara harus bisa bercampur dengan baik sebelum dibakar oleh percikan bunga api dari busi. Sistem bahan bakar mempunyai fungsi utama untuk menyimpan dan menyalurkan bahan bakar serta mengabutkan bahan bakar sebelum bahan bakar tersebut dimasukkan ke dalam silinder. Pada sistem bahan bakar konvensional, proses pengabutan bahan bakar terjadi pada karburator. Karburator berfungsi untuk mengatur pemasukan, pencampuran dan pengabutan bahan bakar ke dalam aliran udara sebelum masuk ke dalam silinder sehingga diperoleh perbandingan campuran antara udara dan bahan bakar yang sesuai dengan kondisi beban dan kecepatan putar poros engkol. Keadaan campuran udara dan bahan bakar sangat berpengaruh terhadap kinerja mesin dan konsumsi bahan bakar. Perbandingan campuran antara udara dan bahan bakar atau disebut dengan AFR (*Air to Fuel Ratio*) dipengaruhi oleh berbagai macam faktor pada karburator seperti diameter venturi, diameter orifice atau sepuyer dan berbagai perangkat atau sistem tambahan pada karburator.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian dua buah karburator yaitu karburator Keihin dengan diameter venturi 16 mm dan karburator Honda GX35 yang berpengaruh pada unjuk kerja mesin mobil Mataram Proto. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan tipe karburator terhadap unjuk kerja mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang mobil Mataram Proto.

## METODE PENELITIAN

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

### 1. Mobil Mataram Proto

Mobil ini merupakan mobil prototipe yang digunakan pada kompetisi kendaraan hemat energi. Mobil ini memiliki tiga buah roda yaitu dua roda depan dan satu roda belakang. Mobil ini menggunakan rangka baja, bodi dari *fiberglass*, dan berpengerak motor bensin. Motor bensin yang digunakan adalah mesin sepeda motor Suzuki nex yang sudah dimodifikasi dengan volume silinder 106 cc, perbandingan kompresi 12,2 : 1, sistem pengapian menggunakan busi ganda CDI ganda, dan menggunakan karburator mikuni dengan diameter venturi 16 mm.



Gambar 1. Mobil Mataram Proto

### 2. Karburator Honda GX35

Karburator ini memiliki diameter venturi 8 mm yang merupakan karburator yang digunakan pada mesin pemotong rumput merk Honda seri GX35 dengan tipe mesin 4 langkah SOHC 35 cc. Karburator Honda GX35 ini hanya memiliki *main-jet* saja tanpa dilengkapi dengan *pilot jet* seperti pada karburator Mikuni.

Pemasangan karburator Honda GX35 pada mesin mobil Mataram Proto memerlukan *intake manifold* yang harus dimodifikasi agar karburator ini bisa dipasang pada mesin mobil Mataram Proto. *Intake manifold* yang akan digunakan dalam penelitian ini terbuat dari pipa dan plat aluminium yang dibentuk menjadi seperti *intake manifold* pada umumnya.



Gambar 2. Karburator Honda GX35 yang Sudah Dipasang

### 3. Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah bensin Pertamina Plus yang memiliki bilangan oktan riset 95 dan massa jenis 770 Kg/m<sup>3</sup> pada suhu 15° C.

### 4. Tool Set

*Tool set* merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk membongkar dan memasang komponen mesin.

5. *Dinamometer*

Dinamometer adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengukur torsi dan daya yang dihasilkan mesin selama mesin bekerja dengan rentang putaran dan beban tertentu. Penggunaan alat ini adalah dengan menempatkan roda belakang mobil Mataram Proto di atas *roller dynamometer*. Penggunaan ini memerlukan beberapa data yang salah satunya adalah diameter luar roda penggerak dari mobil Mataram Proto.



Gambar 3. Dinamometer

6. *Tachometer*

*Tachometer* berfungsi untuk mengukur putaran mesin. Secara umum tachometer dibagi menjadi dua jenis yaitu tachometer analog dan tachometer digital. *Tachometer* analog akan menampilkan data dengan jarum penunjuk, sedangkan *tachometer* digital akan menunjukkan data putaran secara digital.

7. Buret

Buret digunakan untuk mengukur volume bahan bakar yang akan digunakan dalam proses pengujian. Buret yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas 25 ml.

8. *Exhaust gas analyzer*

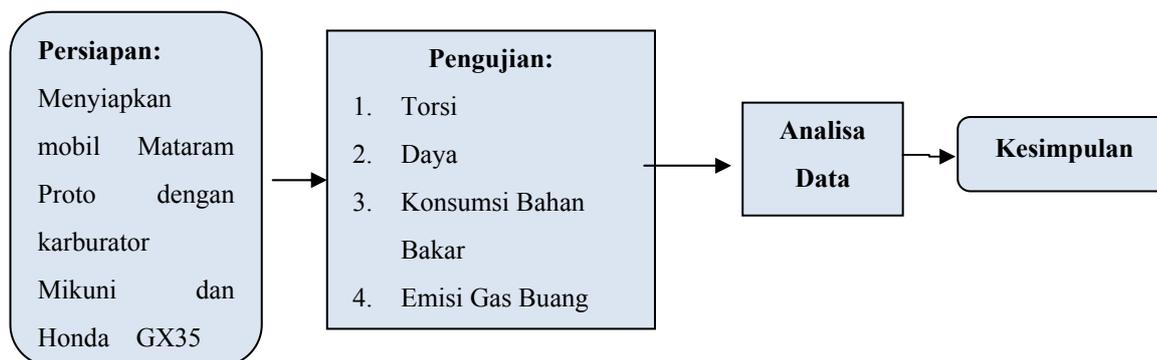
*Exhaust gas analyzer* berfungsi untuk mengetahui kandungan gas buang. *Exhaust gas analyzer* yang digunakan pada penelitian ini seperti yang diperlihatkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 4. *Exhaust Gas Analyzer*

9. *Stopwatch*

*Stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu pada proses pengujian. Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Alur Tahapan Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan secara bersamaan, yaitu data daya, torsi, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang di diambil pada saat yang sama. Pengujian dilakukan dengan cara menempatkan mobil Mataram Proto di atas dinamometer, kemudian menyalakan mesin pada putaran yang sudah ditentukan selama 30 detik. Setelah 30 detik, dilakukan pengambilan data daya, torsi, konsumsi bahan, dan emisi gas buang dari mobil Mataram Proto. Pengujian dilakukan pada kedua jenis karburator dengan putaran mesin 2000 rpm sampai dengan 6000 rpm dengan interval 500 rpm.

## PEMBAHASAN

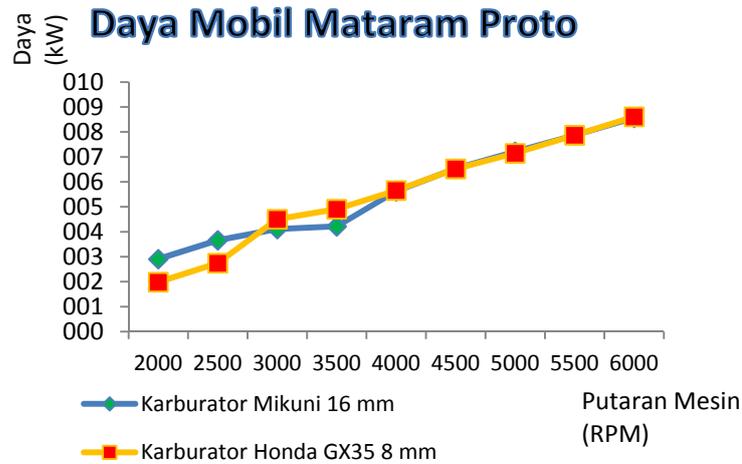
Hasil pengujian unjuk kerja mesin yang meliputi torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik, dan emisi gas buang ditunjukkan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Untuk Dua Tipe Karburator

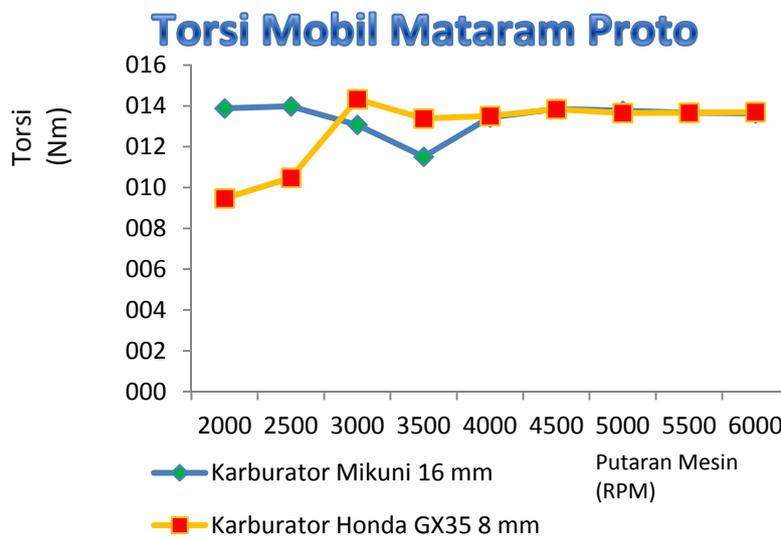
No	Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm)		Daya (kW)		Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Kg/kW.jam)		Emisi Gas Buang							
		Mikuni	GX35	Mikuni	GX35	Mikuni	GX35	CO (%)		HC (ppm)		CO2 (%)		O2 (%)	
								Mikuni	GX35	Mikuni	GX35	Mikuni	GX35	Mikuni	GX35
1	2000	13,88	9,47	2,91	1,98	0,0890	0,0652	3,4	2,58	448	220	2,2	3,1	21,48	25
2	2500	13,98	10,48	3,66	2,74	0,0707	0,0707	2,75	1,55	349	201	2,5	1,5	22,73	25
3	3000	13,07	14,33	4,11	4,50	0,0720	0,0492	3,72	2,36	447	238	2,3	3	21,87	20,23
4	3500	11,51	13,38	4,22	4,91	0,0766	0,0546	3,81	2,92	293	311	2,4	3,4	20,69	20,31
5	4000	13,44	13,51	5,63	5,66	0,0673	0,0555	4,73	2,52	465	279	2,5	4,1	20,04	19,27
6	4500	13,86	13,84	6,53	6,52	0,0552	0,0637	1,58	3,72	163	316	1,9	4,3	16,21	16,46
7	5000	13,77	13,65	7,21	7,15	0,0641	0,0594	4,53	2,85	351	339	3,7	5,4	21,9	21,58
8	5500	13,67	13,67	7,87	7,87	0,0645	0,0551	3,18	0,33	314	172	4,7	6,4	22,16	21,95
9	6000	13,63	13,70	8,57	8,61	0,0647	0,0536	2,58	0,13	299	118	5,4	4,1	22,56	21,31

Untuk memudahkan analisa data hasil pengujian, maka data-data tersebut disajikan dalam bentuk grafik. Grafik hubungan antara parameter yang diukur dengan putaran mesin dapat dilihat pada

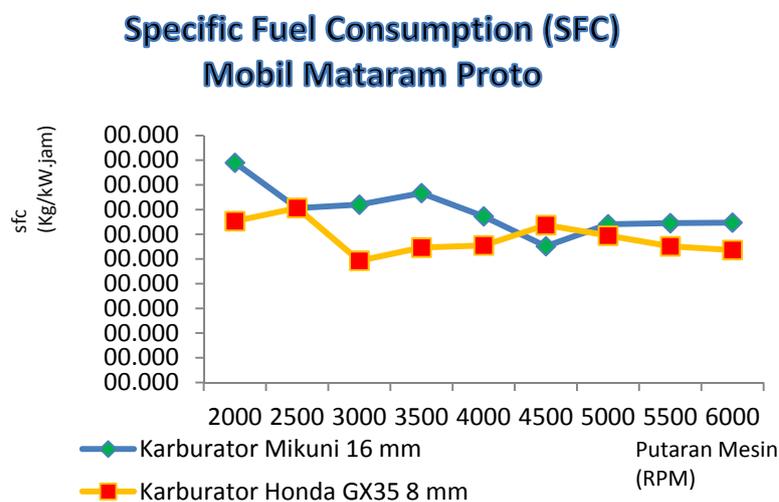
gambar 6 sampai 12 berikut ini.



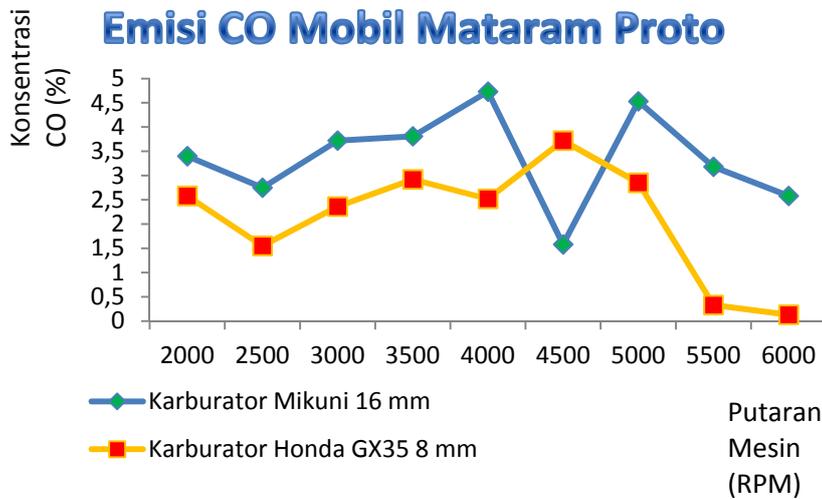
Gambar 6. Grafik Hubungan Daya dan Putaran Mesin



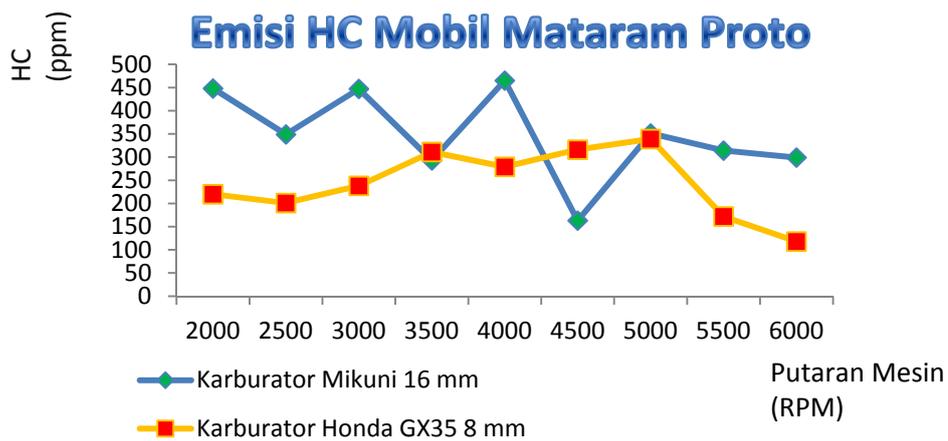
Gambar 7. Grafik Hubungan Torsi dan Putaran Mesin



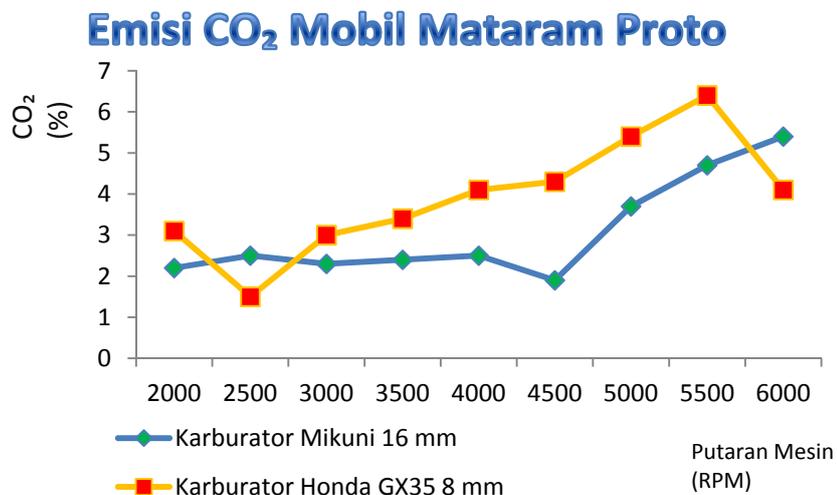
Gambar 8. Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik dan Putaran Mesin



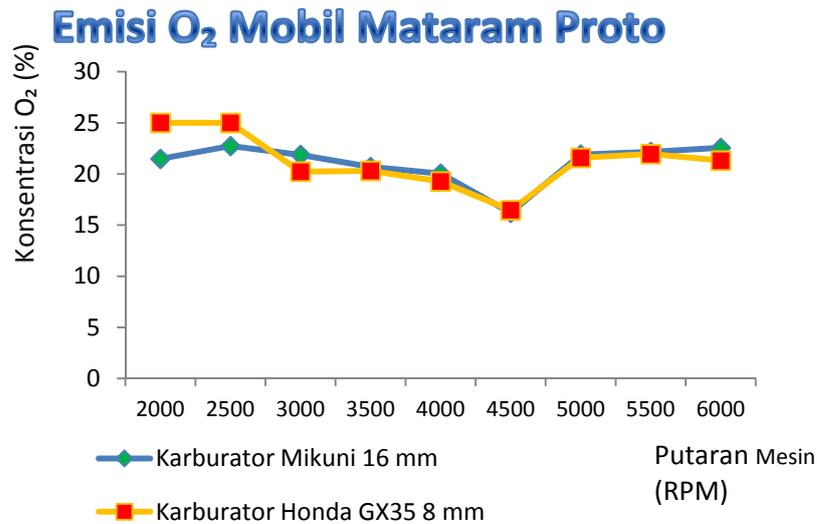
Gambar 9. Grafik Hubungan Emisi CO dan Putaran Mesin



Gambar 10. Grafik Hubungan Emisi HC dan Putaran Mesin



Gambar 11. Grafik Hubungan Emisi CO<sub>2</sub> dan Putaran Mesin



Gambar 12. Grafik Hubungan Emisi O<sub>2</sub> dan Putaran Mesin  
Gambar 13.

Dari gambar 2, dapat dilihat bahwa penggunaan karburator Honda GX35 mengakibatkan terjadinya penurunan daya yang cukup besar pada putaran mesin 2000 rpm dan 2500 rpm yaitu sebesar 31,96 % dan 25,14 %. Hal ini bisa disebabkan karena karburator Honda GX35 8 mm tidak memiliki *pilot-jet* seperti pada karburator Mikuni 16 mm yang mengakibatkan sedikitnya jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam silinder. Sebaliknya, pada putaran mesin 3000 rpm sampai 3500 rpm terjadi kenaikan daya masing-masing sebesar 9,49 %, dan 16,35 %. Pada putaran mesin 4000 rpm sampai 6000 rpm tidak terjadi perubahan yang signifikan. Secara keseluruhan perubahan tipe karburator dari karburator Mikuni 16 mm menjadi karburator Honda GX35 8 mm mengakibatkan terjadinya penurunan daya rata-rata sebesar 3,47 %.

Dari gambar 3, dapat dilihat bahwa penggunaan karburator Honda GX35 mengakibatkan terjadinya penurunan torsi yang cukup besar pada putaran mesin 2000 rpm dan 2500 rpm yaitu sebesar 31,77 % dan 25,04 %. Sebaliknya, pada putaran mesin 3000 rpm sampai 3500 rpm terjadi kenaikan torsi masing-masing sebesar 9,64 %, dan 16,25 %. Pada putaran mesin 4000 rpm sampai 6000 rpm tidak terjadi perubahan yang signifikan. Secara keseluruhan perubahan tipe karburator dari karburator Mikuni 16 mm menjadi karburator Honda GX35 8 mm mengakibatkan terjadinya penurunan torsi rata-rata sebesar 3,43 %.

Dari gambar 4, dapat dilihat bahwa penggunaan karburator Honda GX35 mengakibatkan penurunan sfc sebesar 26,69 % pada putaran mesin 2000 rpm, 31,58 % pada putaran mesin 300 rpm, 28,73 % pada putaran mesin 3500 rpm, 17,51 % pada putaran mesin 4000 rpm, 7,23 % pada putaran mesin 500 rpm, 14,55 % pada putaran mesin 5500 rpm, dan 17,10 % pada putaran mesin 6000 rpm. Sebaliknya, pada putaran mesin 4500 rpm terjadi kenaikan sfc sebesar 15,52 %. Pada putaran mesin 2500 rpm tidak ada perubahan sfc. Secara keseluruhan, perubahan tipe karburator Mikuni 16 mm menjadi karburator Honda GX35 mengakibatkan terjadinya penurunan sfc rata-rata sebesar 14,2 %. Penurunan sfc setelah menggunakan karburator Honda GX35 ini bisa diakibatkan karena pengabutan bahan bakar yang lebih sempurna dibandingkan pada saat menggunakan karburator Mikuni 16 mm sehingga dengan jumlah bahan bakar yang sama karburator Honda GX35 bisa menghasilkan daya yang lebih besar.

Dari gambar 4, dapat dilihat bahwa penggunaan karburator Honda GX35 8 mm mengakibatkan terjadinya rata-rata konsentrasi CO sebesar 28,96 %. Penurunan konsentrasi CO ini disebabkan oleh campuran udara dan bahan bakar yang dihasilkan karburator Honda GX35 lebih kurus.

Dari gambar 5, dapat dilihat bahwa penggunaan karburator Honda GX35 8 mm mengakibatkan terjadinya penurunan rata-rata konsentrasi HC sebesar 21,02 %. Penurunan konsentrasi HC ini disebabkan oleh campuran udara dan bahan bakar yang dihasilkan karburator Honda GX35 lebih kurus.

Dari gambar 6, dapat dilihat bahwa penggunaan karburator Honda GX35 8 mm mengakibatkan terjadinya kenaikan rata-rata konsentrasi CO<sub>2</sub> sebesar 35,71 %. Kenaikan

konsentrasi CO<sub>2</sub> ini bisa disebabkan oleh pembakaran yang lebih sempurna pada saat menggunakan karburator Honda GX45 8mm.

Dari gambar 7, dapat dilihat bahwa penggunaan karburator Honda GX35 8 mm mengakibatkan terjadinya kenaikan rata-rata konsentrasi O<sub>2</sub> sebesar 0,75 %. Kenaikan konsentrasi O<sub>2</sub> disebabkan oleh pembakaran yang lebih sempurna pada saat menggunakan karburator Honda GX35 8 mm.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh perubahan tipe karburator terhadap unjuk kerja mesin mobil Mataram Proto dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Perubahan tipe karburator berpengaruh terhadap unjuk kerja mesin dan emisi gas buang Mobil Mataram Proto.
2. Penggunaan karburator Honda GX 35 8 mm mengakibatkan terjadinya penurunan daya dan torsi mobil Mataram Proto.
3. Penggunaan karburator Honda GX 35 8 mm mengakibatkan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik mobil Mataram Proto.
4. Penggunaan karburator Honda GX 35 8 mm pada mobil Mataram Proto mengakibatkan konsentrasi CO dan HC mengalami penurunan sedangkan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> mengalami peningkatan.
5. Karburator Honda GX35 8 mm dapat diaplikasikan pada mobil Mataram Proto dengan syarat daya yang dihasilkan oleh mesin masih mencukupi daya yang dibutuhkan oleh mobil tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 2003, "Part Catalog Honda GX35", Honda Motor Co Ltd, Japan.
- Arifin, Zainal dan Sukoco., 2009, "Pengendalian Polusi Kendaraan", Alfabeta, Bandung.
- Arismunandar, Wiranto., 1988, "Motor Bakar Torak", Edisike-empat, Penerbit ITB Bandung.
- Bell, A. Graham., 1988, "Four – Stroke Performance Tuning", 3<sup>rd</sup> edition, Haynes North America, Inc., 861 Lawrence Drive, Newbury park, California 91320 USA.
- Deepak Ranjan Bhola., 2011, "CFD Analysis Of Flow Through Venturi Of A Carburetor", Final Project of Mechanical Engineering, National Institute Of Technology Rourkela, Rourkela, India.
- Heriyanto., 2008, "Pengaruh Menurunkan Angka Main-Jet dan Pilot-Jet Karburator Terhadap Unjuk Kerja Motor 4 Langkah Tipe NF100 D", *Tugas Akhir Teknik Mesin*, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Heywood, John B., 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill, Inc., New York.
- Kreith, F and Berger, S.A., 1999 "Fluid Mechanics", CRC Press LLC.
- Pulkrabek, Willard W., 1997 "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", Prentice Hall, New Jersey.
- Khovakh, M., 1979, "Motor Vehicle Engines", Mir, Moscow.
- Moran, Michael J. & Saphiro, Howard N., 2000, *Termodinamika Teknik Jilid 2*, Terjemahan oleh Yulianto Sulisty Nugroho & Adi Surjosatyo, 2004, Erlangga, Jakarta
- Muhajir, H. Khairul., 2009, "Motor Bakar Torak", AKPRIND PRESS., Yogyakarta.
- Prawoto., 2006, "Optimasi Konfigurasi *Mainjet* dan *Slowjet* Karburator Motor Bensin Satu Silinder 97 Cc", *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 9, No. 1, 2006, <http://portalgaruda.org/index.php?ref=browse&mod=viewarticle&article=10054>, 22 April 2014.
- Ramadhani, Aziz., 2013, "Pengaruh Diameter Venturi Karburator dan Jenis Busi Terhadap Daya Pada Sepeda Motor Bajaj Pulsar 180 DTS-I Tahun 2009", *Skripsi Pendidikan Teknik Mesin*, Universitas Negeri Surakarta, Surakarta.
- Santoso, Doni., 2008, "Pengaruh Penggunaan Karburator Standar dan Keihin PE 28 Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Serta Emisi Gas Buang", *Tugas Akhir Teknik Mesin*, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Suardjaja, Made., 2002, "Handout Kuliah Motor Bakar", Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Moon, Young-ho and Oh, Young-taig., 2002, "The Experimental Study of Atomization Characteristics of Gasoline Spray Impinging on Glow Plug", *KSME International Journal*, Vol. 16 No.2.
- Munson, B. R, Young, D. F, Okishi, T.H., 2002, *Mekanika Fluida*, Terjemahan oleh Harinaldi & Budiarto, 2003, Erlangga, Jakarta.

## KARAKTERISTIK LELAH BAJA POROS DIN 42CrMo4 BERTAKIK U DAN V AKIBAT BEBAN AMPLITUDO KONSTAN DAN BEBAN TIBA-TIBA

Subarmono<sup>1</sup>, Aris Sinta<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, UGM

### ABSTRACT

*This research aims to investigate fatigue strength of notched shaft under cyclic loading. The material used in this research was shaft steel VCL DIN 42 CrMo4, which were made tensile test specimens and V and U notched tensile test specimens. Specimens were tested in a tensile test machine to find ultimate and yield strength. The notched specimens were tested in a rotary bending machine under cyclic loading and combination of cyclic loading and shock loading to find fatigue strength. The results show that the fatigue strength of U and V notched specimens under cyclic loading are 215 MPa and 225MPa, respectively. The fatigue strength of U and V specimens under combination cyclic loading and shock loading are 146 MPa and 132 MPa, respectively.*

**Keywords:** *Fatigue strength, cyclic loading, shock loading, shaft steel, notched.*

### PENDAHULUAN

Sudah sejak lama manusia telah melihat bahwa kayu atau logam dapat rusak akibat adanya beban berulang. Pada tahun 1829 *German Mining Engineering, W.A.S. Albert*, melaporkan untuk pertama kalinya tentang pengaruh beban berulang atau beban dinamis terhadap rantai besi. Selanjutnya penelitian ditujukan pada poros roda kereta kuda. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa material yang dikenai beban berulang atau beban dinamis, akan rusak pada tegangan jauh lebih rendah dibanding dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan beban statis, fenomena ini sering disebut dengan kegagalan lelah (*fatigue failure*) (Collins, 1980). Kegagalan lelah adalah sesuatu yang sangat berbahaya, hal ini disebabkan karena pada kejadian patah lelah sering tidak terdapat tanda awal. Kelelahan menyebabkan patah yang sangat rapuh, tanpa adanya proses deformasi pada penampang patahnya. Pada skala makroskopik, biasanya permukaan patah lelah memberikan dua tipe yang sangat jelas: 1) Permukaan yang halus, hal ini disebabkan oleh perambatan retak yang sangat pelan terjadi sebelum kondisi kritis; 2) Permukaan yang kasar, perpatahan getas yang terjadi karena penampang tidak mampu untuk menerima beban.

Pada kondisi yang umum proses kelelahan ditandai dengan munculnya sejumlah cincin atau garis pantai (*beach mark*), proses ini muncul dimulai dari posisi kegagalan mulai terjadi dan terus bergerak ke dalam (Dieter, 1988).

Semakin tinggi kekuatan tarik material mempunyai batas ketahanan lelah semakin tinggi (Goto and Nissitani, 1994). Pernyataan ini mereka buktikan dengan melakukan pengujian terhadap baja poros dari bahan S45C dan SNCM439. Dari hasil pengujian yang dilakukan ternyata kedua material memberikan data yang berbeda. Pada material S45C dengan kekuatan tarik 833 MPa memiliki batas ketahanan lelah 450 MPa atau 54%  $\sigma_u$ , sedang pada baja SNCM439 dengan kekuatan tarik 1.002 Mpa memiliki batas ketahanan lelah sebesar 510 MPa atau 51%  $\sigma_u$ .

Pelapisan WC-CrC-Ni pada AISI 4340 secara metal spray dapat menurunkan ketahanan lelah, tetapi turunnya ketahanan lelah dibanding pelapisan crom secara electroplating masih lebih rendah (Yudiono, 2001). Proses hydro-extrusion pada bahan Al 5483 dan 7475 dapat meningkatkan kekuatan lelah, namun total perpanjangan plastis berkurang hal ini disebabkan adanya strain hardening pada permukaan benda (Brynk at al, 2013). Plasticity-corrected stress intensity factor untuk mendiskripsikan perambatan retak lelah akibat beban lebih pada bahan ulet, hasilnya menunjukkan bahwa laju perambatan retak sangat tergantung pada panjang retak, intensitas tegangan, rasio beban, besarnya beban lebih dan jumlah pengulangan beban lebih (Dai at al, 2013).

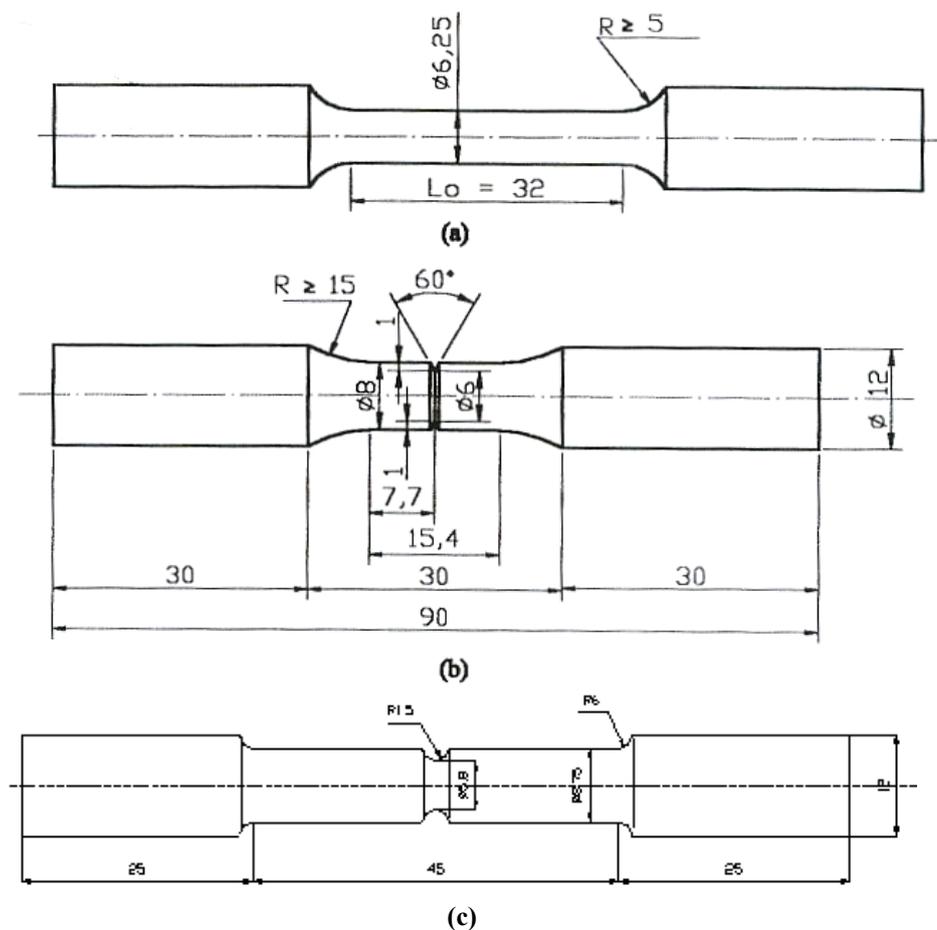
Baja poros yang dibentuk dalam spesimen khusus dengan variasi geometri (bentuk dan dimensi) takik telah dibuktikan bahwa retak lelah diawali pada lokasi terjadinya konsentrasi tegangan. Adapun besarnya harga konsentrasi tegangan sangat bergantung pada geometri takik. Semakin tajam sudut takik yang diuji, harga konsentrasi tegangannya akan semakin tinggi, yang berarti pula umur lelah akan menurun (Collins, 1980). Pengaruh geometri alur pasak terhadap ketahanan lelah material yang mengalami beban berulang. Material yang digunakan baja karbon EMS45. Geometri alur pasak terdiri dari alur pasak tembereng dan lurus. Dimensi kedua alur pasak sama. Dari pengujian yang dilakukan tersebut didapatkan bahwa harga faktor konsentrasi tegangan alur pasak tembereng ( $K_t=1,5$ ) lebih rendah dibandingkan dengan harga konsentrasi tegangan alur pasak lurus ( $K_t=1,9$ ). Kekuatan

tarik dan luluh menurun dengan kehadiran alur pasak tembereng dan lurus, sedangkan prosen perpanjangan dan reduksi penampang patah cenderung naik pada level pembebanan 74,25% kekuatan luluh menunjukkan kecenderungan sama. *Beach mark* tegak lurus terhadap penampang patah dan tidak simetris. Pada daerah patah statis merupakan *final separation sharp corner* yang berbentuk diagonal melintang dan kasar (Bonara at al, 2010).

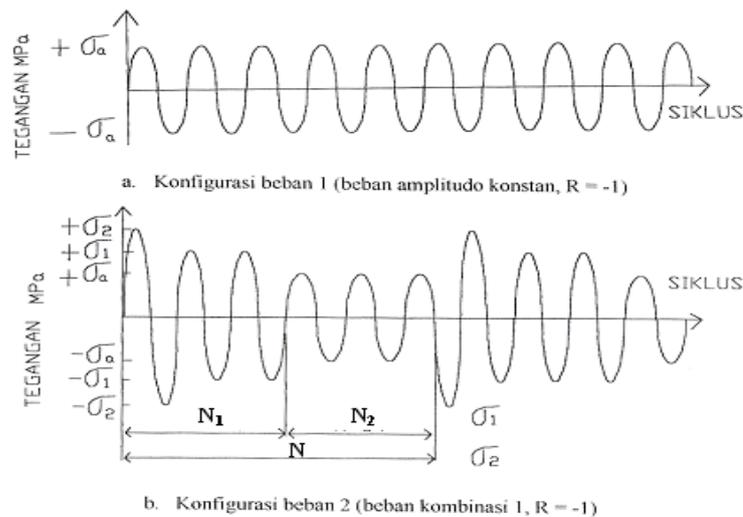
Kombinasi beban tarik-puntir yang disertai dengan beban lebih akan mempercepat perilaku perambatan retak dari *crack initiation* hingga mencapai daerah transisi. Pemberian beban lebih tarik pada siklus beban puntir dinamis lebih berbahaya dibandingkan dengan kondisi beban lebih puntir pada siklus beban tarik-tarik.. Pada daerah perambatan retak mikro, beban lebih tarik menyebabkan retakan yang berbentuk banyak, merambat secara paralel dan mayoritas arahnya tegak lurus dengan sumbu beban, tetapi ada juga beberapa retakan membentuk sudut  $45^{\circ}$  terhadap sumbu beban. Hal ini berbeda dengan kondisi beban lebih puntir, hanya sebuah retak panjang merambat tegak lurus dengan sumbu spesimen, dan mayoritas retak merambat searah sumbu spesimen (Hua and Fernando, 1996).

## METODE PENELITIAN

Bahan penelitian adalah baja gandar lokomotif VCL DIN42CrMo4 dengan komposisi standar adalah 0,38-0,43% C; 0,15-0,35% Si; 0,6-0,85% Mn; 0,9-1,2% Cr; 0,15-0,3% Mo; 0,25% maks Ni; 0,3% maks Cu; 0,03% P; 0,03% S. Spesifikasi baja ini memiliki kekuatan tarik maksimum 1100-1300 MPa dan kekuatan luluh lebih dari 900 MPa. Spesimen uji dipersiapkan tanpa perlakuan, spesimen uji tarik statis mengacu pada ASTM A-37, sedangkan untuk uji lelah disesuaikan dengan mesin uji yang tersedia seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Spesimen (a) uji tarik standar ASTM A-370, (b) uji lelah dengan takik V dan (c) uji lelah dengan takik U



**Gambar 2.** Variasi konfigurasi beban uji lelah

Spesimen uji tarik diuji tarik untuk mengetahui besarnya tegangan luluh dan tegangan tarik maksimum. Pengujian kelelahan dengan beban amplitudo konstan dan beban kejut atau amplitudo tegangan yang lebih tinggi secara periodis, pengujian ini dilakukan pada mesin uji *rotary bending*, dan pembebanannya seperti Gambar 2.

## PEMBAHASAN

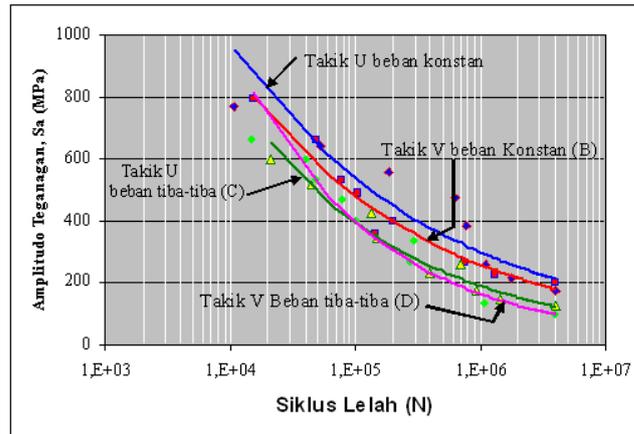
Berdasarkan hasil pengujian tarik statis, material uji dalam penelitian ini mempunyai kekuatan luluh 1006 MPa dan uji komposisi menunjukkan 0,39% C, 0,78% Si, 1,34 % Cr, 0,13% Mo dan 0,15% Ni. Apabila hasil pengujian dibandingkan dengan standar maka dapat disimpulkan bahwa nilai yang diperoleh dari hasil pengujian mendekati nilai standar yang telah ditentukan, berarti pula bahan yang digunakan adalah baja poros DIN 42CrMo4 (AISI 4140).

Berdasarkan hasil penelitian yang dipaparkan dalam bentuk kurva S-N (Gambar 3, 4 dan 5) dapat dilihat bahwa secara umum material mengalami kegagalan pada siklus di atas  $1,6 \cdot 10^6$  untuk semua jenis takik dan pembebanan. Besarnya tegangan lelah adalah 215 MPa (32%  $\sigma_y$ ) untuk spesimen takik U dengan beban konstan, 225 MPa (34%  $\sigma_y$ ) untuk takik V beban konstan, 146 MPa (22%  $\sigma_y$ ) untuk spesimen takik U beban tiba-tiba dan 132 MPa (20%  $\sigma_y$ ) untuk spesimen takik V beban tiba-tiba. Pada kurva A memiliki batas kelelahan yang paling tinggi dibanding kurva yang lainnya, hal ini disebabkan karena spesimen uji lelah memiliki nilai konsentrasi ( $K_t = 1,48$  takik U) tegangan yang lebih kecil dan juga menderita siklus tegangan yang paling ringan beban amplitudo konstan ( $\sigma_a$ ), tanpa adanya pembebanan tiba-tiba.

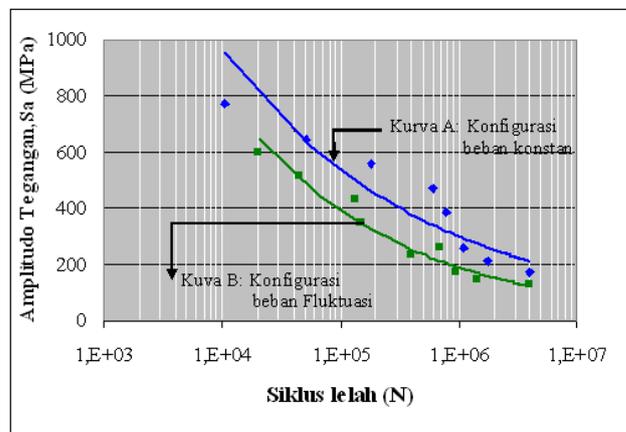
Kurva untuk spesimen bertakik dan pada kondisi beban konstan dan tiba-tiba memiliki jarak yang cukup lebar, hal ini disebabkan adanya peningkatan beban lebih di daerah retakan yang diakibatkan oleh adanya penambahan beban tiba-tiba. Pada kondisi ini terjadi peningkatan deformasi plastis yang terjadi secara lokal di ujung retak, sehingga meningkatkan terjadinya slip antar butiran logam. Perambatan retak menjadi lebih cepat pada kondisi ini sehingga mempercepat kegagalan material.

Kurva uji lelah untuk material bertakik U memiliki batas kelelahan yang lebih tinggi dibandingkan material bertakik V. Hal ini dapat jelaskan dengan adanya perbedaan yang cukup jauh untuk nilai konsentrasi tegangan masing-masing spesimen. Spesimen bertakik V memiliki konsentrasi tegangan yang lebih besar dibandingkan takik U ( $K_t = 3,1$ ). Besarnya nilai konsentrasi tegangan berarti mempermudah untuk terjadinya peningkatan laju retakan. Pada saat terjadi beban tarik maka takik yang tajam akan terjadi pergeseran plastis di ujung retak. Takik V memiliki permukaan takik yang lebih tajam dibanding takik U sehingga laju perambatan retak akibat beban menjadi lebih cepat. Kondisi ini akan menjadi lebih buruk dengan penambahan beban tiba-tiba pada saat pengujian.

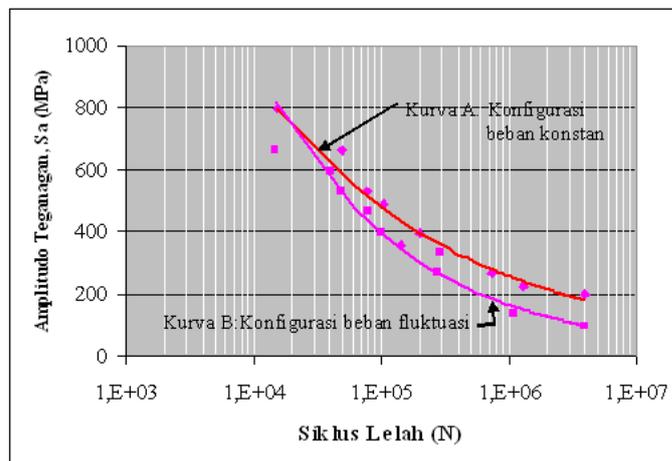
Adanya daerah liat pada ujung takik merupakan penghambat terjadinya perambatan retak. Daerah takik V akan mudah mengalami pepadatan butiran pada saat terjadi beban tekan hal ini menyebabkan menurunnya keliatan butiran terutama di ujung retak atau takik, bahkan dapat menjadi getas. Dengan menurunnya keliatan butiran meningkatkan laju perambatan retakan.



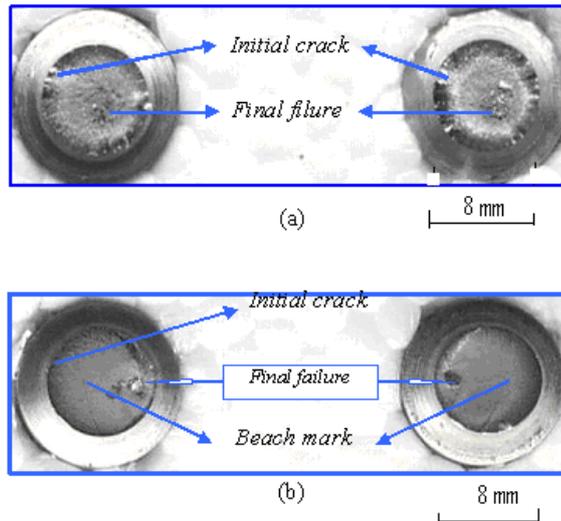
Gambar 3. Kurva S-N untuk semua jenis pembebanan dan takik



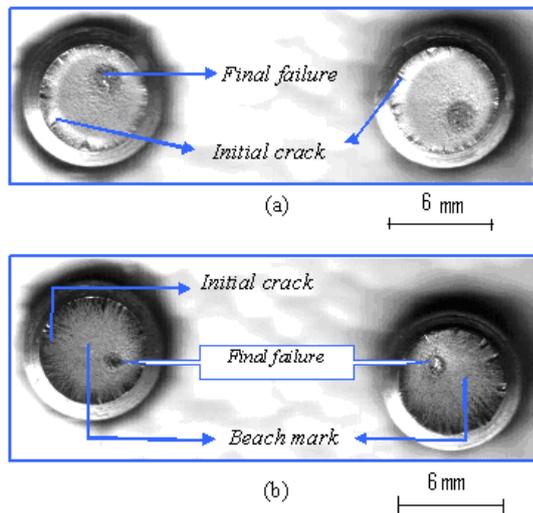
Gambar 4. Kurva S-N untuk spesimen bertakik U pada beban konstan dan beban tiba-tiba.



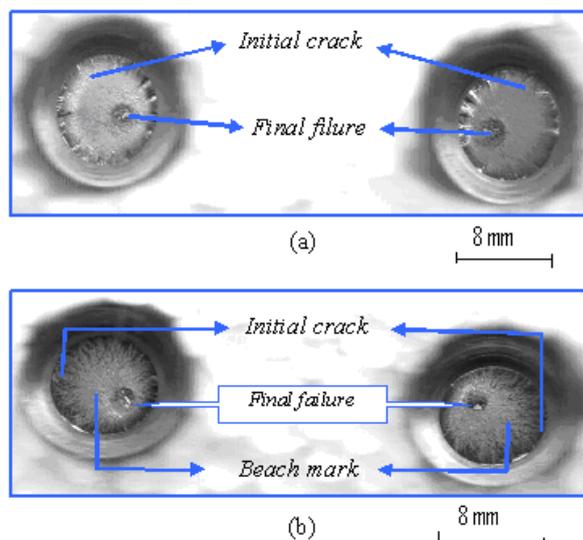
Gambar 5. Kurva S-N untuk spesimen bertakik V pada beban konstan dan beban tiba-tiba.



**Gambar 6.** Penampang patah uji lelah spesimen bertakik U untuk konfigurasi beban amplitudo konstan, (a) tegangan besar, (b) tegangan rendah.



**Gambar 7.** Penampang patah uji lelah spesimen bertakik V untuk konfigurasi beban amplitudo konstan, (a) tegangan besar, (b) tegangan rendah.



**Gambar 8.** Penampang patah uji lelah spesimen untuk konfigurasi beban tiba-tiba, (a) tegangan besar, (b) tegangan rendah.

Dari hasil pengujian terlihat penampang patahan spesimen menunjukkan ciri-ciri patah dikarenakan kelelahan (Gambar 6, 7 dan 8). Hal ini dapat dilihat dari ciri-ciri patahan yang dihasilkan, seperti diawali dengan adanya *initial crack* untuk masing-masing patahan. Pada tahap berikutnya, dilanjutkan dengan adanya *Beach mark* dan *final failure*. Pada amplitudo beban yang besar baik konstan maupun tiba-tiba, *beach mark* sulit untuk dideteksi. Akan tetapi, untuk amplitudo yang kecil dengan siklus lelah yang tinggi *beach mark* lebih mudah untuk dideteksi. *Initial crack* ditunjukkan dengan garis melingkar di sekitar tepian patahan dan nampak lebih kasar, sedangkan *beach mark* ditunjukkan dengan garis-garis melingkar halus di daerah antara *initial crack* dan *final failure*. *Beach mark* lebih sering dikatakan sebagai tahapan perambatan retak. Bagian *final failure* ditunjukkan dengan daerah melingkar dengan permukaan yang kasar dan berserabut. *Final failure* untuk siklus tegangan yang berbeda akan memberikan tampilan yang berbeda pula. Untuk kondisi siklus tegangan yang besar, *final failure* menunjukkan daerah lingkaran yang besar. Hal ini disebabkan oleh karena adanya perambatan retak yang tidak stabil sehingga retak merambat dengan cepat melalui batas-batas butir logam pada kondisi tersebut. Untuk kondisi siklus tegangan yang kecil menunjukkan daerah *final failure* yang lebih kecil dan lebih halus, hal ini disebabkan pada kondisi ini perambatan retak akan lebih *uniform* dan menembus butiran-butiran atom logam. Pada setiap pengujian diperoleh bahwa *final failure* akan selalu terjadi di daerah tepi logam, hal ini disebabkan adanya homogenitas kristal logam. *Final failure* selalu terjadi di daerah terjauh dari *initial crack*.

## KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada kurva S-N terlihat material akan mengalami kegagalan pada siklus di atas  $1,3 \cdot 10^6$  untuk semua jenis takik dan semua jenis pembebanan. Besarnya amplitudo saat terjadi kegagalan adalah 215 MPa (32%  $\sigma_y$ ) untuk spesimen takik U dengan beban konstan, 225 MPa (34%  $\sigma_y$ ) untuk takik V beban konstan, sedang untuk beban kombinasi konstan dan kejut adalah 146 MPa (22%  $\sigma_y$ ) untuk spesimen takik U dan 132 MPa (20%  $\sigma_y$ ) untuk spesimen takik V.
2. Permukaan patah pada pengujian dengan siklus tegangan yang besar akan menghasilkan *beach mark* yang kasar dan agak sulit untuk ditemukan, berbeda dengan siklus tegangan rendah menghasilkan *beach mark* yang halus dan mudah ditemukan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin dan Industri, FT, UGM yang telah memfasilitasi penelitian ini.

## PUSTAKA

- Bonara, RG, Voorwald, HJC, Cioffi, MOH, Junior, GS, 2010, Fatigue in AISI 4340 Steel Thermal Spray Coating by VHOF for Aeronautic Application, Procedia Engineering, Elsevier.
- Brynk, T, Pakiela, Z, Kulczyk, M, Kuazydlowski, KS, 2013, Fatigue Crack Growth Rate in Ultrafine Grained Al5483 and 7475 Alloy Processed by Hydro-Extrusion, Mechanics of Material, Elsevier
- Collins, J.A., 1980, "Failure of Materials in Mechanical Design", John Wiley & Sons, USA.
- Dai, P, Li, S, Li, Z, 2013, The Effects of Overload on The Fatigue Crack Growth in Ductile Material Predicted by Plasticity-Corrected Stress Intensity Factor, Engineering Fracture Mechanics, Elsevier.
- Dieter, G.E., 1988, "Metalurgi Mekanik jilid 2", Erlangga, Jakarta.
- Goto, M. and Nissitani H., 1994, "Fatigue Life Prediction of Heat-Treated Carbon steel and Low Alloy Steel Based on Small Crack Growth Law", Fatigue and Fract. Eng. of Mater. and Struct.. Vol. 17, No. 2, pp. 171-185.
- Hua, G. and Fernando, U.S., 1996, "Effect of Non-Proportional Overloading on Fatigue Life", Fatigue and Fract. Engng. of Mater. and Struct. Vol. 19, No.10, pp. 1197-1206.
- Yudiono, H., 2001, "Pengaruh Geometri Alur Pasak Terhadap Kelakuan Lelah Material Baja Karbon EMS45", Tesis, Jurusan Teknik Mesin UGM, Yogyakarta.

## **ANALISIS KAPASITAS PRODUKSI PLANT III PADA MESIN MOULDING DISAMATIC**

**Annisa Mulia Rani**

*Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta  
e-mail : zc.annisa@gmail.com*

### **ABSTRACT**

*PT X is one of industrial companies that manufacture whith foundry material especially in producing component of car. Among increase customer using this product of company, so PT X making decision to development their busniss with building plant 3. The research method used in this paper needs calculate capacity of machine moulding disamatic 2013 MK4A . Machine moulding disamatic 2013 have work center of pouring and work center of making mould. Calculate of capacity by uniformity test data, adequacy test data, norma time, and standart time and can be calculate capacity every work center. The results of research showed that norma time of making mould 13.95 second and pouring 12,91 detik and time standart of making mould 20.51 second and pouring 22.08 second. Based on calculated time standart can be calculated capacity of work center making mould and work center pouring. Result calculate capacity of making mould is 176 mould/hours and capacity of pouring is 163 mould/hours. Meanwhile capacity calculate shows that capacity pouring is important than capacity of making mould.*

**Keywords :** *Making mould, Pouring, Capacity, Norma time, Standart time,*

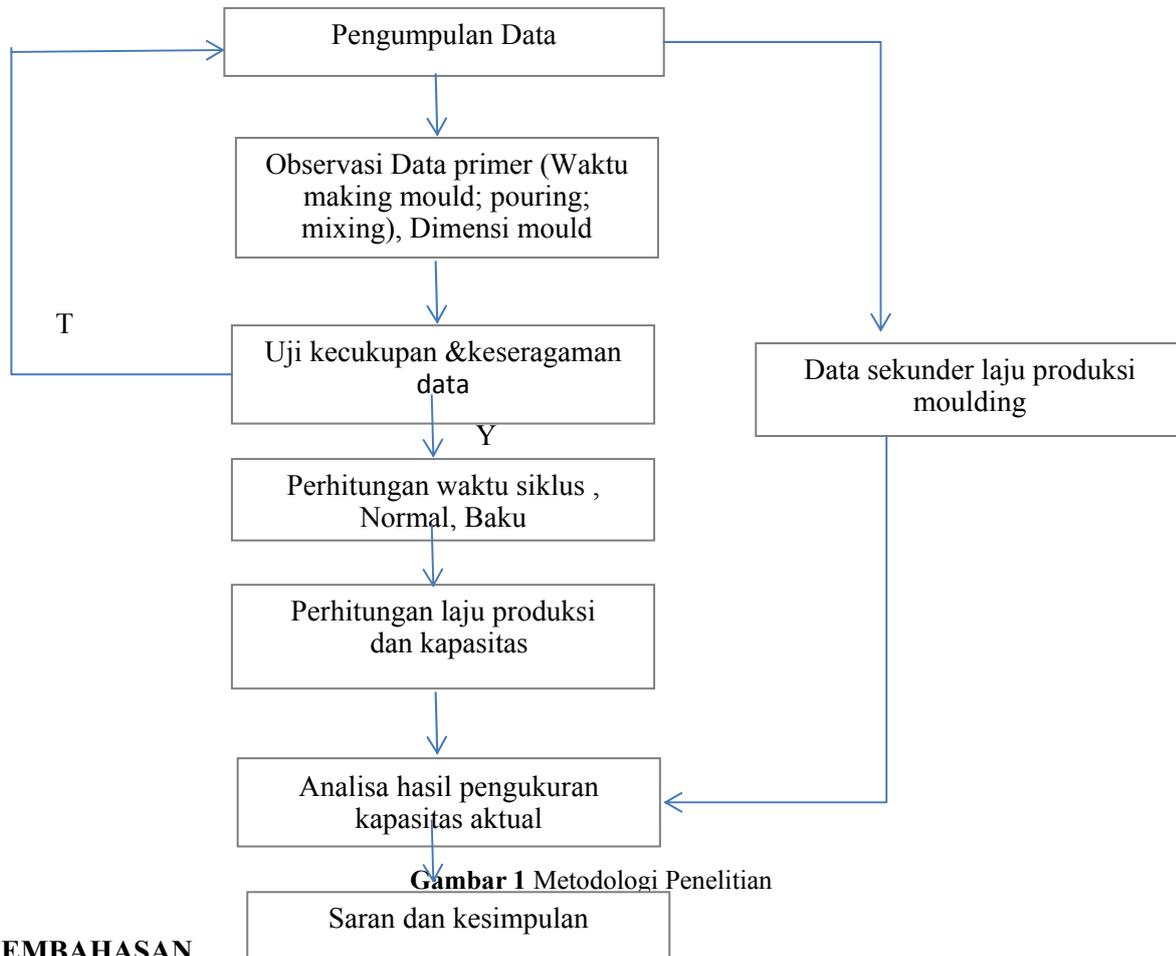
### **PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan Negara berkembang dalam perindustrian. Di dalam perindustrian semua aspek aspek –aspek tersebut menjadi input serta pendukung dalam berproduksi. Salah satu industri yang berkembang di Indonesia adalah industri pengecoran logam. Industri pengecoran logam merupakan industri yang memanfaatkan bahan baku atau barang jadi yang compactable misalnya peralatan automotif, peralatan rumah tangga dan lain.

PT. X Merupakan perusahaan industry yang bergerak di bidang pengecoran logam. PT. X sebagai salah satu produsen utama komponen otomotif yang memanfaatkan bahan baku ferrous casting. Adapun produk yang dihasilkan oleh perusahaan ini adalah general casting automotive component diantaranya brake drum, disk brake, fly wheel dan hub. PT X mempunyai banyak pelanggan, baik dari dalam negeri ataupun dari luar negeri. Seiring meningkatnya konsumen yang menggunakan produk ini, maka PT X mengembangkan usahanya dengan mendirikan Plant III, pluasan Plant III berada satu lokasi dengan Plant I dan Plant II. Pada daerah Plant III ini terdapat 4 work center yaitu work center melting (daerah kerja peleburan), work center moulding (daerah kerja percetakan), work center sand plant (daera persiapan pasir) dan work center shot blast (daerah kerja pembersihan). Work center moulding terbagi lagi menjadi moulding (percetakan), pouring, shake out dan trimming. Mesin yang digunakan adalah DISAMATIC 2013 MK4A buatan Denmark. Disamatic 2013 MK4A merupakan mesin moulding otomatis yang canggih. Perencanaan kebutuhan kapasitas produksi diarahkan untuk meningkatkan keuntungan yang maksimal. Kekurangan kapasitas akan menyebabkan kegagalan memenuhi target produksi, keterlambatan pengiriman ke pelanggan dan kehilangan kepercayaan. Hal ini akan mengakibatkan reputasi dari perusahaan akan menurun. Maka sebelum merencanakan kapasitas produksi, perlu diketahui kapasitas efektif yang sebenarnya. Pada plant 3 tersebut diperlukan pengukuran kapasitas yang akurat, sehingga perlu dilakukan perhitungan kapasitas pada moulding center dan pouring center serta sand plant untuk mendapatkan peritungan yang akurat, sehingga perlu dilakukan perhitungan kapasitas pada moulding center dan poring center serta sand palant untuk mendapatkan perhitungan yang akurat sehingga dalam merencanakan produksi mengetahui kapasitas dari mesin tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui waktu siklus, waktu normal, waktu baku yang diperlukan untuk setiap pekerjaan pada work center making mould, dan pouring. Kemudian mendapatkan nilai kapasitas actual(effective) mesin moulding dan sand plant yang berada pada plant 3 PT.X dan mengetahui kapasitas penentu, diantara work center making mould, dan pouring.

**METODE PENELITIAN**



**Gambar 1** Metodologi Penelitian

**PEMBAHASAN**

Data dan Pengolahan

Adapun untuk work center moul untuk mendapatkan waktu siklus rata-rata untuk making mould dilakukan 5 sampling data yang diambil dari tabel acak. Setelah diambil data maka diuji validitas data tersebut untuk mengetahui bahwa data tersebut seragam atau tidak

**Tabel 1.** Data Observasi Waktu Making Mould (Detik)

Satuan Puluhan	h	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	15	13	14	14	15	13	13	12	14	15
1	13	13	14	14	16	17	14	14	15	15
2	16	14	15	13	13	14	16	14	12	13
3	13	14	12	14	15	13	13	12	15	14

Garis tengah

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{N} = 13,95$$

Standar deviasi dari waktu

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(xi-\bar{x})^2}{N-1}} = 1,2$$

$$UCL = \bar{x} + 3\sigma \quad \text{dan} \quad LCL = \bar{x} - 3\sigma$$

$$UCL = 13,95 + (3 * 1.2) = 17,54$$

$$LCL = 13,95 - (3 * 1.2) = 10,39$$

Untuk uji keseragaman data

$$N^1 = \left[ \frac{40\sqrt{N\Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2}}{\Sigma Xi} \right]^2 \quad N > N^1$$
$$= \left[ \frac{40\sqrt{(40*7840 - (311.364)^2)}}{558} \right]^2 = 11,49 \approx 12$$

Maka untuk kecukupan data telah terpenuhi, karena data yang ada adalah 40 data sehingga waktu siklus untuk melakukan making mould adalah 13,95 detik

Kemudian menurut metode Shumard dengan menggunakan angka factor penyesuaian adalah 1 sehingga waktu normal didapat yaitu

$$\begin{aligned} \text{waktu normal} &= \text{waktu siklus rata-rata} * \text{angka factor penyesuaian} \\ &= 13.95 * 1 = 13.95 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dan untuk waktu baku didapat dengan

$$\begin{aligned} \text{Waktu Baku} &= (\text{waktu normal} + (\text{Faktor kelonggaran} * \text{waktu normal})) \\ &= (13.95 + (0.47 * 13.95)) = 20.51 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas mesin making mould

$$\begin{aligned} PC &= W * H * Rp * Sw \\ Pr &= 1 \text{ jam} / \text{waktu baku} \\ &= 3600 / 20.51 \text{ detik/mould} \\ &= 175.52 \text{ mould} \approx 176 \text{ mould/jam} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk work center pouring diperoleh

Waktu siklus = 14.03 detik

Kemudian menurut metode Shumard dengan menggunakan angka factor penyesuaian adalah 1 sehingga waktu normal didapat yaitu

$$\begin{aligned} \text{waktu normal} &= \text{waktu siklus rata-rata} * \text{angka factor penyesuaian} \\ &= 14.03 * 0.92 = 12.91 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dan untuk waktu baku didapat dengan

$$\begin{aligned} \text{Waktu Baku} &= (\text{waktu normal} + (\text{Faktor kelonggaran} * \text{waktu normal})) \\ &= (12.91 + (0.71 * 12.91)) = 22.08 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas adalah

$$\begin{aligned} PC &= W * H * Rp * Sw \\ Pr &= 1 \text{ jam} / \text{waktu baku} \\ &= 3600 / 22.08 \text{ detik/mould} \\ &= 163.04 \text{ mould} \approx 163 \text{ mould/jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil olahan data diatas maka waktu baku pada pembuatan mould adalah lebih kecil dari pada waktu baku pouring, hal ini diselaraskan dengan kemampuan operator dalam melakukan pouring yang terbatas pada kemampuan manualnya dalam menuangkan metal cair. Sehingga menyebabkan kapasitas pada work center making mould terbatas pada kapasitas pouring.

## KESIMPULAN

1. Waktu siklus untuk making mould 13.95 detik, untuk pouring 14.03 detik
2. Waktu normal untuk making mould 13.95 detik dan untuk pouring 12.91 detik

3. Waktu baku untuk making mould 20.51 detik dan untuk pouring 22.08 detik
4. Kapasitas untuk making mould 176 mould/jam, dan untuk pouring adalah 163mould/jam
5. Kapasitas pada work center pouring merupakan penentu diama walaupun mesin mould dapat memproduksi jumlah mould dalam jumla banyak, akan tetapi karena kapasitas work center lebih kecil jika dibandingkan dengan kapasitas work center making mould

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Baroto, Teguh. 2002. Perencanaan dan pengendalian produksi. Jakarta: Ghalia Indonesia
- Gasperz, Vincent. 2002. Production planning and inventory control berdasarkan pendekatan sistem terintegrasi MRP II dan JIT menuju manufacturing 21, Jakarta gramedia Pustaka Utama.
- Kusuma, Hendra. , 2002, Perencanaan dan Pengendalian Produksi, edisi kedua, Andi Yogyakarta.
- Nasution, Arman H, dan Prasetyawan, Yudha. 2008. Perencanaan dan Pengendalian Produksi. Edisi 1, Yogyakarta
- Sutalaksana, Zulfikara, 1979, Teknik Perancangan Sistem Kerja, Bandung, ITB.

## PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI PRODUK YANG OPTIMAL DENGAN MEMPERHATIKAN FAKTOR KECEPATAN KENDARAAN GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI PENGGUNAAN BBM

Imam Sodikin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta  
e-mail: dikiam12@yahoo.com

### ABSTRACT

*PT. Myege is a garment company that processes less than optimal distribution of their products. The company is in the distribution of its products through a route that produces much mileage and fuel costs expensive. Constraints faced by PT. Myege is how to plan the distribution of the product in accordance with the principles of Supply Chain Management, which is the exact fare, timely, appropriate capacity and quality. One of the methods used for planning the distribution of the product is a method of saving matrix by taking into account the speed of the vehicle. This method is used to minimize the distance, time, and cost of taking into account the constraints that exist. The purpose of this study was to determine the optimal distribution of product from the warehouse to all retailers, determine the distribution of the distance traveled and vehicle speed in distributing products to all retailers, and determine the cost of fuel use for the delivery of products to all retailers. This study resulted in a three route distribution. These I, the order of the visit G-R3-R5-R9-R10-G, the total mileage of 454.2 miles, and the cost of fuel is Rp. 296 811, -. These II, the order of visits of the G-R7-R8-R6-G, the total mileage of 358.5 miles, and the cost of fuel is Rp. 285 751, -. These III, order of visits from the G-R1-R2-R4-G, a total distance of 199.7 km, and fuel costs of Rp. 138 203, -. Distributing products to all retailers marketing the region of Central Java and Yogyakarta in the travel distance is as far as 1012.4 km, or effectiveness of distribution distance for 52.82%. Fuel costs for the distribution of the product is Rp. 720 765, - or a fuel cost efficiency of product distribution marketing area of Central Java and Yogyakarta at 53.43%.*

**Keywords:** *SCM, vehicle speed, fuel consumption, saving matrix*

### PENDAHULUAN

Semakin tingginya tingkat persaingan dalam dunia industri menuntut suatu perusahaan untuk dapat menghadapi persaingan. Daya saing yang tinggi tidak hanya dapat dilihat dari baik atau tidaknya kualitas produk, namun juga dapat dilihat dari seberapa baik kemampuan perusahaan untuk melayani konsumennya. Salah satu hal yang berpengaruh dalam meningkatkan pelayanan konsumen adalah bagaimana perusahaan dapat mengirimkan produk permintaan konsumen dengan tepat waktu dan efisien, baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya sesuai yang dipesan. Kemampuan perusahaan dalam mengirimkan produknya tersebut akan menentukan apakah produk tersebut pada akhirnya akan kompetitif di pasar atau tidak. Oleh karena itu kemampuan perusahaan untuk mengelola jaringan distribusinya merupakan satu komponen keunggulan kompetitif yang sangat penting bagi kebanyakan industri. Karena pemilihan jaringan distribusi yang salah dapat mengakibatkan terjadinya pemborosan baik dari segi waktu, tenaga, maupun biaya (Khairuddin, 2012).

PT. MYEGE adalah sebuah perusahaan swasta yang bergerak dalam bidang industri garment. Perusahaan ini didirikan dengan maksud untuk memenuhi kebutuhan konsumen akan sandang yang murah serta berkualitas. Pada awalnya perusahaan ini hanya memproduksi *T-shirt*, namun seiring meningkatnya kebutuhan konsumen, pihak perusahaan mulai berinovasi memproduksi berbagai macam jenis pakaian.

Daerah pemasaran PT. MYEGE cukup luas. Di sisi lain, adanya kompetitor menuntut perusahaan mengambil tindakan dan strategi untuk mempertahankan wilayah yang memiliki prospek pasar yang baik bagi pemasaran produk-produknya. Hal ini menuntut pihak perusahaan agar dapat mengalokasikan produk yang dihasilkan untuk didistribusikan kepada konsumen melalui jarak yang minimum dan kapasitas yang maksimal sehingga dapat memenuhi kebutuhan konsumen dengan biaya pendistribusian produk yang efisien. Pendistribusian produk juga memerlukan strategi agar permintaan produk pada tiap-tiap retailer dapat dipenuhi. Sedangkan dalam upaya pelaksanaan strategi tersebut, ada beberapa permasalahan yang dihadapi perusahaan diantaranya adalah: belum adanya perencanaan pendistribusian produk yang tepat dengan memperhitungkan kapasitas kendaraan, dan kecepatan kendaraan pengangkut serta rute pendistribusian yang mudah untuk dilalui belum diperhatikan. Hal

tersebut mengakibatkan jalur pengiriman yang ditempuh kurang tepat, dan mengakibatkan biaya pendistribusian produk atau biaya penggunaan bahan bakar minyak (BBM) menjadi tidak efisien.

Hubungan antara kecepatan dengan konsumsi BBM dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya:

1. Beban yang diangkut.  
Penambahan beban membuat mesin bekerja lebih berat dari kondisi normal, karena pedal gas harus diinjak lebih dalam untuk memperoleh kecepatan.
2. Jalanan yang macet.  
Kondisi *stop and go* begitu cepat mengurangi isi tangki BBM kendaraan, jika perjalanan dilakukan pada jam-jam sibuk atau saat macet. Dibiarkannya mesin *idle* untuk waktu yang lama, seperti menyalakan mesin ketika menunggu akan membutuhkan lebih banyak BBM ketimbang mematikan dan menyalakan mesin lagi.
3. Rute Perjalanan.  
Penentuan rute perjalanan yang efektif dan terhindar dari macet dapat dilakukan dengan menggunakan peta dan GPS. Jika singgah beberapa kali, maka diupayakan agar rutenya tetap satu poros, sehingga tidak perlu memutar arah.

Penelitian ini ditujukan untuk menentukan rute distribusi produk yang optimal dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan guna meningkatkan efisiensi penggunaan BBM. Salah satu cara penyelesaiannya adalah dengan menggunakan metode *saving matrix*. Metode tersebut pada hakekatnya adalah metode untuk meminimumkan jarak atau waktu atau ongkos dengan mempertimbangkan kendala-kendala yang ada. Tujuan penelitian ini adalah menentukan rute distribusi produk yang optimal dari gudang ke semua retailer, menentukan jarak distribusi yang ditempuh dan kecepatan kendaraannya dalam mendistribusikan produk ke semua retailer, dan menentukan biaya penggunaan BBM untuk pengiriman produk ke semua retailer.

#### 1. Distribusi

Distribusi sering digambarkan sebagai satu dari bauran pemasaran (4P) yaitu *price, place, product, promotion* dengan menempatkan produk pada tempat yang sesuai untuk pembelian (Kotler, 2000). Manajemen distribusi dan transportasi dapat disebut juga sebagai manajemen logistik atau distribusi fisik. Logistik modern dapat didefinisikan sebagai proses pengelolaan yang strategis terhadap pemindahan dan penyimpanan barang, suku cadang dan barang jadi dari para supplier, diantara fasilitas perusahaan dan kepada para pelanggan (Bowersox, 2006). Kegiatan transportasi dan distribusi bisa dilakukan oleh perusahaan manufaktur dengan membentuk bagian distribusi atau transportasi tersendiri atau diserahkan ke pihak ketiga. Dalam upayanya untuk memenuhi tujuan-tujuan di atas, siapapun yang melaksanakan (internal perusahaan atau mitra ketiga), manajemen distribusi dan transportasi pada umumnya melakukan sejumlah fungsi dasar yang terdiri dari (Pujawan, 2010):

- a. Melakukan segmentasi dan menentukan target *service level*.
- b. Menentukan mode transportasi yang akan digunakan.
- c. Melakukan konsolidasi informasi dan pengiriman.
- d. Melakukan penjadwalan dan penentuan rute pengiriman.
- e. Memberikan pelayanan nilai tambah.
- f. Menyimpan persediaan.
- g. Menangani pengembalian (*return*).

#### 2. Supply chain management

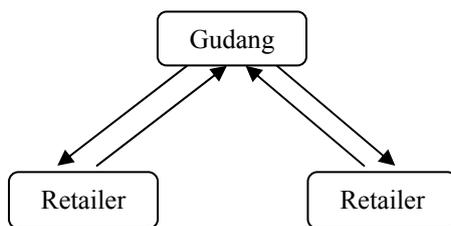
Dengan latar belakang praktek manajemen logistik tradisional dan perubahan lingkungan bisnis yang semakin cepat, *Supply Chain Management* (SCM) merupakan salah satu konsep dalam rangka merespon persoalan tersebut. SCM menekankan pada pola terpadu menyangkut proses aliran produk dari supplier, manufaktur, retailer hingga pada konsumen akhir. Dalam konsep SCM ingin diperlihatkan bahwa rangkaian aktivitas antara *supplier* hingga konsumen akhir adalah dalam satu kesatuan tanpa sekat yang besar. Mekanisme informasi antara berbagai komponen tersebut berlangsung secara transparan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa SCM adalah suatu konsep menyangkut pola pendistribusian produk yang mampu menggantikan pola-pola pendistribusian produk secara tradisional (Pujawan, 2010).

#### 3. Penentuan rute pengiriman

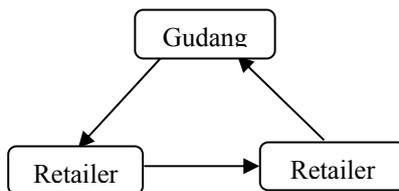
Salah satu keputusan operasional yang sangat penting dalam manajemen distribusi adalah penentuan jadwal serta rute pengiriman dari satu lokasi ke beberapa lokasi tujuan. Metode *saving*

*matrix* pada hakekatnya adalah metode untuk meminimumkan jarak atau waktu atau ongkos dengan mempertimbangkan kendala-kendala yang ada. Langkah-langkah pada metode *saving matrix* adalah:

- a. Mengidentifikasi matrik jarak (*identify the distance matrix*)  
 Pada langkah ini diperlukan jarak antara gudang ke masing-masing toko dan jarak antar toko. Jarak riil antar lokasi diketahui dengan menggunakan bantuan program google maps. Hasil perhitungan jarak ini kemudian akan digunakan untuk menentukan matrik penghematan (*saving matrix*) yang akan dikerjakan pada langkah berikutnya.
- b. Mengidentifikasi matrik penghematan (*saving matrix*).  
 Pada langkah awal ini diasumsikan bahwa setiap toko akan dikunjungi oleh satu mobil box secara eksklusif. *Saving matrix* mempresentasikan penghematan yang bisa direalisasikan dengan menggabungkan dua pelanggan atau lebih ke dalam satu rute selama tidak melebihi kapasitas angkut mobil box. Gambar 1 berikut ini mengilustrasikan perubahan tersebut.



**Gambar 1.** Sebelum Terjadi Konsolidasi Retailer 1 dan Retailer 2 ke dalam Satu Rute (Sumber: Pujawan, 2010)



**Gambar 2.** Perubahan yang Terjadi dengan Mengkonsolidasikan Retailer 1 dan Retailer 2 ke dalam Satu Rute (Sumber: Pujawan, 2010)

Dari Gambar 1 dan 2 di atas dapat dilihat bahwa penghematan jarak dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S(R1,R2) = \text{jarak}(G,R1) + \text{jarak}(G,R2) - \text{jarak}(R1,R2) \dots\dots\dots(1)$$

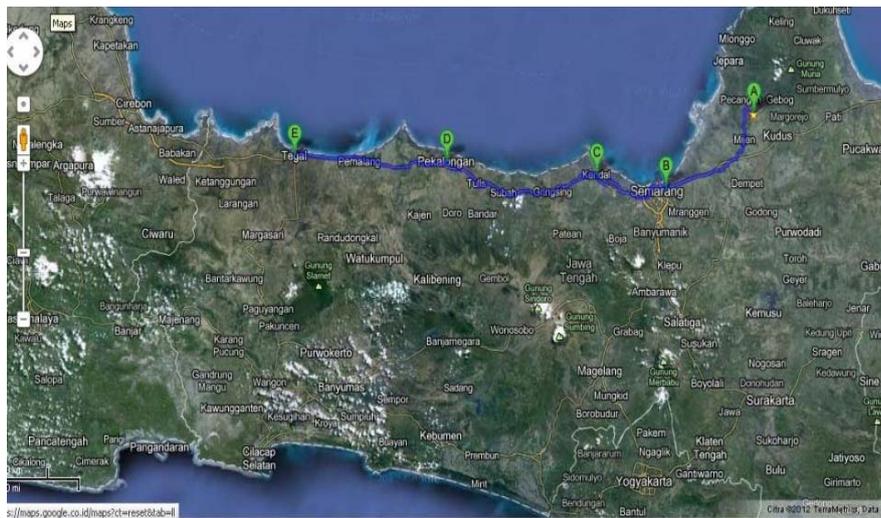
Keterangan:  $S(R1,R2)$  adalah penghematan jarak (*saving*) yang diperoleh dengan menggabungkan rute retailer 1 (R1) dan retailer 2 (R2) menjadi satu.

- c. Proses penandaan pelanggan atau perutean.  
 Pada saat menandai pelanggan ke kendaraan atau rute-rute, harus diusahakan agar dapat memaksimalkan penghematan, dibutuhkan sebuah prosedur berulang pada proses ini. Proses diawali dengan masing-masing pelanggan diberi tanda untuk jenis rute yang terpisah. Dua rute bisa dikombinasikan menjadi satu rute jika pengiriman total kedua rute tersebut tidak melebihi kapasitas kendaraan. Pada masing-masing langkah pengulangan, bisa digunakan penggabungan rute pengiriman dengan mempertimbangkan penyimpanan tertinggi menjadi rute baru. Prosedur ini berlanjut hingga tidak ada lagi kombinasi yang memungkinkan.
- d. Mengurutkan pelanggan-pelanggan dalam rute.  
 Pada saat mengurutkan pelanggan di dalam rute, tujuan utama yang harus diperhatikan adalah untuk meminimumkan jarak masing-masing kendaraan yang dilalui. Perubahan urutan pengiriman yang telah dibuat dapat mempengaruhi jarak yang akan dilalui oleh kendaraan. Urutan pengiriman dapat ditentukan dengan mencapai rute awal urutan, kemudian dilakukan perbaikan rute berupa prosedur-prosedur untuk mencapai urutan pengiriman dengan biaya dan jarak transportasi yang terendah. Urutan rute dibuat berdasarkan alternatif yang mungkin dari semua rute yang dilalui. misalnya:

Rute 1: Gudang – retailer 1 – retailer 2 – retailer 3 –retailer 4 –Gudang

- Rute 2: Gudang – retailer 2 – retailer 3 – retailer 4 – retailer 1 – Gudang
- Rute 3: Gudang – retailer 3 – retailer 4 – retailer 1 – retailer 2 – Gudang
- Rute 4: Gudang – retailer 4 – retailer 1 – retailer 2 – retailer 3 - Gudang

Berdasarkan urutan rute yang dibuat kemudian dipilih rute dengan jarak paling pendek sebagai rute terpilih. Sedangkan faktor kecepatan kendaraan diperhitungkan berdasarkan jarak dan waktu tempuh distribusi produk dari gudang ke retailer dan jarak antar retailer yang diperoleh dari *google maps*. Hasil penelusuran lokasi dan rute di *google maps* dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



**Gambar 3.** Contoh Peta Distribusi Produk Berdasarkan Hasil Penelusuran Lokasi dan Rute Di *Google Maps*

4. Sistem transportasi

Sistem transportasi timbul karena adanya pergerakan manusia dan barang. Pergerakan ini meningkat sejalan dengan semakin berkembangnya suatu kota. Pergerakan terjadi karena adanya proses pemenuhan kebutuhan dimana pemenuhan kebutuhan merupakan kegiatan yang harus dilakukan setiap hari. Untuk melakukan suatu pergerakan dapat menggunakan moda transportasi untuk jarak pendek sedangkan pergerakan dengan moda untuk jarak jauh. Pergerakan dengan moda transportasi tidak akan dapat bergerak apabila tidak dilalui jaringan transportasi yaitu jalan raya, jalan rel, lapangan terbang maupun pelabuhan laut (Warpani, 1990). Definisi dari sistem menurut Tamin (2000) adalah gabungan dari beberapa komponen yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Transportasi sendiri dapat diartikan sebagai suatu sistem yang memungkinkan orang/barang dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lain secara efisien. Pada aktivitas transportasi ada beberapa hal yang harus ada yaitu: muatan yang diangkut untuk dipindahkan dari suatu tempat ke tempat yang lain, tersedia kendaraan sebagai alat angkutnya dan jalan yang dapat dilalui (Wijayanto, 2009).

5. Permasalahan transportasi dan konsumsi BBM

Permasalahan transportasi yang sekarang selalu dihadapi kota-kota besar di Indonesia adalah masalah kemacetan lalu lintas. Menurut Tamin (2000) masalah lalu lintas/kemacetan menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi pemakai jalan terutama dalam hal pemborosan waktu, pemborosan bahan bakar, pemborosan tenaga dan rendahnya tingkat kenyamanan berlalu-lintas serta meningkatnya polusi baik suara maupun polusi udara. Permasalahan suatu kota tidak jauh dari permasalahan jumlah penduduk yang terus meningkat naik secara alami maupun karena perpindahan penduduk (migrasi). Meningkatnya jumlah penduduk pada suatu kawasan perkotaan akan menyebabkan timbulnya berbagai permasalahan, khususnya masalah transportasi. Dari berbagai faktor penyebab permasalahan transportasi yang menjadi penyebab utama adalah tingkat pertumbuhan prasarana yang tidak mampu mencukupi permintaan kebutuhan transportasi. Ketidakseimbangan antara kebutuhan transportasi dan penyediaan sistem transportasi menimbulkan permasalahan (Miro, 1997):

- a. Rendahnya mobilitas dan aksesibilitas

Rendahnya mobilitas dan aksesibilitas ke suatu daerah karena banyaknya kemacetan yang menyebabkan tundaan dan perlambatan kendaraan baik angkutan pribadi maupun umum.

b. Menurunnya keamanan berlalu-lintas

Menurunnya keamanan berlalu-lintas karena banyaknya kendaraan yang berlalu-lalang dengan tujuan sampai ke tempat tujuan secepat mungkin, sehingga yang terjadi banyak yang melakukan segala cara agar cepat sampai walaupun melanggar peraturan lalu-lintas.

c. Kerusakan lingkungan

Turunnya kualitas lingkungan ini misalnya tingginya polusi udara dan suara/kebisingan terutama pada daerah-daerah dengan intensitas lalu-lintas yang tinggi.

d. Pemborosan energi

Masalah kelangkaan energi banyak menjadi problem bagi kota-kota dengan semakin meningkatnya konsumsi bahan bakar.

Kegiatan transportasi tidak akan berjalan, bila tidak ada yang menyertainya, karena energi merupakan faktor utama untuk menggerakkan mesin kendaraan. Energi yang biasa dipakai untuk kendaraan bermotor, yaitu terdiri dari bensin dan solar atau yang biasa disebut Bahan Bakar Minyak (BBM). BBM merupakan salah satu sumber daya alam (SDA) yang tidak dapat diperbaharui. Artinya BBM tersebut jumlahnya sangat terbatas yang tersedia di alam. Oleh karena itu jika BBM dipakai terus menerus maka lama kelamaan akan habis jumlahnya. Konsumsi BBM dari tahun ke tahun mengalami peningkatan, hal ini terjadi akibat semakin meningkatnya pula kegiatan transportasi. Dari data Dirjen Perhubungan Darat disebutkan bahwa pada tahun 2004 konsumsi BBM terbesar di Indonesia terjadi pada sektor Transportasi Darat yaitu mencapai 29,235 ribu kiloliter atau 48 persen dari konsumsi BBM di Indonesia. Hal ini terjadi akibat meningkatnya jumlah kendaraan pribadi, sebesar 17,21 persen per tahun nya. Jika fenomena peningkatan konsumsi BBM ini terus berlangsung maka tidak mustahil akan terjadi krisis energi di negara Indonesia (Wijayanto, 2009).

6. Arus Kendaraan

Menurut Morlok (1978), variabel utama yang dapat digunakan untuk menerangkan arus kendaraan pada suatu jalur gerak adalah volume dan kecepatan.

a. Volume

Volume adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik pada suatu jalur gerak per satuan waktu. Biasanya digunakan satuan kendaraan per waktu. Adapun jumlah gerakan yang dihitung meliputi macam moda lalu-lintas seperti pejalan kaki, mobil, bus, mobil barang, dan lain-lain. Studi tentang volume pada dasarnya bertujuan untuk menetapkan (Hobbs, 1995):

- 1) Nilai kepentingan relatif suatu rute
- 2) Fluktuasi dalam arus
- 3) Distribusi lalu-lintas pada sebuah sistem jalan
- 4) Kecenderungan pemakai jalan
- 5) Survei skala dan pengecekan perhitungan lalu-lintas tersintesis
- 6) Perencanaan fasilitas transportasi

b. Kecepatan

Kecepatan digunakan untuk menerangkan gerakan dari banyak kendaraan pada suatu jalur gerak (Morlok, 1978). Kecepatan kendaraan sangat ditentukan oleh jarak tempuh kendaraan pada satuan waktu atau beberapa kali penelitian, sedangkan untuk kecepatan rata-rata dihitung terhadap distribusi waktu kecepatan atau kecepatan distribusi ruang. Menurut Poerwodarminto (1988), mendefinisikan bahwa kecepatan adalah waktu yang digunakan untuk menempuh jarak tertentu atau laju perjalanan yang biasanya dinyatakan dalam kilometer/jam (km/jam). Kecepatan arus bebas dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata (km/jam) teoritis arus lalu-lintas pada kecepatan = 0, yaitu dimana kecepatan (km/jam) kendaraan yang tidak dipengaruhi oleh kendaraan lain (kecepatan dimana pengemudi merasakan perjalanan yang nyaman dalam kondisi geometrik, lingkungan dan pengaturan lalu-lintas yang ada pada segmen jalan dimana tidak ada kendaraan lain yang mempengaruhi perjalanan).

7. Pengaruh kecepatan kendaraan di jalan perkotaan terhadap konsumsi BBM

Perhitungan konsumsi BBM akibat pengaruh dari kecepatan kendaraan dilakukan dengan model perhitungan *Pacific Consultant International* (PCI) yang telah dikembangkan oleh LAPI-ITB dengan bekerjasama dengan PT. Jasa Marga.

a. Analisis kecepatan kendaraan

Analisis kecepatan kendaraan saat terjadi kemacetan dan kondisi normal ( arus bebas) menggunakan persamaan sebagai berikut (MKJI, 1997):

1) Kecepatan kendaraan

$$V = \frac{L}{TT} \tag{2}$$

Keterangan:

V = Kecepatan (km/jam)

L = Panjang jalan (km)

TT = Waktu tempuh (jam)

2) Kecepatan arus bebas

Kecepatan arus bebas ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (MKJI, 1997):

$$FV = (FV_o + FV_w) \times FFV_{sf} \times FFV_{cs} \tag{3}$$

Keterangan:

FV = Kecepatan arus bebas kendaraan ringan (km/jam)

FVo = Kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan (km/jam)

FVw = Faktor penyesuaian lebar jalur lalin efektif (km/jam)

FFVsf = Faktor penyesuaian kondisi hambatan samping

FFVcs = Faktor penyesuaian ukuran kota

Untuk kecepatan arus bebas dasar jalan dan nilai untuk setiap faktor-faktor penyesuaian jalan disesuaikan dengan kondisi jalan yang bersangkutan.

b. Analisis pengaruh kecepatan kendaraan terhadap penggunaan BBM Kendaraan

Analisis ini digunakan untuk mengetahui konsumsi BBM pada saat tidak ada kemacetan dan saat kemacetan terjadi. Hal ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kecepatan terhadap penggunaan BBM untuk kendaraan. Kecepatan dan waktu tempuh perjalanan menjadi indikator dalam penggunaan BBM. Apabila terjadi kemacetan tentu akan lebih besar konsumsi BBM yang digunakan kendaraan. Spesifik model perhitungan konsumsi BBM adalah berdasarkan persamaan *Pasific Consultant International (PCI)*:

Persamaan Konsumsi BBM:

$$\text{Golongan I : } Y = 0,05693 S^2 - 6,42593 S + 269,18576 \tag{4}$$

$$\text{Golongan II : } Y = 0,21692 S^2 - 24,1549 S + 954,78824 \tag{5}$$

$$\text{Golongan III : } Y = 0,21557 S^2 - 24,1769 S + 947,80882 \tag{6}$$

Keterangan:

Y= Konsumsi BBM (liter/1000 Km/Kendaraan)

S= Kecepatan kendaraan (Km/Jam)

Untuk mempermudah proses pencatatan dan proses perhitungan, maka kendaran dibagi dalam 3 golongan yaitu:

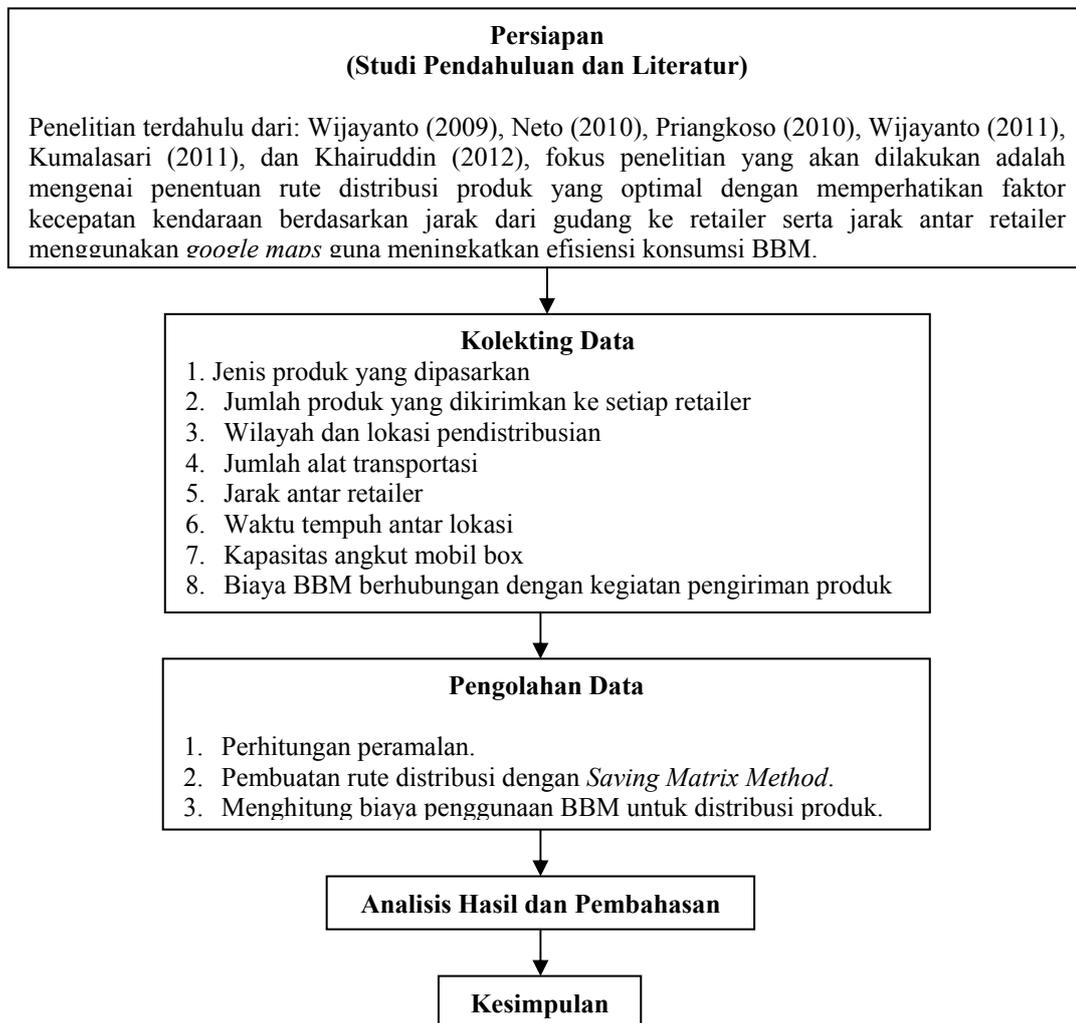
Golongan I = sedan, jip, pick-up, bus kecil, truk dan bus sedang

Golongan II = Truk besar dan bus besar dengan 2 gardan

Golongan III = Truk besar dengan 3 gardan/lebih

Untuk penelitian ini data yang diambil adalah data untuk kendaraan golongan I, yaitu: pick-up atau mobil box.

## METODE PENELITIAN



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## PEMBAHASAN

PT. Myege menggunakan mobil box dalam pendistribusian produknya. Faktor kecepatan digunakan untuk mengetahui konsumsi BBM pada saat tidak ada kemacetan dan saat kemacetan terjadi. Hal ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kecepatan terhadap penggunaan BBM untuk kendaraan. Kecepatan dan waktu tempuh perjalanan menjadi indikator dalam penggunaan BBM. Apabila terjadi kemacetan tentu akan lebih besar konsumsi BBM yang digunakan kendaraan. Spesifik model perhitungan konsumsi BBM adalah berdasarkan persamaan (4). Harga BBM untuk satu liternya adalah Rp. 6.500,-. Besarnya efektivitas pendistribusian produk berhubungan dengan jarak tempuh mobil box, sedangkan efisiensi pendistribusian produk berhubungan dengan biaya untuk pembelian BBM.

Untuk menghitung apakah biaya BBM untuk distribusi lebih sedikit sesudah penerapan *saving matrix*, maka harus dihitung efektivitas jarak distribusi sebelum penerapan metode *saving matrix*. Tabel 1 berikut ini menyajikan rute perjalanan, kecepatan kendaraan, konsumsi BBM, dan biaya pendistribusian produk sebelum penerapan metode *saving matrix*, dan tabel 2 dan 3 setelah penerapan metode *saving matrix*.

**Tabel 1.** Rute Perjalanan, Kecepatan Kendaraan, Konsumsi BBM dan Biaya Pengiriman Produk Sebelum Penerapan Metode *Saving Matrix*

Rute	Urutan Rute	Kecepatan kendaraan (km/jam)	Konsumsi BBM (liter)	Biaya Pengiriman (Rp)
1	G → R1 → G	19,33	0,96	6.264,-
2	G → R2 → G	21,85	4,43	28.777,-
3	G → R3 → G	35,47	12,13	78.848,-
4	G → R4 → G	37,88	20,32	132.109,-
5	G → R5 → G	44,11	18,77	121.981,-
6	G → R6 → G	35,2	29,94	194.581,-
7	G → R7 → G	26,07	32,54	211.513,-
8	G → R8 → G	32,32	40,36	262.329,-
9	G → R9 → G	46,11	31,12	202.295,-
10	G → R10 → G	42,41	45,29	294.403,-

**Tabel 2.** Rute Perjalanan, Jarak, Waktu, dan Kecepatan Kendaraan dengan Metode *Saving Matrix*

Rute	Urutan Kunjungan	Jarak (km)	Waktu tempuh (menit)	Waktu tempuh (jam)	Kecepatan kendaraan (km/jam)
I	G → R3 → R5 → R9 → R10 → G	454,2	658	10,97	41,42
II	G → R7 → R8 → R6 → G	358,5	679	11,32	31,68
III	G → R1 → R2 → R4 → G	199,7	313	5,22	38,28

**Tabel 3.** Rute Perjalanan, Kecepatan Kendaraan, Konsumsi BBM dan Biaya Pengiriman Produk dengan Metode *Saving Matrix*

Rute	Urutan Kunjungan	Kecepatan kendaraan (km/jam)	Konsumsi BBM (liter)	Biaya Pengiriman (Rp)
I	G → R3 → R5 → R9 → R10 → G	41,42	45,66	296.811,-
II	G → R7 → R8 → R6 → G	31,68	43,96	285.751,-
III	G → R1 → R2 → R4 → G	38,28	21,26	138.203,-

Efektivitas jarak dan efisiensi biaya BBM pada masing-masing rute setelah penerapan metode *saving matrix* dan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan (tabel 2 dan 3), dihasilkan berdasarkan perhitungan yang disajikan dalam tabel 4 dan 5 sebagai berikut:

**Tabel 4.** Jarak, Waktu, dan Kecepatan Sebelum Penggunaan Metode *Saving Matrix* di Rute I

Rute	Urutan Rute	Jarak (km)	Waktu Tempuh (menit)	Waktu tempuh (jam)	Kecepatan kendaraan (km/jam)
I	G → R3 → G	107,6	182	3,03	35,47
	G → R5 → G	194,8	265	4,42	44,11
	G → R9 → G	332	432	7,2	46,11
	G → R10 → G	458	648	10,8	42,41
Jumlah		1092,4			

**Tabel 5.** Kecepatan Kendaraan, Konsumsi BBM, dan Biaya Pengiriman Produk Sebelum Penggunaan Metode *Saving Matrix* di Rute I

Rute	Urutan Rute	Kecepatan kendaraan (km/jam)	Konsumsi BBM (liter)	Biaya Pengiriman (Rp)
I	G → R3 → G	35,47	12,13	78.848,-
	G → R5 → G	44,11	18,77	121.981,-
	G → R9 → G	46,11	31,12	202.295,-
	G → R10 → G	42,41	45,29	294.403,-
Jumlah			107,31	697.528,-

Efektivitas jarak dan efisiensi biaya BBM untuk distribusi produk pada rute I adalah:

$$Efektivitas = \left( \frac{1092,4 - 454,2}{1092,4} \right) \times 100\% = 58,42\%$$

$$Efisiensi = \left( \frac{Rp. 697.528 - Rp. 296.811}{Rp. 697.528} \right) \times 100\% = 57,45\%$$

Berdasarkan perhitungan yang sama seperti diuraikan di atas, maka dihasilkan pula nilai efektivitas dan efisiensi di rute II serta III yang disajikan pada tabel 6 di bawah ini.

**Tabel 6.** Jarak, Konsumsi BBM, Biaya Pengiriman Produk, Efektivitas, dan Efisiensi dengan Penggunaan Metode *Saving Matrix* di Rute II serta III

Rute	Jarak (km)	Konsumsi BBM (liter)	Biaya Pengiriman (Rp)	Efektivitas (%)	Efisiensi (%)
II	830	105,07	682.956,-	56,81	58,16
III	223,6	25,72	167.150,-	10,69	17,32

Metode *saving matrix* pada hakekatnya adalah metode untuk meminimumkan jarak atau ongkos dengan memperhitungkan kendala-kendala yang ada. Efektivitas dan Efisiensi distribusi produk menggunakan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan adalah sebagai berikut:

1. Jarak semula pada rute 1 adalah sejauh 1092,4 km, setelah penggunaan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan, jarak yang ditempuh untuk distribusi produk pada rute 1 sejauh 454,2 km. Penghematan jarak pada rute 1 adalah sejauh 638,2 km. Efektivitas yang didapat melalui penggunaan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan untuk distribusi pada rute 1 adalah 58,42%.
2. Biaya yang semula dikeluarkan perusahaan untuk distribusi produk pada rute 1 adalah Rp. 697.528,- dan setelah menggunakan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan adalah Rp. 296.811,-, maka penghematan biaya BBM pada rute 1 sebesar Rp. 400.717,- atau efisiensi biaya distribusi pada rute 1 sebesar 57,45%.
3. Jarak semula pada rute II adalah sejauh 830 km, setelah penggunaan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan, jarak yang ditempuh untuk distribusi produk pada rute II sejauh 358,5 km. Penghematan jarak pada rute II adalah sejauh 471,5 km. Efektivitas yang didapat melalui penggunaan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan untuk distribusi pada rute II adalah 56,81%.
4. Biaya yang semula dikeluarkan perusahaan untuk distribusi produk pada rute II adalah Rp. 682.956,- dan setelah menggunakan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan adalah Rp. 285.751,-, maka penghematan biaya BBM pada rute II sebesar Rp. 397.205,- atau efisiensi biaya distribusi pada rute II sebesar 58,16%.
5. Jarak semula pada rute III adalah sejauh 223,6 km, setelah penggunaan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan, jarak yang ditempuh untuk distribusi produk pada rute III sejauh 199,7 km. Penghematan jarak pada rute III adalah sejauh 23,9 km. Efektivitas yang didapat melalui penggunaan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan untuk distribusi pada rute III adalah 10,69%.

6. Biaya yang semula dikeluarkan perusahaan untuk distribusi produk pada rute III adalah Rp. 167.150,- dan setelah menggunakan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan adalah Rp. 138.203,-, maka penghematan biaya BBM pada rute III sebesar Rp. 28.947,- atau efisiensi biaya distribusi pada rute III sebesar 17,32%.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan:

1. Rute distribusi produk yang diperoleh untuk melayani permintaan semua retailer pemasaran Jawa Tengah dan DIY berdasarkan kapasitas alat angkut, dan penerapan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan mempunyai 3 rute, yaitu:
  - a. Rute I  
Urutan kunjungan dari Gudang - Semarang - Kendal - Pekalongan - Tegal - Gudang. Total jarak perjalanan sejauh 454,2 km dan biaya BBM untuk mobil box sebesar Rp. 296.811,-.
  - b. Rute II  
Urutan kunjungan dari Gudang - Surakarta - Yogyakarta - Magelang - Gudang. Total jarak perjalanan sejauh 358,5 km dan biaya BBM untuk mobil box sebesar Rp. 285.751,-.
  - c. Rute III  
Urutan kunjungan dari Gudang - Jepara - Kudus - Ambarawa - Gudang. Total jarak perjalanan sejauh 199,7 km dan biaya BBM untuk mobil box sebesar Rp. 138.203,-.
2. Pendistribusian produk melalui penerapan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan ke semua retailer wilayah pemasaran Jawa Tengah dan DIY jarak yang di tempuh sejauh 1012,4 km, efektivitas jarak distribusinya sebesar 52,82 %.
3. Biaya BBM untuk distribusi produk daerah pemasaran Jawa Tengah dan DIY melalui penerapan metode *saving matrix* dengan memperhatikan faktor kecepatan kendaraan yaitu sebesar Rp. 720.765,- atau efisiensi biaya BBM untuk distribusi produk wilayah pemasaran Jawa Tengah dan DIY sebesar 53,43%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowersox, 2006, Manajemen Logistik, Edisi Pertama, Guna Widya, Surabaya.
- Hobbs, F. D., 1995, Perencanaan dan Teknik Lalu-lintas, Edisi Kedua, Gajahmada University Press, Yogyakarta.
- Khairuddin, 2012, Penentuan Jalur Distribusi dengan Metode Saving Matrix, Skripsi, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Kumalasari, I., 2011, Pendistribusian Buku dengan Menentukan Jalur Distribusi Optimal dengan Menggunakan Metode Saving Matrix, Skripsi, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Kotler, P., 2000, Manajemen Pemasaran, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997, Direktorat Bina Jalan Kota, Direktorat Jendral Bina Marga Departemen PU, Sweroad, Jakarta.
- Miro, F., 1997, Sistem Transportasi Kota, Tarsito, Bandung.
- Morlok, Edward K., 1978, Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi, Terjemahan Yani Sianipar, Erlangga, Jakarta.
- Neto J, E, J., 2010, Efektivitas Distribusi Produk dalam Rantai Pasok Menggunakan Saving Matrix Method dan Generalized Assigment Method, Skripsi, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Priangkoso, T., 2010, Hubungan Tingkat Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Penumpang dengan Perilaku Berkendaraan, Prosiding Seminar Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik UNWAHAS, Semarang.
- Tamin, Ofyar Z, 2000, Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, Penerbit ITB, Bandung.
- Poerwodarminto, 1988, Kamus Besar Bahasa Indonesia, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Balai Pustaka, Jakarta.
- Pujawan, I, N., 2010, Supply Chain Management, Edisi Kedua, Guna Widya, Surabaya.
- Warpani, S., 1990, Merencanakan Sistem Pengangkutan, Penerbit ITB, Bandung.
- Wijayanto, A, Y., 2011, Optimalisasi Pengoperasian Kecepatan Kapal untuk Mengurangi Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi CO<sub>2</sub>, Skripsi, ITS, Surabaya.
- Wijayanto, Y., 2009, Analisis Kecepatan Kendaraan pada Ruas Jalan Brigjen Sudiarto (Majapahit) Kota Semarang dan Pengaruhnya Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM), Tesis, UNDIP, Semarang.

## KAJIAN EMPIRIS FAKTOR FAKTOR YANG MEMPENGARUHI RETENSI KARYAWAN (STUDI KASUS : PADA PT. KMK GLOBAL SPORT)

Wibawa Prasetya<sup>1</sup>, Yoseph Stepanus Suryono<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Unika Atmajaya Jakarta  
e-mail:<sup>1</sup>wibawaprasetya20@yahoo.com,<sup>2</sup>yosephstepanus@yahoo.com

### ABSTRACT

Employees play an important role in a company. Any sophisticated equipment owned by the company, if there is no qualified human resources, the production process will not run properly. The role of employees in the company becomes very important because they can control all the activities in the company. The role of employees in a company was so great, so they should be considered as an asset and not as a factor of production. To avoid high employee turnover, company is obliged to preserve and maintain employee owned, because by maintaining and retaining employees will be more profitable when compared with the recruitment of new employees.

The purpose of this study was to determine factors that influence employee retention. Methods of quantitative research methods used and the object of research employees of PT. KMK Global Sport totaled 14499 people. Data collection were obtained using questionnaires. Sampling technique used random sampling proportional manner. With a total sample of 200 people. Validity and reliability of questionnaires used SPSS and to determine the factors that influence employee retention, the data obtained were processed using AMOS 18.

The conclusion of the result showed that compensation and coworkers effect on job satisfaction, Interpersonal Communication has no effect on job satisfaction. Compensation, coworkers, Interpersonal Communication, and job satisfaction has no effect on retention of employees

The suggestion is that companies have to be creative in managing employees so they can manage to have high employee retention rate.

**Keywords :** *proporsional random sampling, validity testing, reliability testing, retention, AMOS 18.*

### PENDAHULUAN

PT. KMK Global Sport merupakan salah satu pabrik terbesar yang bergerak dalam pembuatan sepatu untuk dipasarkan keluar negeri. Lokasi pabrik sepatu ini berada di Jl. Cikupamas Raya No.17, Tangerang, Banten, Indonesia. Sampai saat ini PT. KMK Global Sport memiliki ribuan karyawan. Tingkat *turnover* karyawan di PT. KMK. Global Sport cenderung rendah. Berikut data tingkat *turnover* di perusahaan tersebut.

**Tabel 1.** Data rata-rata *turnover* karyawan tetap PT. KMK Global Sports tahun 2012

No	Bulan	Jumlah Pegawai Keluar	Jumlah Keseluruhan Pegawai	%
1	Januari	78	13817	0,56
2	Februari	100	13713	0,73
3	Maret	81	13609	0,60
4	April	65	13748	0,47
5	Mei	50	13856	0,36
6	Juni	27	13829	0,20
7	Juli	72	14121	0,51
8	Agustus	154	14055	1,10
9	September	61	14302	0,43
10	Oktober	101	14798	0,68
11	November	82	14796	0,55
12	Desember	50	14744	0,34
Rata-rata % <i>Turnover</i>				0,54

Tingkat *turnover* dikatakan rendah apabila memiliki nilai tidak lebih dari 10%. Tingkat *turnover* yang rendah memiliki arti bahwa retensi karyawan tinggi. Retensi karyawan menurut Mathis & Jackson (2006 : 126) merupakan kemampuan yang dimiliki perusahaan untuk mempertahankan karyawan potensial untuk tetap loyal terhadap perusahaan. Tujuannya adalah mempertahankan karyawan yang dianggap berkualitas dari perusahaan atas kehendak karyawan itu sendiri. Berdasarkan data *turnover* karyawan PT. KMK Global Sport, menarik untuk diteliti faktor apa yang membuat karyawan ingin tetap bertahan di perusahaan tersebut. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah :

1. Kompensasi berpengaruh terhadap kepuasan kerja karyawan.
2. Rekan kerja berpengaruh terhadap kepuasan kerja karyawan
3. Komunikasi Interpersonal berpengaruh terhadap kepuasan kerja karyawan
4. Kompensasi berpengaruh terhadap retensi karyawan
5. Rekan kerja berpengaruh terhadap retensi karyawan
6. Komunikasi interpersonal berpengaruh terhadap retensi karyawan
7. Kepuasan kerja berpengaruh terhadap retensi karyawan

Kompensasi merupakan sesuatu yang diterima karyawan sebagai pengganti kontribusi jasa mereka kepada perusahaan (Veithzal Rivai, 2008). Menurut Mathis & Jackson (2006) kompensasi dapat dibagi kedalam dua komponen, yaitu: (1). Kompensasi langsung misalnya gaji pokok, gaji variabel, upah, bonus dan komisi, (2). Kompensasi Tidak langsung misalnya liburan, asuransi, jasa perawatan anak atau kepedulian keagamaan, uang cuti, dan uang pensiun.

Menurut Hasibuan dalam Sherly Sofiah (2010), ada dua asas dalam pemberian kompensasi yaitu: (1). Asas Adil, besarnya kompensasi yang dibayarkan kepada setiap karyawan harus disesuaikan dengan prestasi kerja, jenis pekerjaan, resiko pekerjaan, tanggung jawab, jabatan kerja. (2). Asas Layak, Kompensasi yang diterima karyawan perusahaan dapat memenuhi kebutuhan dalam normative yang ideal. Tolok ukur layak adalah relative, penetapan besarnya kompensasi didasarkan atas batas upah minimal pemerintah.

Menurut FX. Tugino (1998), kompensasi berpengaruh terhadap kepuasan kerja karyawan. Walaupun kompensasi berpengaruh terhadap kepuasan kerja tetapi hasil penelitian Rodina (2013) kompensasi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap keinginan karyawan untuk pindah.

Rekan Kerja merupakan sumber kepuasan kerja bagi pekerja secara individual (Luthans, 1998). Sementara kelompok kerja dapat memberikan dukungan, nasihat atau saran, bantuan kepada sesama rekan kerja. Kelompok kerja yang baik membuat pekerjaan lebih menyenangkan. Baiknya hubungan antara rekan kerja sangat besar artinya bila rangkaian pekerjaan tersebut memerlukan kerjasama tim yang tinggi. Menurut Keith Jones & John W. Newstorm (1994), tim yang efektif memiliki 4 unsur yaitu :

1. Lingkungan yang suportif, kerja tim paling besar kemungkinannya berkembang apabila pimpinan menciptakan lingkungan yang suportif baginya.
2. Kejelasan peran, kelompok hanya dapat bekerja sama sebagai suatu tim apabila semua anggotanya mengetahui peran sesama anggota yang lain dengan siapa mereka akan berinteraksi.
3. Tujuan Tinggi, tanggung jawab utama para manajer adalah berusaha menjaga anggota tim agar tetap berorientasi pada tugas mereka secara menyeluruh. Akan tetapi ada kalanya kebijakan organisasi tidak mendorong kerja tim.
4. Kepemimpinan yang sesuai, sebagian tugas tim menunjukkan kurva prestasi serupa dengan daur hidup produk awal tentative, tahap peertengahan yang produktif dan berangsur angsur menurun setelah beberapa tahun.

Hasil penelitian sebelumnya oleh Ridwan Gorei (2012), rekan kerja mempunyai pengaruh yang positif terhadap kepuasan kerja

Komunikasi interpersonal, menurut Agus. M Harjana (2003), merupakan interaksi tatap muka antar dua atau beberapa orang, dimana pengirim dapat menyampaikan pesan secara langsung dan penerima pesan dapat menerima dan menanggapi secara langsung pula. Menurut Devito (1997), faktor faktor efektivitas komunikasi interpersonal dimulai dengan lima kualitas umum yang dipertimbangkan, yaitu :

1. Keterbukaan (*Openness*), kualitas keterbukaan mengacu pada sedikitnya tiga aspek dari komunikasi interpersonal, yaitu a). Komunikator interpersonal yang efektif harus terbuka kepada orang yang diajak berinteraksi untuk mengungkapkan informasi yang biasanya disembunyikan, b). Mengacu pada kesediaan komunikator untuk berinteraksi secara jujur terhadap stimulus yang datang. c). Menyangkut kepemilikan perasaan dan pikiran.

2. Empati (*Empathy*), merupakan kemampuan seseorang untuk mengetahui apa yang sedang dialami orang lain pada suatu saat tertentu dari sudut pandang orang lain itu. Orang yang empatik mampu memahami motivasi dan pengalaman orang lain, perasaan dan sikap mereka, serta harapan dan keinginan mereka untuk masa yang akan datang
3. Sikap Mendukung, hubungan interpersonal yang efektif adalah hubungan dimana terdapat sikap mendukung. Komunikasi yang terbuka dan empatik tidak dapat berlangsung dalam suasana yang tidak mendukung. Kita memperlihatkan sikap mendukung dengan bersikap deskriptif, spontan dan profesional.
4. Sikap Positif (*Positiveness*). Kita mengkomunikasikan sikap positif dalam komunikasi interpersonal dengan cara menyatakan sikap positif dan mendorong orang yang menjadi teman kita untuk berinteraksi. Sikap positif mengacu pada dua aspek dari komunikasi interpersonal yaitu : komunikasi interpersonal terbina jika seseorang memiliki sikap positif terhadap diri mereka sendiri dan perasaan positif untuk situasi komunikasi pada umumnya sangat penting untuk interaksi yang efektif.
5. Kesetaraan (*Equality*). Komunikasi interpersonal akan lebih efektif jika suasananya setara. Hal ini berarti harus ada pengakuan secara tertutup bahwa kedua belah pihak sama-sama berharga dan bernilai, dan masing-masing pihak mempunyai sesuatu yang penting untuk disumbangkan. Kesetaraan berarti kita menerima pihak lain atau memberikan penghargaan positif tak bersyarat kepada orang lain.

Kepuasan kerja, menurut Robbins, (1996) mengistilahkan kepuasan kerja sebagai sikap umum seseorang individu terhadap pekerjaannya, selanjutnya dijelaskan pula bahwa seseorang dengan kepuasan kerja yang tinggi menunjukkan sikap positif terhadap pekerjaan itu, sebaliknya seseorang yang tidak puas dengan pekerjaannya menunjukkan sikap yang negative terhadap pekerjaannya itu. Veithzal Rivai (2008), membagi teori kepuasan kerja menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Teori Ketidaksesuaian  
Teori ini mengukur kepuasan kerja seseorang dengan menghitung selisih antara sesuatu yang seharusnya dengan kenyataan yang dirasakan.
2. Teori Keadilan  
Teori ini mengungkapkan bahwa orang akan merasa puas atau tidak puas tergantung pada ada atau tidaknya keadilan dalam suatu situasi, khususnya situasi kerja.
3. Teori Dua faktor  
Teori ini merumuskan karakteristik pekerjaan menjadi dua kelompok yaitu *Satisfies* dan *dissatisfies*. *Satisfies* adalah faktor faktor atau situasi yang dibutuhkan sebagai sumber kepuasan kerja., sedangkan *dissatisfies* adalah faktor faktor yang menjadi sumber ketidakpuasan, terdiri dari : kompensasi/upah, pengawasan, hubungan antar personal, kondisi kerja dan status. Faktor ini diperlukan untuk memenuhi dorongan biologis serta kebutuhan dasar karyawan.

Selain itu Luthans (1998) juga menunjukkan bahwa terdapat 6 faktor penting yang mempengaruhi kepuasan kerja karyawan yaitu :

1. Pekerjaan itu sendiri.  
Menurut Luthans, unsur ini menjelaskan pandangan karyawan mengenai pekerjaannya sebagai pekerjaan yang menarik, melalui pekerjaan tersebut karyawan memperoleh kesempatan untuk belajar dan memperoleh peluang untuk menerima tanggung jawab..
2. Kompensasi.  
Menurut Robbins (2001), bahwa para karyawan menginginkan system upah dan kebijakan promosi yang mereka persepsikan sebagai adil, tidak meragukan dan segaris dengan pengharapan mereka. Bila upah dilihat sebagai adil yang didasarkan pada tuntutan pekerjaan, tingkat ketrampilan individu dan standard pengupahan komunitas, kemungkinan besar akan dihasilkan kepuasan.
3. Kesempatan Promosi  
Menurut Luthans (1998) mengatakan bahwa kesempatan promosi mengakibatkan pengaruh yang berbeda terhadap kepuasan kerja karena adanya perbedaan balas jasa yang diberikan. Dengan demikian promosi akan selalu diikuti oleh tugas, tanggung jawab dan wewenang yang lebih tinggi dari jabatan yang diduduki sebelumnya.
4. Supervisi  
Tugas pengawasan tidak dapat dipisahkan dengan fungsi kepemimpinan yaitu usaha mempengaruhi kegiatan bawahan melalui proses komunikasi untuk mencapai tujuan yang sudah ditetapkan organisasi.

5. Rekan kerja  
Rekan kerja yang bersahabat, kerjasama rekan sekerja atau kelompok kerja adalah sumber kepuasan kerja bagi pekerja secara individual. Sementara kelompok kerja dapat memberikan dukungan, nasihat atau saran, bantuan kepada sesama rekan kerja. Kelompok kerja yang baik membuat pekerjaan lebih menyenangkan.

6. Kondisi Kerja  
Apabila kondisi kerja bagus (lingkungan yang bersih dan menarik), akan membuat pekerjaan dengan mudah dapat ditangani. Sebaliknya jika kondisi kerja tidak menyenangkan (panas dan berisik) akan berdampak sebaliknya.

Retensi Karyawan merupakan kemampuan yang dimiliki perusahaan untuk mempertahankan karyawan potensial untuk tetap loyal terhadap perusahaan. Tujuannya adalah untuk mempertahankan karyawan yang dianggap berkualitas dari perusahaan atas kehendak dari karyawan itu sendiri. (Mathis & Jackson, 2006). Ada 5 faktor yang menentukan retensi karyawan, yaitu :

1. Komponen Organisasional

Beberapa komponen organisasional mempengaruhi karyawan apakah akan bertahan atau akan meninggalkan perusahaan. Organisasi yang memiliki budaya dan nilai positif dan berbeda mengalami perputaran karyawan yang lebih rendah. Komponen organisasional terdiri dari : Budaya dan nilai organisasional, strategi, peluang dan manajemen organisasional, kontinuitas dan keamanan kerja

2. Peluang Karir

Usaha pengembangan karir organisasional dapat mempengaruhi tingkat retensi karyawan secara signifikan. Peluang untuk pengembangan pribadi memunculkan alasan mengapa individu mengambil pekerjaannya saat ini dan mengapa mereka bertahan. Peluang karier dapat dibedakan menjadi pengembangan karier dan perencanaan karier.

3. Penghargaan

Penghargaan nyata yang diterima karyawan karena bekerja dalam bentuk kompensasi, insentif dan tunjangan. Ketiga komponentersebut merupakan alasan untuk bertahan atau keluar. Karyawan cenderung bertahan apabila memperoleh kompensasi yang kompetitif. Hal yang menyangkut penghargaan antara lain : tunjangan kompetitif, bonus special, kinerja dan kompensasi dan pengakuan.

4. Rancangan Tugas dan Pekerjaan

Faktor mendasar yang mempengaruhi retensi karyawan adalah sifat dari tugas dan pekerjaan yang dilakukan. Rancangan tugas dan pekerjaan dapat dilihat dari : fleksibilitas kerja dan keseimbangan kerja.

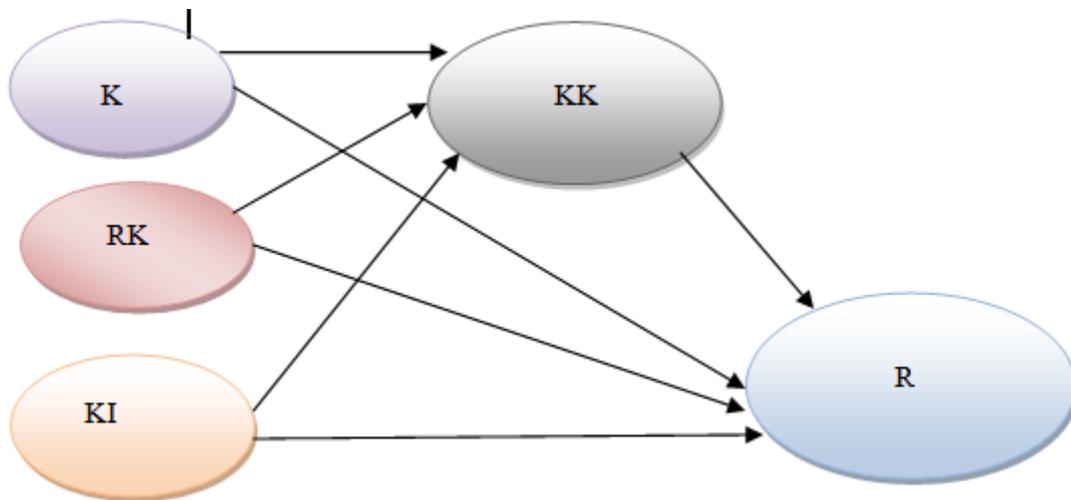
5. Hubungan Karyawan

Faktor terakhir yang mempengaruhi retensi karyawan didasarkan pada hubungan yang dimiliki para karyawan dalam organisasi, diantaranya : perilaku tidak adil, dukungan dari supervisor dan hubungan dengan rekan kerja.

Menurut Taconline dalam Yuna (2006), perusahaan dapat menerapkan lima strategi yang mampu meningkatkan retensi karyawan. Strategi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Strategi lingkungan yaitu menciptakan dan meningkatkan tempat kerja yang lebih menarik, tetap memakai dan memelihara orang-orang yang bekerja dengan baik
2. Strategi hubungan yaitu strategi yang memfokuskan kepada bagaimana perusahaan menyenangkan karyawan mereka dan bagaimana mereka menyenangkan satu dengan yang lain.
3. Strategi dukungan, meliputi pemberian pemberiaan peralatan kepada karyawan perlengkapan dan informasi untuk melakukan pekerjaan.
4. Strategi pertumbuhan, menguraikan antara personal dan pertumbuhan profesional
5. Strategi kompensasi, menggambarkan jumlah total kompensasi, jangan hanya bayaran pokok.

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat dibuat model penelitian sebagai berikut :



Gambar 1. Gambar Model Penelitian

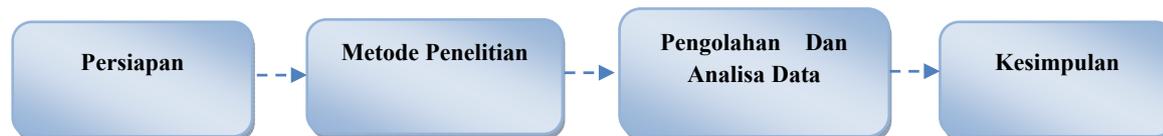
Definisi Operasional Variabel :

1. Kompensasi (K) adalah sesuatu yang diterima karyawan sebagai pengganti kontribusi jasa mereka kepada Perusahaan ( Veithzal Rivai (2008). Indikator dari kompensasi adalah : gaji, upah, insentif, kompensasi langsung dan tidak langsung
2. Rekan Kerja (RK) adalah rekan dalam kelompok kerja yang dapat membuat pekerjaan menjadi lebih menyenangkan ( Luthans, 1998). Indikator dari rekan kerja adalah bersahabat, member dukungan, member nasihat, member bantuan, lingkungan yang supportive, kejelasan peran, tujuan jelas, kepemimpinan yang sesuai
3. Komunikasi Interpersonal (KI) adalah interaksi tatap muka antar dua atau beberapa orang, dimana pengirim pesan dapat secara langsung menyampaikan pesan dan penerima pesan dapat menerima dan menanggapi secara langsung (Agus M. Hardjana, 2003). Indikator dari komunikasi Interpersonal : Keterbukaan, Empati, Sikap mendukung, sikap positif, kesetaraan
4. Kepuasan Kerja (KK) adalah sikap yang ditunjukkan seseorang berkenaan dengan pekerjaan yang menjadi tanggung jawabnya, , jika puas dengan pekerjaannya menunjukkan sikap positif terhadap pekerjaannya, sebaliknya jika tidak puas menunjukkan sikap negatif terhadap pekerjaannya( Robbins, 2003). Indikator kepuasan kerja adalah motivasi tinggi, senang dengan pekerjaannya, respon emosional, hasil yang diperoleh memenuhi harapan, attitude pekerja berkaitan dengan pekerjaannya.
5. Retensi Karyawan (R) adalah kemampuan yang dimiliki perusahaan untuk mempertahankan karyawan potensial agar tetap loyal terhadap perusahaan. ( Mathis & Jackson, 2006). Indikator dari Retensi karyawan adalah : Mempertahankan karyawan, loyalitas karyawan, komponen organisasional, peluang karier, penghargaan, rancangan tugas, hubungan karyawan

#### METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan survei terhadap karyawan PT. KMK Global Sport yang berjumlah 14499 orang. Jumlah sampel yang diambil 200 orang. Teknik pengambilan sampel menggunakan proporsional random sampling. Pengambilan data menggunakan kuisioner. Sebelum digunakan terlebih dahulu kuisioner diuji validitas dan reliabilitasnya dengan *software* SPSS. Untuk mengetahui pengaruh variabel *Independent* ( Kompensasi, Rekan Kerja, Komunikasi Interpersonal dan kepuasan kerja) terhadap variabel *dependent* ( Retensi Karyawan ) digunakan *software* AMOS 18

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Alur Tahapan Penelitian

Untuk pengambilan data digunakan kuisioner, yang telah disiapkan dimana responden dapat memilih jawaban yang sesuai dengan kondisi yang mereka rasakan. Pengukuran data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan skala likert dengan criteria sebagai berikut : Sangat Setuju ( 5), Setuju (4), Netral (3), Tidak Setuju (2), Sangat Tidak Setuju (1)

Dalam membuat item pertanyaan/ pernyataan, variable yang akan diukur dijabarkan menjadi indikator variable. Kemudian indikator tersebut dijadikan titik tolak untuk menyusun item pertanyaan/ pernyataan.

## PEMBAHASAN

Untuk melakukan uji validitas dan reliabilitas kuisioner, digunakan program SPSS dengan jumlah sampel sebanyak 50 orang. Hasil uji validitas menunjukkan bahwa nilai extraction semua item pernyataan pada kuisioner lebih besar dari 0,4. Menurut Buwono Agung (2005), jika nilai extraction lebih besar dari 0,4 berarti setiap pernyataan pada variabel penelitian valid.

Kemudian pengujian selanjutnya adalah uji reliabilitas kuisioner. Hasil uji reliabilitas untuk variabel kompensasi mempunyai nilai *alpha cronbach's* 0,943, variabel rekan kerja 0,897, variabel komunikasi interpersonal 0,827, Kepuasan Kerja 0,900, dan variabel retensi karyawan 0,916. Menurut Buwono Agung (2005) apabila nilai *alpha cronbach's* lebih besar dari 0,6 maka kuisioner memiliki reliabilitas yang baik, dengan hasil uji reliabilitas yang sudah dilakukan kuisioner dapat dikatakan reliabel atau memiliki konsistensi yang baik.

Setelah kuisioner valid dan reliabel kemudian kuisioner disebarkan kepada 200 orang responden. Hasil pengolahan data adalah sebagai berikut :

### A. Karakteristik Responden.

Karakteristik karyawan PT. Global Sport dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. Karakteristik Responden

Karakteristik	Jumlah	Persentase
<b>JenisKelamin</b>		
Pria	60	22.56%
Wanita	140	74.81%
Total	200	100.00%
<b>Usia</b>		
< 20 tahun	23	19.92%
20 tahun - 30 tahun	120	56.39%
31 tahun - 40 tahun	40	15.41%
41 tahun - 55 tahun	17	6.39%
Total	200	100.00%
<b>Pendidikan</b>		
SMA	76	39.10%
D1/D2/D3	17	6.39%
S1	100	46.62%
S2/S3	7	2.63%
Total	200	100.00%

Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa karyawan PT. Global Sport didominasi oleh karyawan berjenis kelamin perempuan (74,81%), usia karyawan terbanyak antara 20 th – 30 th (56,39%) dan tingkat pendidikan karyawan didominasi lulus SMA (39,10%) dan Strata satu (46,62%)

B. Model Awal

Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan program AMOS 18 diperoleh model awal dari faktor faktor yang mempengaruhi retensi karyawan



Gambar 2. Model awal

Penilaian Goodness of Fit

Hasil *output* dari program Amos 18, dibandingkan dengan kriteria yang ada. Perbandingan ini dimaksudkan untuk melihat apakah model tersebut sudah baik atau belum. Berikut adalah tabel perbandingannya.

Tabel 2. Perbandingan Goodness of Fit untuk model awal

	Kriteria	Hasil
<b>X2, Chi-Square</b>	Sekecil Mungkin	1318,362
<b>Signiticanced</b>	≥ 0,05	0
<b>CMIN/DF</b>	≤ 2,00	2,010
<b>GFI</b>	≥ 0,90	0,756
<b>AGFI</b>	≥ 0,90	0,725
<b>TLI</b>	≥ 0,95	0,816
<b>CFI</b>	≥ 0,95	0.828
<b>RMSEA</b>	≤ 0,08	0,071

Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa hasil pengolahan data tidak memenuhi kriteria, oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi model.

Pada sebuah model SEM yang telah dibuat dan diuji dapat dilakukan modifikasi. Tujuan modifikasi untuk melihat apakah modifikasi yang dilakukan dapat menurunkan nilai Chi-Square. Semakin kecil nilai Chi-Square berarti semakin Fit model tersebut berdasarkan data yang ada. Dalam memodifikasi perlu diperhatikan nilai *loading factor*. Nilai *loading factor* tidak boleh kurang dari 0,4. Bila dibawah 0,4 berarti variabel manifes tidak dapat mewakili atau menjelaskan variabel laten (Ferdinand,2000)

Dari hasil modifikasi, variabel manifes (indikator) dari variabel Kompensasi yang dieliminasi karena mempunyai *Factor Loading* kurang dari 0,4 adalah K1, K2, K4, K6 dan K8 dan yang dipakai adalah K3, K5, K7 dan K9 karena memiliki *factor Loading* lebih besar dari 0,4.

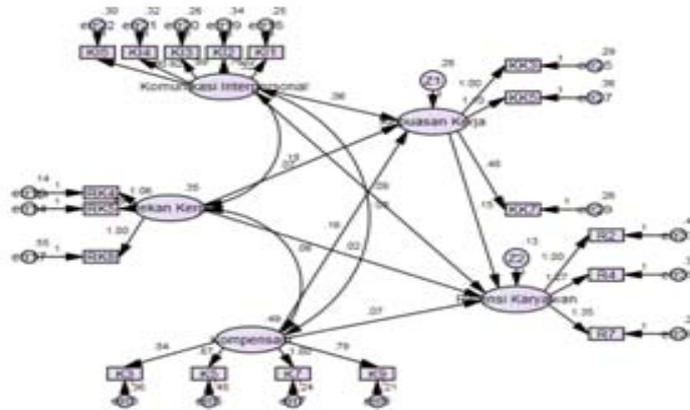
Variabel manifes (Indikator) dari variabel Rekan Kerja yang dieliminasi adalah RK1, RK2, RK3, RK6 dan RK7 dan yang tetap dipakai RK4, RK5, RK8

Variabel manifes (Indikator) dari variabel Komunikasi Interpersonal yang dieliminasi tidak ada, semua variabel manifes (Indikator) dari variabel Komunikasi Interpersonal dipakai yaitu KI1, KI2, KI3, KI4, KI5

Variabel manifes (Indikator) dari variabel Kepuasan Kerja yang dieliminasi adalah KK1, KK2, KK4, KK6, KK9 sedangkan yang tetap dipakai adalah KK3, KK5, KK7

Variabel manifes (indikator) variabel Retensi karyawan yang dieliminasi adalah R1, R3, R5, R6 sedangkan yang dipakai R2, R4, R7

Setelah dilakukan modifikasi diperoleh *Full Model* sebagai berikut :



Tabel 3. Perbandingan *Goodness of Fit* untuk model akhir setelah modifikasi

	Kriteria	Hasil
<b>X2, Chi- Square</b>	Sekecil Mungkin	142,345
<b>Signitanced</b>	$\geq 0,05$	0,137
<b>CMIN/DF</b>	$\leq 2,00$	1,139
<b>GFI</b>	$\geq 0,90$	0,932
<b>AGFI</b>	$\geq 0,90$	0,907
<b>TLI</b>	$\geq 0,95$	0,978
<b>CFI</b>	$\geq 0,95$	0,982
<b>RMSEA</b>	$\leq 0,08$	0,026

Berdasarkan tabel 3 hasil uji *Full model* dapat dilihat tiap kriteria yang dibandingkan dengan hasil pengolahan data dengan *Software AMOS 18*, dapat dikatakan bahwa model untuk keseluruhan variabel dapat diterima.

Untuk mengetahui pengaruh variabel independent (Kompensasi, Rekan Kerja, Komunikasi Interpersonal dan Kepuasan Kerja) terhadap variabel dependent dapat dilakukan dengan melihat nilai *critical ratio* dan nilai P (probabilitas) dalam tabel *regression of weight*

Pengambilan keputusan dalam SEM dengan melihat tabel *regression of weight*. Santoso (2014) beranggapan bahwa pengaruh variabel *independent* terhadap variabel *dependent* signifikan, ditandai dengan nilai *critical ratio* lebih besar dari 1,96 dan nilai P lebih kecil dari 0,05. Jika nilai *critical ratio* lebih kecil dari 1,96 dan nilai P lebih besar dari 0,05 maka dapat dikatakan bahwa variabel *Independent* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap variabel *dependent*. Berikut adalah tabel *regression of weight* untuk model akhir :

Tabel 4. *Regression of weight*

	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Kepuasan kerja ← Rekan kerja	.182	.091	2.003	.045	par_12
Kepuasan kerja ← kompensasi	.156	.074	2.104	.035	par_13
Kepuasan kerja ← Komunikasi interpersonal	.058	.093	.618	.537	par_15
Retensi karyawan ← Kepuasan kerja	.148	.083	1.788	.074	par_14
Retensi karyawan ← Komunikasi interpersonal	.086	.068	1.263	.206	par_16
Retensi karyawan ← Rekan kerja	.015	.065	.233	.816	par_17
Retensi karyawan ← kompensasi	.075	.061	1.228	.219	par_18

Berdasarkan tabel *Regression of weight* dapat dianalisa sebagai berikut :

Rekan kerja mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kepuasan kerja. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *critical ratio* 2,003 (lebih besar dari 1,96) dan nilai P 0,045 (lebih kecil dari 0,05). Menurut Luthant (1998), rekan kerja yang bersahabat, kerjasama rekan sekerja atau kelompok kerja adalah sumber kepuasan kerja bagi pekerja secara individual dan membuat pekerjaan lebih menyenangkan.

Kompensasi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kepuasan kerja. Pengaruh yang signifikan tersebut ditunjukkan oleh nilai *critical ratio* 2,104 (lebih besar dari 1,96) dan nilai P 0,035 (lebih kecil dari 0,05). Semakin baik kompensasi, semakin besar pula kepuasan kerja karyawan. Besarnya kompensasi akan mencerminkan status, pengakuan dan prestasi kerja serta pemenuhan kebutuhan yang dinikmati. Hal ini sesuai dengan pendapat FX. Tugino (1998) yang mengatakan bahwa kompensasi berpengaruh secara positif terhadap kepuasan kerja karyawan.

Komunikasi Interpersonal tidak berpengaruh terhadap kepuasan kerja karyawan. Hasil ini didukung oleh nilai *critical ratio* 0,618 ( lebih kecil dari 1,96) dan nilai P 0,537 (lebih besar dari 0,05). Menurut Paningkat Siburian (2009) , komunikasi interpersonal berpengaruh positif terhadap kepuasan kerja. Perbedaan ini terjadi karena komunikasi antar pribadi pada PT KMK Global Sport dibatasi oleh tata aturan perusahaan yang berlaku. Hal ini membuat minimnya komunikasi antar pekerja pada jam kerja. Mereka menjadi terbiasa dengan keadaan tersebut, sehingga komunikasi interpersonal tidak berpengaruh terhadap kepuasan para pekerja dalam bekerja.

Kepuasan kerja tidak berpengaruh terhadap retensi karyawan, karena nilai *critical ratio* 1,788 (lebih kecil dari 1,96) dan nilai P 0,074 (lebih besar dari 0,05). Menurut Rodina (2013), kepuasan kerja berpengaruh secara signifikan terhadap *turnover itention*. Walaupun kepuasan kerja lewat gaji, rekan kerja, pengawasan, kesempatan promosi terpenuhi, tapi hal tersebut tidak dapat dijadikan jaminan pekerja mau bertahan di perusahaan. Faktor yang menyebabkan karyawan keluar dari perusahaan, biasanya faktor internal dalam diri pekerja tersebut yang tidak dapat dihindari. Sebagai contoh : pekerja wanita yang memutuskan untuk tinggal di rumah karena faktor keluarga, istri/suami dari pekerja dipindahkan ke kota lain.

Komunikasi Interpersonal tidak berpengaruh terhadap Retensi karya. Karena nilai *critical ratio* 1,263 (lebih kecil dari 1,96) dan nilai P 0,206 (lebih besar dari 0,05). Menurut Jaeveline (2005), komunikasi interpersonal yang tidak berpengaruh terhadap retensi karyawan disebabkan karena adanya *noise* dalam berkomunikasi selama bekerja, yang menyebabkan minimnya komunikasi pada jam kerja

Rekan kerja tidak berpengaruh terhadap retensi karyawan, karena nilai *critical ratio* 0,233 (lebih kecil dari 1,96) dan nilai P 0,816 (lebih besar dari 0,05). Menurut Rodina (2013), rekan kerja tidak berpengaruh terhadap keinginan karyawan untuk berpindah atau tidak. Rekan kerja yang baik adalah sumber kepuasan kerja bagi individu yang bekerja di tempat tersebut. Walaupun berpengaruh

tidak berpengaruh terhadap keinginan karyawan untuk berpindah atau tidak. Rekan kerja yang baik adalah sumber kepuasan kerja bagi individu yang bekerja di tempat tersebut. Walaupun berpengaruh terhadap kepuasan kerja, rekan kerja bukan satu satunya jaminan seseorang untuk bertahan di sebuah perusahaan. Menurut Robbins(2001), pekerjaan yang menarik bagi individu akan memberikan kesempatan pada individu untuk menggunakan ketrampilan mereka. Disamping itu *passion* karyawan menyebabkan dia akan tetap bertahan di perusahaan. *Passion* membuat seseorang tidak hanya bekerja tetapi juga berkarya. Sehingga faktor ini memberikan pengaruh yang besar untuk mengurangi niat karyawan keluar dari perusahaan.

Kompensasi tidak berpengaruh terhadap retensi karyawan, hal ini ditunjukkan oleh nilai *critical ratio* 1,228 (lebih kecil dari 1,96) dan *P* 0,219 (lebih besar dari 0,05). Menurut Ajzen (1991), Kompensasi bukan satu satunya alasan karyawan untuk bertahan di suatu perusahaan. Namun karyawan juga perlu diberi kesempatan untuk mengembangkan karier.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan

1. Kompensasi berpengaruh terhadap kepuasan kerja karyawan.
2. Rekan kerja berpengaruh terhadap kepuasan kerja karyawan
3. Komunikasi Interpersonal tidak berpengaruh terhadap kepuasan kerja karyawan
4. Kompensasi tidak berpengaruh terhadap retensi karyawan
5. Rekan kerja tidak berpengaruh terhadap retensi karyawan
6. Komunikasi interpersonal tidak berpengaruh terhadap retensi karyawan
7. Kepuasan kerja tidak berpengaruh terhadap retensi karyawan

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik Unika Atmajaya Jakarta, yang telah memberi kesempatan untuk melakukan penelitian dan mengikuti Seminar nasional Aplikasi SAINS dan Teknologi (SNAST) 2014 di Jogjakarta

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajzen, Icek, 1991. The Theory of Planned Behavior, Organizational Behavior and Human Decision Processes, Vol.50. Amherst, University of Massachusetts.
- DeVit, J.A, 1997. Komunikasi Antar manusia. Edisi 5. Jakarta : Profesional Book.
- Goran, R, 2012. Analisis Pengaruh Reward, Supervisi, Kondisi Kerja, Rekan Kerja, dan Dampaknya Terhadap Komitmen Organisasi Pegawai dinas Pendapatan, Pengelola Keuangan dan Kekayaan Daerah Kabupaten Tapanuli Tengah. Magister, Thesis. Universitas Terbuka
- Harjana, A.M, 2003. Komunikasi intrapersonal dan Interpersonal, Kanisius : Jogjakarta
- Jones, K & Newstrom, J.W, 1994. Perilaku dalam Organisasi, Edisi 7. Jakarta : Erlangga
- Luthans, F, 1998. Organizational Behavior. Edisi 8. New York : MCGraw-Hill
- Marthis, R.L., & Jackson, J.H., 2006 Manajemen Sumber daya Manusia, Jakarta : Salemba Empat
- Rivai, V., 2008. Manajemen Sumber Daya Manusia Untuk Perusahaan : Dari teori ke praktik. Edisi 1. Jakarta : Murai kencana
- Robbins, S.P., 2001. Organizational Behaviour. Edisi 9. New Jersey : Prentice Hall.
- Rodina, C.J., 2013. Pengaruh Kepuasan Kerja Terhadap Keinginan untuk Berpindah Karyawan PT. XL Axiata Tbk. Unpublished Thesis. Universitas Atmajaya Jakarta.
- Sofiah, S., 2010. Pengaruh Pemberian Kompensasi Terhadap Motivasi Kerja Karyawan Pada PT. Citosarana Jasapratama. Unpublished Thesis Universitas Atmajaya Jakarta.
- Tugino, F.X., 1998. Pengaruh Kompensasi Terhadap Kepuasan Kerja Karyawan Pada PT. Ikrar Mandiri Abadi Jakarta. Magister Thesis. Universitas Atmajaya Jakarta
- Yuna, 2006. Analisis Faktor Determinan Retensi Karyawan Pada Taman Mini Indonesia Indah. Unpublished Thesis. Universitas Atmajaya. Jakarta.

## ANALISIS PENGENDALIAN DAN PERBAIKAN KUALITAS DENGAN PENDEKATAN SIX SIGMA DAN KAIZEN

Joko Susetyo, Hartanto

Program Studi Teknik Industri Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

e-mail : [joko\\_sty@akprind.ac.id](mailto:joko_sty@akprind.ac.id) : [Hartanto\\_08@yahoo.com](mailto:Hartanto_08@yahoo.com)

### ABSTRACT

*Mondrian is a company which engaged in the production of T-shirt convection. In order to maximize the enterprises competitiveness, the product must meet with predetermined specifications and customer requirements as well as the need for continuous improvement.*

*This study was conducted to determine the ability of the process based on the existing product defect with six sigma approach, then control was done by analyzing the causes of disability using Seven Tools and seeking continuous improvement with implementation tools such as Kaizen kaizen Five-Step Plan, 5W and 1H, and Five-M Checklist. There are 13 CTQ (Critical To Quality) in Mondrian. After data processing obtained DPMO value of 4509.384, can be interpreted that from a million chances there will be 4509.384 defected product possibilities. The company is in the 4.11-sigma level with CTQ (Critical to Quality) that cause most defected product is deck for 20.76% of the total defect 22517.*

*After doing the analysis can be concluded that the main cause of disability is the human factor, and based on kaizen implementation tools, the main policies that should be carried out by the company is monitoring or tighter controls in all sectors.*

**Keywords:** *Quality, CTQ, DPMO, Sigma Value, kaizen*

### PENDAHULUAN

Kualitas merupakan faktor dasar keputusan konsumen dalam menentukan produk yang akan dibeli atau dipakainya baik berupa barang ataupun jasa pelayanan. Dalam persaingan di pasar dan karena sering berubahnya permintaan dari pelanggan maka hanya produk yang berkualitas baik yang akan selalu terjual, sehingga perlu adanya pengendalian kualitas yang dapat dilakukan dengan menggunakan tujuh alat pengendalian kualitas (*seventools*) serta perlu dilakukan perbaikan secara berkesinambungan dengan menggunakan alat-alat implementasi *Kaizen* yang meliputi *Kaizen Five-Step Plan*, 5W dan 1H, dan *Five-M Checklis*, sehingga produk cacat yang dihasilkan perusahaan dapat berkurang nantinya atau dengan kata lain produk yang dihasilkan dapat sesuai dengan keinginan pelanggan.

Berdasarkan karakteristik kualitas atau *Critical To Quality* (CTQ) yang telah ditetapkan, produk cacat yang ada di Mondrian rata-rata 5,72% per minggu. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui kemampuan proses sebuah perusahaan dengan menggunakan metode DPMO (*Defect Per Million Opportunities*) yang dikonversikan ke dalam nilai *sigma* yang nantinya bisa dilakukan pengendalian kualitasnya dengan menganalisis penyebab kecacatan produk menggunakan *Seven Tools* serta mengupayakan perbaikan secara berkesinambungan dengan alat-alat implementasi *Kaizen*.

Pengendalian kualitas merupakan salah satu kegiatan yang sangat erat kaitannya dengan proses produksi, dimana pada pengendalian kualitas ini dilakukan pemeriksaan serta pengujian karakteristik kualitas yang dimiliki produk yang berguna untuk penilaian atas kemampuan proses produksinya yang dikaitkan dengan standar spesifikasi produk, kemudian dengan mengadakan analisis lebih lanjut atas hasil pengujian serta pemeriksaan yang dilakukan didapatkan sebab-sebab terjadinya penyimpangan untuk kemudian diambil langkah-langkah pencegahan dan perbaikan.

*Six Sigma* adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 DPMO untuk setiap transaksi produk (barang dan atau jasa) atau merupakan upaya giat menuju kesempurnaan (*zero defect* atau kegagalan nol). Apabila suatu produk (baik berupa barang dan atau jasa) diproses pada tingkat kualitas *Six Sigma*, maka perusahaan boleh berharap 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO) atau berharap bahwa 99,99966% dari apa yang diharapkan pelanggan ada dalam produk itu. Motorola selama kurang lebih 10 tahun (sejak tahun 1986) setelah melakukan implementasi konsep *Six Sigma* telah mampu mencapai tingkat kualitas 3,4 DPMO. (Imai, M, 2001).

### METODE PENELITIAN

Didalam penerapan *six sigma* ada lima langkah yang disebut DMAIC (*Define, Measure, Analisis, Improve, Control*). (Gaspersz, V, 2002).

1. *Define* (Definisi), merupakan langkah operasional pertama dalam program peningkatan kualitas *six sigma*. Sebelum mendefinisikan proses kunci beserta pelanggan dalam proyek *six sigma*, disini kita perlu mengetahui model proses SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Costumer*). SIPOC merupakan alat yang berguna dan paling banyak dipergunakan dalam manajemen dan peningkatan proses. SIPOC merupakan kepanjangan dari lima elemen utama dalam sistem kualitas, yaitu :
  - a. *Supplier*, yaitu orang atau kelompok orang yang memberikan informasi kunci, material dan sumber daya lain kepada proses.
  - b. *Inut*, adalah segala sesuatu yang diberikan oleh pemasok (*Supplier*) kepada proses.
  - c. *Processes*, merupakan sekumpulan langkah yang mentransformasi dan secara ideal menambah nilai pada input.
  - d. *Output*, merupakan produk (barang atau jasa) dari suatu proses. Dalam industri manufaktur, output dapat berupa barang setengah jadi maupun barang jadi (*final product*).
  - e. *Customer*, merupakan orang atau sekelompok orang yang dianggap sebagai pelanggan internal (*Internal Customer*)
2. *Measure* (Pengukuran), merupakan langkah operasional kedua dalam program peningkatan kualitas *six sigma*.
  - a. Pada tahap ini ditetapkan karakteristik kualitas (*Critical to Quality*) kunci yang berhubungan langsung dengan kebutuhan spesifik dari pelanggan, yang diturunkan secara langsung dari persyaratan-persyaratan output dan pelayanan
  - b. Menghitung nilai kapabilitas *sigma*. Tahap-tahap perhitungan nilai *sigma* sebagai berikut :
    - 1) Menentukan jumlah unit yang akan diukur.
    - 2) Identifikasi *Opportunity*.
    - 3) Menghitung jumlah cacat (*Defect*).
    - 4) Menghitung DPMO :
 
$$= \frac{\text{Banyak \_ produk \_ yang \_ cacat}}{\text{Banyak \_ produk \_ yang \_ diperiksa} \times \text{CTQ \_ potensial}} \times 1.000.000$$
    - 5) Mengitung nilai kapabilitas *sigma*.
  - c. Mengetahui urutan CTQ potensial
3. *Analyze* (Analisa), merupakan langkah ketiga dalam program peningkatan kualitas *six sigma*, pada tahap ini dilakukan beberapa hal:
  - a. Mengidentifikasi proses dengan grafik pengendali.  
Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data atribut, dan grafik pengendali proses yang digunakan adalah grafik p, karena merupakan data ketidaksesuaian, maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut : (Ariani, D, W, 2005)
    - 1) Batas Pengendali Atas (BPA) =  $\bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n_i}}$
    - 2) Garis tengah  $\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n_i}$
    - 3) Batas Pengendali Bawah (BPB) =  $\bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n_i}}$
 Keterangan :  
 $\bar{P}$  = Prosentase terjadinya rata-rata kecacatan yang dinyatakan dengan angka desimal  
 Di = Banyaknya *Defect* (cacat)  
 n<sub>i</sub> = Jumlah sub sampel
  - b. Menentukan target-target kinerja dari karakteristik kualitas kunci (CTQ) yang akan ditingkatkan dalam proyek *six sigma*.
  - c. Mengidentifikasi sumber-sumber akar penyebab kecacatan atau kegagalan.
4. *Improve* (Perbaikan), setelah akar penyebab dari masalah kualitas teridentifikasi, maka perlu dilakukan penetapan rencana tindakan untuk melaksanakan peningkatan kualitas. Langkah-langkah untuk melaksanakan peningkatan kualitas dengan menggunakan alat implementasi *Kaizen* yang meliputi *Five-M Checklist*, Lima W dan Satu H, dan *Kaizen Five-Step Plan*.
5. *Control* (Pengendalian), merupakan tahap operasional terakhir dalam proyek peningkatan kualitas *six sigma*. Pada tahap ini hasil-hasil peningkatan kualitas didokumentasikan dan disebarluaskan, praktek-praktek terbaik

yang sukses dalam meningkatkan proses distandarisasikan dan dijadikan pedoman kerja, yang berarti *six sigma* berakhir pada tahap ini.

*Kaizen* merupakan istilah dalam bahasa Jepang terhadap konsep *Continuous Incremental Improvement*. *Kai* berarti perubahan dan *Zen* berarti baik. *Kaizen* berarti penyempurnaan yang berkesinambungan yang melibatkan setiap orang. Pelaksanaan implementasi *Kaizen* dilakukan dengan menggunakan empat alat yang terdiri dari : (Tjiptono. F & Diana. A, 2000)

1. *Kaizen Checklist*

*Kaizen* merupakan perbaikan berkesinambungan atas orang, proses, prosedur dan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kualitas. Salah satu cara untuk mengidentifikasi masalah yang dapat menggambarkan peluang bagi perbaikan adalah dengan menggunakan suatu daftar pemeriksaan (*Checklist*) terhadap faktor-faktor yang besar kemungkinannya membutuhkan perbaikan.

2. *Kaizen five step plan*

Rencana lima langkah ini merupakan pendekatan dalam implementasi *Kaizen* yang digunakan perusahaan-perusahaan Jepang. Langkah ini sering disebut gerakan 5-S yang merupakan inisial kata Jepang yang dimulai dengan huruf S yaitu : *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*.

a. Lima W dan satu H

Lima W dan satu H digunakan secara luas sebagai alat manajemen dalam berbagai lingkungan. Lima W dan satu H yaitu *Who* (siapa), *What* (apa), *Where* (dimana), *When* (kapan), *Why* (mengapa), dan *How* (bagaimana).

b. Five M Checklist

Alat ini berfokus pada lima faktor kunci yang terlibat dalam setiap proses, yaitu *Man* (operator atau orang), *Machine* (mesin), *Material* (material), *Methods* (metode) dan *Measurement* (pengukuran). Dalam setiap proses, perbaikan dapat dilakukan dengan jalan memeriksa aspek-aspek proses tersebut. (Pande, P. S, 2003)

## PEMBAHASAN

a. Tahap *Define*

1. Pernyataan masalah

Masalah yang sedang dihadapi yaitu adanya hasil produksi yang mengalami kecacatan sehingga tidak dapat memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan.

2. Tujuan

Peningkatan kualitas produk dan peningkatan kapabilitas proses dengan meminimasi jumlah produk yang cacat sehingga kerugian akibat produk yang cacat dapat diatasi oleh pihak perusahaan.

3. Diagram alir proses

Diagram ini dibuat supaya suatu proses produksi mudah dipahami, dan juga merupakan urutan proses produksi yang terjadi.

4. Diagram SIRPORC

Diagram ini dibuat untuk mengetahui kebutuhan proses, persyaratan kunci, serta pelanggan yang terlibat dalam setiap proses. Elemen utamanya yaitu *Suppliers, Input Requirements, Proses, Output Requirements, Costemer*

b. Tahap *Measure*

1. Menentukan *Critical To Quality* (CTQ)

Karakteristik kualitas atau *Critical To Quality* (CTQ) yang ada di MONDRIAN yaitu sebagai berikut :  
Krah, label, deck, obars, jahitan lengan, jahitan manset, jahitan bahu, jahitan komb badan, belah samping, placket, pocket, zipper, lain-lain.

2. Pengukuran *basiline* kinerja

**Tabel 1** Tingkat Kapabilitas *Sigma* dan DPMO dari Proses Pembuatan Kaos DADUNG

No	Banyak produk yang diperiksa (ni)	Banyak produk yang cacat (Di)	Banyak CTQ potensial penyebab kecacatan	DPMO	Sigma
1.	4262	242	13	4367,758	4,12
2.	3997	226	13	4349,416	4,12
3.	3230	219	13	5215,528	4,06
4.	4915	329	13	5149,073	4,07
5.	7735	420	13	4176,819	4,14
6.	6972	402	13	4435,324	4,12
7.	6535	429	13	5049,732	4,07
8.	5575	315	13	4346,326	4,12
9.	3824	249	13	5008,851	4,07
10.	4136	278	13	5170,362	4,06
11.	2968	190	13	4924,321	4,08
12.	3862	264	13	5258,336	4,06
13.	6015	398	13	5089,84	4,07
14.	7534	432	13	4410,774	4,12
15.	5244	322	13	4723,347	4,09
16.	6645	428	13	4954,564	4,08
17.	4070	274	13	5178,605	4,06
18.	5475	348	13	4889,357	4,08
19.	8755	504	13	4428,239	4,12
20.	11601	683	13	4528,787	4,11
21.	8030	434	13	4157,486	4,14
22.	8540	483	13	4350,567	4,12
23.	7100	440	13	4767,064	4,09
24.	6425	406	13	4860,82	4,09
25.	6440	401	13	4789,775	4,09
26.	4870	314	13	4959,722	4,08
27.	15700	905	13	4434,101	4,12
28.	17100	991	13	4457,94	4,12
29.	12900	690	13	4114,49	4,14
30.	11300	600	13	4084,411	4,15
31.	10600	599	13	4346,88	4,12
32.	14750	837	13	4365,059	4,12
33.	19200	1049	13	4202,724	4,13
34.	11400	640	13	4318,489	4,12
35.	23050	1329	13	4435,174	4,12
36.	24900	1522	13	4701,884	4,09
37.	3000	176	13	4512,821	4,11
38.	3800	231	13	4676,113	4,1
39.	7400	405	13	4209,979	4,13
40.	10000	588	13	4523,077	4,11
41.	6750	370	13	4216,524	4,13
42.	7500	442	13	4533,333	4,11
43.	8750	517	13	4545,055	4,11
44.	8750	523	13	4597,802	4,11
45.	5000	286	13	4400	4,12
46.	7500	387	13	3969,231	4,16
<b>Jumlah</b>	<b>384105</b>	<b>22517</b>	<b>13</b>	<b>4509,384</b>	<b>4,11</b>

Perhitungan DPMO Proses:

$$DPMO = \frac{\text{Banyak\_produk\_yang\_cacat}}{\text{Banyak\_produk\_yang\_diperiksa} \times CTQ\_petensial} \times 1.000.000$$

Misal untuk proses secara keseluruhan:

$$DPMO = \frac{22517}{384105 \times 13} \times 1.000.000 = 4509.384$$

Hasil konversi 4509.384 DPMO = 4,11 sigma

Artinya, bahwa diartikan bahwa dari sejuta kesempatan yang ada akan terdapat 4509.384 kemungkinan bahwa proses produksi itu akan menghasilkan produk yang cacat.

### 3. Mengetahui urutan CTQ potensial

**Tabel 2.** Urutan CTQ Potensial

No.	Jenis Cacat	Jumlah Cacat	Jumlah Cacat Kumulatif	Persentase dari Total (%)	Persentase Kumulatif (%)
1.	Deck	4674	4674	20,76	20,76
2.	Kragh	2528	7202	11,23	31,99
3.	Label	2028	9230	9,01	41,00
4.	Jahitan Lengan	2006	11236	8,91	49,91
5.	Obras	1738	12974	7,72	57,63
6.	Jahitan Bahu	1520	14494	6,75	64,38
7.	Zipper	1291	15785	5,73	70,11
8.	Belah Samping	1251	17036	5,56	75,67
9.	Pocket	1234	18270	5,48	81,15
10.	Jahitan Komb Badan	1219	19489	5,41	86,56
11.	Placket	1141	20630	5,07	91,63
12.	Jahitan Manset	990	21620	4,39	96,02
13.	lain-lain	897	22517	3,98	100
Total		22517	-	100	-

**c.** Tahap Analyze

**Table 3.** Penentuan Batas Kendali Atas dan Batas Kendali Bawah

No	Banyak produk yang diperiksa (ni)	Banyak produk yang cacat (Di)	Bagan Tak Sesuai sample (P)	BPA	BPB
1	4262	242	0.0568	0.0694	0.0478
2	3997	226	0.0565	0.0697	0.0475
3	3230	219	0.0678	0.071	0.0462
4	4915	329	0.0669	0.0687	0.0485
5	7735	420	0.0543	0.0666	0.0506
6	6972	402	0.0577	0.067	0.0502
7	6535	429	0.0656	0.0673	0.0499
8	5575	315	0.0565	0.068	0.0492
9	3824	249	0.0651	0.07	0.0472
10	4136	278	0.0672	0.0696	0.0476
11	2968	190	0.064	0.0715	0.0457
12	3862	264	0.0684	0.0699	0.0473
13	6015	398	0.0662	0.0677	0.0495
14	7534	432	0.0573	0.0667	0.0505
15	5244	322	0.0614	0.0683	0.0489
16	6645	428	0.0644	0.0672	0.05
17	4070	274	0.0673	0.0696	0.0476
18	5475	348	0.0636	0.0681	0.0491
19	8755	504	0.0576	0.0661	0.0511
20	11601	683	0.0589	0.0651	0.0521
21	8030	434	0.054	0.0665	0.0507
22	8540	483	0.0566	0.0662	0.051
23	7100	440	0.062	0.067	0.0502
24	6425	406	0.0632	0.0674	0.0498
25	6440	401	0.0623	0.0674	0.0498
26	4870	314	0.0645	0.0687	0.0485
27	15700	905	0.0576	0.0642	0.053
28	17100	991	0.058	0.064	0.0532
29	12900	690	0.0535	0.0648	0.0524
30	11300	600	0.0531	0.0652	0.052
31	10600	599	0.0565	0.0654	0.0518
32	14750	837	0.0567	0.0644	0.0528
33	19200	1049	0.0546	0.0637	0.0535
34	11400	640	0.0561	0.0652	0.052
35	23050	1329	0.0577	0.0632	0.054
36	24900	1522	0.0611	0.0631	0.0541
37	3000	176	0.0587	0.0715	0.0457
38	3800	231	0.0608	0.07	0.0472
39	7400	405	0.0547	0.0668	0.0504
40	10000	588	0.0588	0.0656	0.0516
41	6750	370	0.0548	0.0672	0.05
42	7500	442	0.0589	0.0667	0.0505
43	8750	517	0.0591	0.0661	0.0511
44	8750	523	0.0598	0.0661	0.0511
45	5000	286	0.0572	0.0686	0.0486
46	7500	387	0.0516	0.0667	0.0505
Jumlah	384105	22517	0.0586		

1. Penetapan target CTQ kunci

Baseline kinerja awal perusahaan 4509.384 DPMO atau 4,11-sigma.

Perhitungan target CTQ yaitu:

Karena sudah mencapai 4,11-sigma, maka peningkatan akan terjadi dari 4,11-sigma menjadi 4,7-sigma.

a. Triwulan I =  $4,11 + 0,18 = 4,29$

b. Triwulan II =  $4,29 + 0,18 = 4,47$

c. Triwulan III =  $4,47 + 0,18 = 4,65$

d. Triwulan IV =  $4,65 + 0,18 = 4,83$

Tabel 4. Target kinerja CTQ produk DADUNG

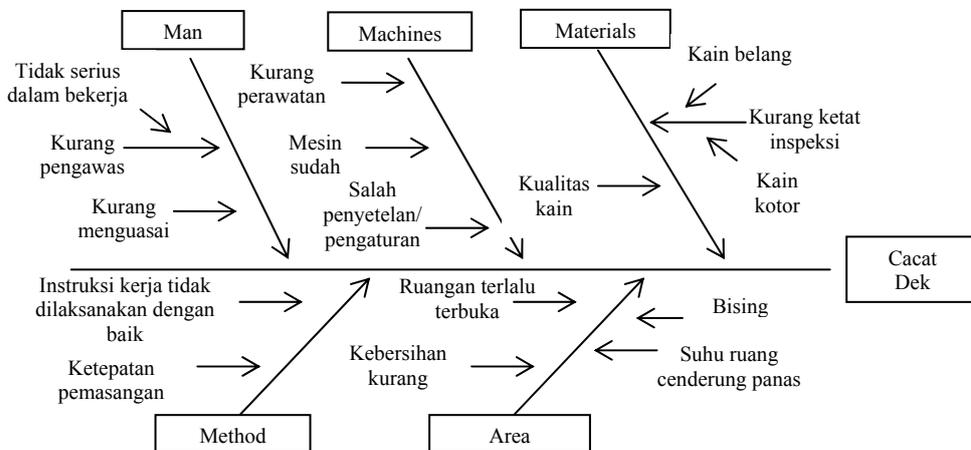
Periode Triwulan	Target Kinerja CTQ Kunci		Periode Triwulan	Target Kinerja CTQ Kunci	
	Sigma	DPMO		Sigma	DPMO
0*)	4,11	4509.384	16.	5,42	41
1.	4,29	789	17.	5,46	34
2.	4,47	598	18.	5,50	29
3.	4,65	450	19.	5,54	25
4.	4,83	337	20.	5,58	21
5.	4,91	251	21.	5,62	17
6.	4,99	185	22.	5,66	15
7.	5,07	165	23.	5,70	12
8.	5,10	147	24.	5,74	10
9.	5,14	126	25.	5,78	9
10.	5,18	108	26.	5,82	7
11.	5,22	92	27.	5,86	6
12.	5,26	78	28.	5,90	5
13.	5,30	67	29.	5,94	4
14.	5,34	57	30.	6	3
15.	5,38	48			

2. Diagram sebab akibat (Fishbone Diagram)

Setelah cacat deck berhasil diidentifikasi sebagai ketidaksesuaian yang paling tinggi frekuensinya, maka analisis selanjutnya mengungkapkan sebab-sebab terjadinya cacat deck.

Kemudian data yang diperoleh digunakan untuk menggambarkan diagram sebab akibat yang menunjukkan bahwa penyebab terjadinya kerusakan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Dengan mengetahui penyebab kecacatan hendaknya perusahaan dapat mengambil langkah-langkah penanggulangannya agar produk yang dihasilkan mempunyai kualitas yang baik dan supaya kecacatan yang terjadi bisa ditekan menjadi lebih rendah.

Kategori munculnya sebab dari munculnya produk cacat adalah faktor manusia (man), faktor alat (machines), faktor lingkungan (area), faktor cara (methods), faktor bahan baku (materials).



Gambar 1. Diagram Sebab Akibat (Fishbone Diagram)

d. Tahap Perbaikan (Improve)

1. Analisis masalah dengan *Five-M Checklist*

**Tabel 5.** Analisis masalah berdasarkan 5M dan pemecahannya

Faktor	Masalah	Pemecahan masalah
Manusia	a. Rasa tanggung jawab yang kurang terhadap pekerjaan, serta tidak mempunyai sikap memiliki perusahaan. b. Ketidak sesuaian dalam bekerja yang dilakukan oleh pekerja dapat membuat produk tidak sesuai dengan apa yang diinginkan.	a. Perlu diadakannya pengawasan yang lebih ketat lagi. b. Memberikan nasehat-nasehat kepada karyawan agar mempunyai sikap memiliki dan menjaga perusahaan, serta bertanggung jawab pada setiap pekerjaan.
Material	a. Kain yang masuk pada proses <i>sewing</i> rusak atau berlubang serta belang atau kotor b. Kualitas kain yang kurang bagus sering lolos ke proses <i>sewing</i> .	Perlu dilakukan kontrol yang lebih ketat lagi agar kain yang masuk pada proses <i>sewing</i> dalam keadaan baik.
Lingkungan kerja	a. Kondisi ruangan yang cenderung panas. b. Kondisi tempat kerja yang kotor dan bising yang berakibat terganggunya konsentrasi bekerja. c. Terlalu banyak jendela dan pintu yang terbuka lebar.	a. Perlu mengadakan penghijauan. b. Perlu mengadakan evaluasi tentang kenyamanan pada saat bekerja. c. Memberikan penutup jendela supaya tidak tembus pandang
Mesin	a. Salah penyetelan atau pengaturan b. Kondisi mesin yang sudah tua, sehingga mesin sering macet. c. Kurangnya kesadaran operator untuk merawat mesin.	a. Perlu memberikan arahan-arahan pada saat <i>briffing</i> . b. Perlu kontrol dan perawatan mesin yang lebih ketat lagi
Metode	Instruksi kerja tidak dilaksanakan dengan baik sehingga sering terjadi kesalahan metode pemasangan komponen.	Diberikan arahan-arahan dalam menjalankan pekerjaan agar ketelitian dalam bekerja dapat ditingkatkan

2. Menentukan rencana perbaikan dengan lima W dan satu H

**Tabel 6.** Pengembangan rencana tindakan dengan metode 5W dan 1H

Faktor	5W dan 1H	Diskripsi	Tindakan
Faktor manusia: 1. tidak serius dalam bekerja 2. sikap yang kurang baik 3. rasa tanggung jawab kurang 4. kurang teliti	<i>What</i> (Apa) ?	Apa tujuan dari penanggulangan?	Untuk menjaga dan menghasilkan produk yang baik serta menekan tingkat kecacatan produk sesuai dengan yang diharapkan pihak perusahaan dan konsumen.
	<i>Why</i> (Mengapa)?	Mengapa perbaikan dan pengulangan ini perlu dilakukan?	Karena faktor manusia merupakan faktor terpenting dalam proses produksi.
	<i>Where</i> (Dimana)?	Dimana rencana tindakan itu akan dilakukan?	Penanggulangan ini akan dilakukan di departmen <i>sewing</i>
	<i>When</i> (Kapan)?	Kapan penanggulangan dan perbaikan akan dilakukan?	Secepatnya, diharapkan para pekerja khususnya akan semakin terampil dan lebih teliti dalam melaksanakan tugasnya
	<i>Who</i> (Siapa)?	Siapa yang akan mengerjakan aktivitas rencana tindakan?	Dilaksanakan oleh pekerja bagian proses produksi pada departmen <i>sewing</i> serta pihak manajemen dan seluruh karyawan pada umumnya
	<i>How</i> (Bagaimana)?	Bagaimana pelaksanaannya?	Penanggulangan sebaiknya dilaksanakan dengan cara: Operator pada bagian produksi <i>sewing</i> senantiasa diberikan pelatihan-pelatihan agar lebih baik lagi dalam melaksanakan pekerjaannya
Faktor material 1. kain rusak 2. kain belang	<i>What</i> (Apa) ?	Apa tujuan dari penanggulangan?	Perbaikan dan penanggulangan ini dilaksanakan untuk menciptakan hasil produksi yang baik
	<i>Why</i> (Mengapa)?	Mengapa perbaikan dan pengulangan ini perlu dilakukan?	Karena faktor material merupakan hal yang paling berpengaruh dalam kualitas produk, dimana produk yang baik dan bermutu hanya bisa dihasilkan oleh proses yang baik dan bahan baku yang baik pula.

	<i>Where</i> (Dimana)?	Dimana rencana tindakan itu akan dilakukan?	Penanggulangan akan dilakukan di <i>quality control</i> bahan sebelum masuk ke proses <i>sewing</i>
	<i>When</i> (Kapan)?	Kapan penanggulangan dan perbaikan akan dilakukan?	Akan dilaksanakan secepatnya, untuk menghindari kecacatan yang lebih banyak di periode yang akan datang
	<i>Who</i> (Siapa)?	Siapa yang akan mengerjakan aktivitas rencana tindakan?	Akan dilaksanakan oleh <i>quality control</i> sebelum bahan baku masuk untuk diproses
	<i>How</i> (Bagaimana)?	Bagaimana pelaksanaannya?	Pihak perusahaan khususnya bagian <i>quality control</i> diharapkan lebih teliti dalam pemeriksaan bahan baku yang akan diproses
Faktor Area 1. ruangan cenderung panas dan terbuka 2. kondisi ruangan yang bising dan kotor	<i>What</i> (Apa) ?	Apa tujuan dari penanggulangan?	Tujuan dari penanggulangan adalah untuk menjaga lingkungan kerja yang nyaman dan sehat sehingga dapat meningkatkan kinerja operator.
	<i>Why</i> (Mengapa)?	Mengapa perbaikan dan penggulangan ini perlu dilakukan?	Karena faktor lingkungan kerja memberikan pengaruh secara langsung terhadap kinerja operator dalam menghasilkan produk yang berkualitas
	<i>Where</i> (Dimana)?	Dimana rencana tindakan itu akan dilakukan?	Penanggulangan ini akan dilaksanakan di department <i>sewing</i>
	<i>When</i> (Kapan)?	Kapan penanggulangan dan perbaikan akan dilakukan?	Penanggulangan ini akan dilaksanakan secepatnya, diharapkan para pekerja khususnya akan semakin teliti dan konsentrasi kerja semakin baik dalam melaksanakan pekerjaannya
	<i>Who</i> (Siapa)?	Siapa yang akan mengerjakan aktivitas rencana tindakan?	Akan dilaksanakan/dilakukan oleh management unit department <i>sewing</i>
	<i>How</i> (Bagaimana)?	Bagaimana pelaksanaannya?	Hendaknya management unit department <i>sewing</i> melaksanakan program penghijauan agar kondisi tempat kerja dan sekitarnya bias lebih nyaman sehingga operator pada bagian <i>sewing</i> senantiasa bekerja lebih baik lagi
Faktor mesin 1. kurangnya perawatan 2. salah penyetelan/pengaturan 3. usia mesin	<i>What</i> (Apa) ?	Apa tujuan dari penanggulangan?	Tujuan dari penanggulangan ini adalah untuk menjaga dan menghasilkan produk yang baik serta diharapkan dapat menekan jumlah produk yang cacat
	<i>Why</i> (Mengapa)?	Mengapa perbaikan dan penggulangan ini perlu dilakukan?	Karena mesin merupakan faktor penting dalam proses produksi, dimana pengaturan atau penyetelan mesin berpengaruh terhadap hasil kerja.
	<i>Where</i> (Dimana)?	Dimana rencana tindakan itu akan dilakukan?	Penanggulangan ini akan dilaksanakan di department <i>sewing</i>
	<i>When</i> (Kapan)?	Kapan penanggulangan dan perbaikan akan dilakukan?	Penanggulangan akan dilaksanakan secepatnya, diharapkan para pekerja khususnya akan semakin terampil dan lebih teliti dalam pengaturan mesin
	<i>Who</i> (Siapa)?	Siapa yang akan mengerjakan aktivitas rencana tindakan?	Penanggulangan akan dilaksanakan oleh operator di bagian proses produksi pada departmen <i>sewing</i> serta pihak manajemen dan seluruh karyawan pada umumnya
	<i>How</i> (Bagaimana)?	Bagaimana pelaksanaannya?	Penanggulangan sebaiknya dilaksanakan dengan cara: Operator pada bagian produksi <i>sewing</i> senantiasa diberikan pelatihan-pelatihan agar lebih baik lagi dalam melaksanakan pekerjaannya
Faktor metode 1. instruksi	<i>What</i> (Apa) ?	Apa tujuan dari penanggulangan?	Tujuan dari penanggulangan ini adalah untuk menjaga produk yang dihasilkan tetap

kerja tidak dilaksanakan dengan baik 2. kesalahan metode pemasangan komponen			berkualitas, tidak terjadi kesalahan-kesalahan dalam pemasangan atribut produk
	<i>Why</i> (Mengapa)?	Mengapa perbaikan dan pengulangan ini perlu dilakukan?	Perbaikan dan penanggulangan ini dilaksanakan karena faktor metode kerja memberikan pengaruh secara langsung terhadap hasil produksi
	<i>Where</i> (Dimana)?	Dimana rencana tindakan itu akan dilakukan?	Penanggulangan ini akan dilaksanakan di department <i>sewing</i>
	<i>When</i> (Kapan)?	Kapan penanggulangan dan perbaikan akan dilakukan?	Penanggulangan akan dilaksanakan secepatnya, diharapkan para pekerja/ operator khususnya akan semakin teliti dan konsentrasi kerja semakin baik dalam melaksanakan pekerjaannya
	<i>Who</i> (Siapa)?	Siapa yang akan mengerjakan aktivitas rencana tindakan?	Penanggulangan akan dilaksanakan/ dilakukan oleh operator unit department <i>sewing</i>
	<i>How</i> (Bagaimana)?	Bagaimana pelaksanaannya?	Hendaknya management unit department <i>sewing</i> sering melaksanakan program pembinaan dan pelatihan

3. Penetapan sistem saran dengan *Five Step Plan*

**Tabel 1.9** Penetapan sistem saran dengan *Five Step Plan*

<i>Five Step Plan</i>	Situasi	Saran Pelaksanaan
<i>Seiri</i> (Pemilahan)	semua barang dan bahan berantakan disuatu area bercampur baur tidak menentu sehingga tidak jelas mana yang penting, dan mana yang tidak penting.	Memisahkan barang yang diperlukan dengan barang yang tidak diperlukan dan mengelompokkan barang dan bahan menurut kepentingannya, kemudian menyimpan atau membuang barang yang tidak ada hubungannya dengan pekerjaan
<i>Seiton</i> (Penataan)	semua barang diletakkan menumpuk asal-asalan disembarang tempat atau dokumen yang menumpuk disuatu meja atau lemari tanpa ada penyusunan yang memadai.	a. Mengatur tata letak barang sesuai dengan jenis atau fungsi dan tingkat kepentingannya b. Meletakkan barang pada tempat yang telah ditentukan c. Memberikan label pada barang yang telah disusun d. Melakukan pemeriksaan secara berkala terhadap kondisi kerapian
<i>Seiso</i> (Kebersihan)	sampah dan kotoran yang terjadi selama aktivitas kerja dibiarkan begitu saja, misalnya minyak, oli bekas menempel pada mesin atau peralatan kerja.	a. Membuang semua kotoran atau sampah yang ada atau menempel pada peralatan, mesin dan tempat kerja pada tempat yang telah disediakan b. Menemukan sumber kotoran dan berusaha mencegah timbulnya kotoran tersebut
<i>Seiketsu</i> (Pemantapan)	Pemantapan merupakan hasil dari kegiatan pemilihan, penataan dan kebersihan yang dilaksanakan secara tepat dan berulang-ulang. Selain hal tersebut ada beberapa langkah penting dalam pelaksanaan standarisasi, yaitu tidak membuang sampah sembarangan dan membuat jadwal kebersihan untuk menciptakan sistem pemeliharaan tata papan ( <i>house keeping</i> )	a. Memberikan tanda daerah berbahaya b. Membuat petunjuk arah c. Menempatkan warna peringatan d. Menyiapkan pengamanan e. Membuat petunjuk pemadam kebakaran f. Menetapkan label tanggung jawab bagi setiap karyawan g. Membuat jadwal 3 S
Shitsuke (Pembiasaan)	Dalam pembiasaan sasaran yang ingin dicapai adalah pembentukan sikap mandiri, sistem pengakuan terhadap tempat kerja yang telah berhasil melaksanakan 4 S dengan sukses.	a. Kesempatan belajar bagi karyawan b. Hubungan karyawan c. Teladan dari atasan d. Penetapan target bersama

## **KESIMPULAN**

1. Nilai DPMO untuk pembuatan kaos DADUNG sebesar 4509,384 dengan nilai kapabilitas *sigma* sebesar 4,11-*sigma*, artinya bahwa dari satu juta kesempatan yang ada, akan terdapat 4509,384 kemungkinan bahwa proses pembuatan kaos tersebut tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan.
2. Prosentase tiap jenis CTQ dari kaos DADUNG adalah Dek (20,76%), Krah (11,23%), Label (9,01%), Jahitan Lengan (8,91%), Obras (7,72%), Jahitan Bahu (6,75%), *Zipper* (5,73%), Belah Samping (5,56%), *Pocket* (5,48%), Jahitan Komb Badan (5,41%), *Placket* (5,07%), Jahitan Manset (4,39%), dan lain-lain (3,98%), dengan total jumlah cacat 22517 dalam satu tahun.
3. Faktor penyebab produk cacat Dek yang ada di Mondrian, antara lain kurangnya pengawasan dari pihak perusahaan sehingga dalam bekerja operator kurang memperhatikan hal kebersihan dan perawatan mesin yang mengakibatkan mesin sering macet, kurang ketatnya inspeksi bahan baku (kain), instruksi kerja yang tidak dilaksanakan dengan baik sehingga sering terjadi kesalahan dalam penyetalan atau pengaturan.
4. Usulan pengendalian dan perbaikan kualitas berdasarkan alat-alat implementasi dari *kaizen* yaitu perlu diadakannya pengawasan dan kontrol yang lebih ketat lagi dalam hal kebersihan, perawatan dan bahan baku, kenyamanan operator ditempat kerja lebih diperhatikan lagi, memberikan arahan dan nasehat kepada karyawan pada saat briffing agar mempunyai sikap memiliki dan menjaga perusahaan supaya pekerjaan lebih teliti serta bertanggung jawab pada setiap pekerjaannya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Ariani, D.W., 2005, *Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas)*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Gaspersz, V., 2002. *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi Dengan ISO 9001 : 2000, MBNQA, Dan HACCP*. Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Imai, M., (Alih Bahasa: Dra. Mariani Gandamihardja), 2001. *Kaizen (Ky'zen) Kunci Sukses Jepang Dalam Persaingan*, PT Pustaka Binaman Presindo, Jakarta.
- Pande, P. S, Neuman, R. P, Cavanagh, R. R., (Alih Bahasa: Dwi Purbantini), 2003. *The Six Sigma Way: Bagaimana GE, Motorola, Dan Perusahaan Terkenal Lainnya Mengasah Kinerja Mereka*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Tjiptono, F & Diana, A., 2003, *Total Quality Management*, Edisi Refisi. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

## PENGUKURAN KINERJA PERUSAHAAN DENGAN MENGGUNAKAN KRITERIA MALCOLM BALDRIGE GUNA MENENTUKAN LEVEL KEUNGGULAN

I Kadek Agus Budiastawa<sup>1</sup>, Risma Adelina Simanjuntak<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta

### ABSTRACT

*Performance measurement is the use of statistical evidence to determine progress is determined by the goals of the organization. On this occasion, the author attempts to measure system performance based on the criteria of the Malcolm Baldrige at Gardena Department Store & Supermarket. Malcolm Baldrige was one of the tools to improve overall organizational performance and continuous (continuously improvement). Seven criteria of Malcolm Baldrige are used is Leadership, Strategic Planning, Customer and Market Focus, Measurement, Analysis and Knowledge Management, Workforce Focus, Process Management, and Result. The seven criteria are evaluated using ADLI (Approach, Deployment, Learning, Integration) and for the Result criteria are evaluated using LTCI (Level, Trend, Comparison, Integration), in order to obtain a total score that indicates the position of the company.*

*Based on the assessment of the seven criteria above companies earn points for 341.4 points. It shows the company's position at the level of excellence Early Result*

**Keywords :** *Performance Measurement, Malcolm Baldrige, ADLI, LTCI.*

### PENDAHULUAN

Pelaku bisnis yang ingin memenangkan persaingan akan memberikan perhatian penuh pada mutu produk atau jasa yang dihasilkan. Jasa yang diberikan menjadi salah satu faktor yang sangat penting yang tidak dapat dipisahkan dari proses keberhasilan suatu perusahaan. Tuntutan konsumen untuk memperoleh barang atau jasa yang berkualitas mendorong para pemilik perusahaan untuk lebih memperhatikan kualitas barang atau jasa tersebut, dengan memperbaiki sistem kinerja organisasinya. Kinerja organisasi perusahaan yang baik memberikan kontribusi yang sangat besar dalam memajukan perusahaan tersebut. Sebaliknya kinerja perusahaan yang kurang baik atau yang tidak baik secara tidak langsung akan menghambat proses pertumbuhan dan perkembangan perusahaan.

Supermarket XYZ merupakan salah satu toko serba ada yang berada di Yogyakarta yang bergerak dalam bidang penjualan atau penyampaian produk ke tangan konsumen akhir. Dengan infrastruktur yang memadai, Supermarket XYZ memberikan standar pelayanan yang akan membuat pengunjung merasa aman dan nyaman ketika berbelanja. Untuk mendukung keamanan dan kenyamanan pengunjung, semua infrastruktur penunjang baik kelengkapan gedung dan standar keamanan bangunan juga mendapatkan perhatian serius. Sistem keamanan standar Supermarket XYZ antara lain : *metal detector, checking bag, mobile* dan *stand-by security* di tiap lantai, *mirror detector* untuk mobil, *fire detector & alarm emergency* di setiap lantai, *fire extinguisher* di setiap lantai, 35 personil keamanan / satpam, 4 personil kepolisian. Gardena memiliki banyak pesaing diantaranya *Carrefour* dan *Mirota*. Agar mampu bersaing Supermarket XYZ memberikan pelayanan semaksimal mungkin untuk keinginan konsumen, senyum ramah karyawan dan karyawan menyambut kedatangan konsumen. Sebagai supermarket yang sedang berkembang, maka perkembangan tersebut akan diikuti dengan kompleksitas dalam pengenalan organisasi baik secara intern maupun ekstern. Sistem pengukuran kinerja yang sistematis dan terorganisir dengan baik sangat diperlukan karena dengan adanya perencanaan, pengukuran serta proses implementasi yang baik diharapkan organisasi dapat mencapai sukses secara berkesinambungan.

Berdasarkan uraian di atas maka dalam penelitian ini akan membahas tentang pengukuran kinerja perusahaan berdasarkan tujuh kriteria dalam *Malcolm Baldrige* untuk keefektifan dan keefisienan kinerja organisasi. Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan yang akan dibahas mengukur kinerja perusahaan dengan menggunakan kriteria *Malcolm Baldrige* dan Menganalisis faktor-faktor kunci yang memiliki dampak terbesar terhadap kinerja organisasi perusahaan.

## Pengukuran Kinerja

Menurut *Baldrige Criteria*, pengukuran kinerja dapat mudah dipahami melalui pengertian kata-kata *performance* dan *measurement*.

- *Performance* mengacu pada hasil *output* dari proses, produk dan jasa yang telah dievaluasi yang dibandingkan sehubungan dengan tujuan, *standard* hasil masa lampau, dan lainnya dari suatu organisasi. *Performance* boleh jadi dinyatakan dalam bentuk kuantitas maupun kualitas dalam suatu organisasi.
- *Measurement* mengacu pada informasi kuantitatif yang menghitung jumlah *input*, *output*, dan dimensi *performance* proses, produk, jasa, dan hasil keseluruhan organisasi.

*Malcolm Baldrige National Quality Award* (MBNQA) merupakan salah satu *tools* untuk peningkatan kinerja organisasi secara keseluruhan dan terus menerus (*continuously improvement*) dengan menggunakan pengukuran dan memberikan *feedback* mengenai kinerja organisasi secara keseluruhan dalam menyediakan produk dan jasa yang berkualitas.

Malcolm Baldrige terdiri dari tujuh kriteria yaitu sebagai berikut :

1. Kepemimpinan  
Kriteria kepemimpinan dalam *Malcolm Baldrige* terdiri dari dua item, yaitu : kepemimpinan senior serta *Governance* dan Tanggung Jawab Sosial.
2. Perencanaan strategis  
Kriteria perencanaan strategis dalam *Malcolm Baldrige* terdiri dari dua item, yaitu : Pengembangan Strategis (*Strategy Development*) dan Penyebarluasan Strategi (*Strategy Deployment*).
3. Fokus pasar dan pelanggan  
Kategori fokus pasar dan pelanggan dalam (MBCfPE) menguji bagaimana organisasi menentukan persyaratan-persyaratan, kebutuhan-kebutuhan, ekspektasi, dan preferensi dari pelanggan dan pasar. Kategori ini juga menguji bagaimana organisasi membangun hubungan dengan pelanggan dan menentukan faktor-faktor kunci yang mengarah kepada akuisisi pelanggan, kepuasan, loyalitas, dan mempertahankan pelanggan menuju pengembangan dan keberlangsungan bisnis.  
Fokus pasar dan pelanggan menunjukkan bagaimana organisasi memahami suara pelanggan dan pasar. Kategori ini menekankan hubungan sebagai suatu bagian penting dari strategi secara menyeluruh mulai dari mendengarkan pelanggan, pembelajaran, dan menetapkan keunggulan kinerja. Hasil-hasil kepuasan dan ketidakpuasan pelanggan memberikan informasi penting untuk memahami pelanggan dan pasar. Dalam banyak kasus, hasil-hasil dan kecenderungan itu memberikan informasi yang sangat bermanfaat, tidak hanya tentang pandangan-pandangan pelanggan tetapi juga tentang perilaku pasar. Terdapat dua item dalam kategori fokus pasar dan pelanggan, yaitu : Item pengetahuan pasar dan pelanggan serta item hubungan dan kepuasan pelanggan.
4. Pengukuran, analisis dan manajemen pengetahuan  
Kategori pengukuran, analisis, dan manajemen pengetahuan dalam MBCfPE menguji bagaimana organisasi memilih, mengumpulkan, menganalisis, mengelola, dan meningkatkan data, informasi dan pengetahuan, serta bagaimana organisasi itu mengelola teknologi informasi. Kategori ini juga menguji bagaimana organisasi meninjau ulang (*reviews*) dan menggunakan hasil-hasil peninjauan ulang itu untuk meningkatkan kinerja.
5. Fokus sumber daya manusia  
Kategori fokus sumber daya manusia dalam MBCfPE menguji bagaimana organisasi melibatkan, mengelola, dan mengembangkan karyawan untuk menggunakan secara penuh kemampuan potensial dalam menyelaraskan dengan visi, misi, nilai-nilai, strategi, dan rencana tindakan (*action plans*) dari organisasi secara keseluruhan. Kategori fokus sumber daya manusia juga menguji kemampuan manajemen dalam menilai kapabilitas dan kebutuhan karyawan untuk membangun lingkungan tenaga kerja (*workforce environment*) yang kondusif agar mencapai kinerja tinggi (*high performance*).
6. Manajemen proses  
Kategori manajemen proses dalam *Malcolm Baldrige Criteria for Performance Excellence* (MBCfPE) menguji bagaimana organisasi menetapkan kompetensi inti (*core competencies*) dan sistem-sistem kerja, termasuk bagaimana mendesain, mengelola, dan meningkatkan proses-proses kunci untuk implementasi sistem-sistem kerja itu dalam menyerahkan nilai kepada pelanggan, mencapai keberhasilan dan keberlangsungan organisasi. Kategori

manajemen proses juga menguji kesiapan organisasi dalam kesiapan dalam menghadapi keadaan darurat.

#### 7. Hasil-hasil

Kategori hasil-hasil dalam *Malcolm Baldrige Criteria for Performance Excellence* (MBCfPE) menguji kinerja organisasi dan peningkatan dalam semua area kunci *outcome* : produk dan pelayanan, berfokus pelanggan, pasar dan finansial, berfokus sumber daya manusia, efektivitas proses, serta kepemimpinan dan tanggung jawab sosial. Tingkat kinerja diuji secara relatif terhadap pesaing-pesaing dan organisasi lain yang menawarkan produk dan pelayanan serupa.

Pendekatan yang digunakan dalam memberikan skor untuk kategori hasil-hasil adalah berkaitan dengan :

- Tingkat kinerja (*performance level*)
- Kecenderungan (*trend*)
- Perbandingan (*comparison*),

Kepentingan yang berhubungan dengan dengan kebutuhan-kebutuhan utama dari pelanggan, pasar, proses, dan rencana tindakan. Pendekatan yang digunakan untuk implementasi kriteria *Malcolm Baldrige* adalah ADLI yaitu : *Approach* (pendekatan), *Deployment* (penyebarluasan), *Learning* (pembelajaran), dan *Integration* (integrasi)

#### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk (1) mengetahui faktor-faktor kunci yang memiliki dampak terbesar terhadap kinerja organisasi perusahaan, (2) memperkirakan posisi perusahaan melalui proses penilaian *Malcolm Baldrige Criteria*. (3) Mengetahui kinerja perusahaan secara umum.

Adapun manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah (1) hasil pengukuran kinerja perusahaan yang didapat biasa digunakan sebagai bahan untuk evaluasi bagian-bagian di perusahaan yang kinerjanya diindikasikan belum mencapai target perusahaan dan yang kurang baik, sehingga dapat meningkatkan kinerja perusahaan, (2) Bagi perusahaan, diharapkan dapat memperkirakan posisi perusahaan, meningkatkan kinerja dan daya saing serta sebagai acuan untuk peningkatan kinerja secara terus-menerus, (3) Sebagai bahan pertimbangan perusahaan untuk meningkatkan kinerja di dalam perusahaannya.

#### METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Supermarket XYZ di Yogyakarta dengan pengamatan awal dengan melihat fakta-fakta kemudian identifikasi masalah yang ada pada perusahaan berdasarkan pada latar belakang yang dilakukan . Bagaimana mengukur kinerja perusahaan dengan menggunakan kriteria *Malcolm Baldrige*, bagaimana menganalisis faktor-faktor kunci yang memiliki dampak terbesar terhadap kinerja organisasi perusahaan dan bagaimana meningkatkan efektivitas dan efisiensi kerja perusahaan?

Pengumpulan data membutuhkan data-data yang relevan untuk dapat menyelesaikan permasalahan yang diteliti. Adapun sumber-sumber data yang digunakan diperoleh secara langsung dari perusahaan yaitu dengan mengumpulkan data aktual yang diperoleh langsung di Supermarket XYZ melakukan dengan wawancara langsung dalam bentuk pertanyaan kepada responden/karyawan. Metode kuesioner dilakukan dengan memberi seperangkat pertanyaan tertulis kepada responden.

Setelah melakukan pengumpulan data, langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Approach, Deployment, Learning, Integration* (ADLI) untuk kriteria proses dan pendekatan *Level, Trend, Comparison, Integration* (LTCI) untuk kriteria hasil-hasil. Pengolahan data dalam penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi 7 kriteria berdasarkan *Malcolm Baldrige Criteria for Performance Excellence*. ini dilakukan melalui wawancara atau konfirmasi pihak-pihak terkait. Ketujuh *item* tersebut adalah Kepemimpinan, Perencanaan strategis, Fokus pasar dan pelanggan ,Pengukuran, analisis dan manajemen, pengetahuan, Fokus sumber daya manusia , Manajemen proses dan Hasil-hasil
2. Sistem penilaian ini mengacu pada MBCfPE 2007 dan masing-masing kriteria memiliki skor penilaian sendiri. Penilaian respon terhadap ketujuh *item* kriteria dan umpan balik berdasarkan pada dua dimensi evaluasi

## PEMBAHASAN

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Approach, Deployment, Learning, Integration* (ADLI) untuk kriteria proses dan pendekatan *Level, Trend, Comparison, Integration* (LTCI) untuk kriteria hasil-hasil. Berikut ini adalah pengolahan data setiap item kriteria berdasarkan ADLI dan LTCI :

**Tabel 1.** Pemberian Skor Dari Kriteria 1-6 Berdasarkan *Approach, Deployment, Learning, Integration* (ADLI)

Kriteria	Faktor	0-5%	10-25%	30-45%	50-65%	70-85%	90-100%
1.2 Governance dan Tanggung Jawab Sosial	A			X			
	D			X			
	L			X			
2.1 Pengembangan Strategi	I		X				
	A			X			
	D				X		
2.2 Penyebarluasan Strategi	L			X			
	I		X				
	A				X		
3.1 Pengetahuan Pasar dan Pelanggan	D			X			X
	L					X	
	I		X			X	
3.2 Hubungan dan Kepuasan Pelanggan	A			X			
	D			X			
	L					X	
4.1 Pengukuran, Analisis dan Peningkatan Kinerja Organisasi	I		X				
	A		X				
	D		X				
4.2 Manajemen Informasi, Teknologi Informasi, dan Pengetahuan	L			X			
	I	X					
	A			X			
5.1 <i>Workforce Engagement</i>	D					X	
	L					X	
	I				X		
5.2 <i>Workforce Environment</i>	A			X			
	D			X			
	L		X				
6.1 Desain Sistem-Sistem Kerja	I		X				
	A		X				
	D		X				
6.2 Manajemen Proses Kerja dan Peningkatan	L			X			
	I		X				
	A			X			
	D			X			
	L			X			
	I		X				

**Tabel 2.** Pemberian Skor Dari Kriteria Hasil-hasil Berdasarkan *Level, Trend, Comparison, Integration* (LTCI)

Kriteria	Faktor	0-5%	10-25%	30-45%	50-65%	70-85%	90-100%
7.2 Hasil-Hasil Berfokus Pelanggan	L				X		
	T				X		
	C				X		
	I			X			
7.3 Hasil-Hasil Pasar dan Finansial	L				X		
	T			X			
	C		X				
	I		X				
7.4 Hasil-Hasil Sumber Daya Manusia	L			X			
	T			X			
	C		X				
	I		X				
7.5 Hasil-Hasil Efektivitas Proses	L					X	
	T			X			
	C		X				
	I					X	
7.6 Hasil-Hasil Kepemimpinan	L					X	
	T			X			
	C		X				
	I			X			

**Tabel 3.** Posisi Bobot Dari Ketujuh Kriteria *Malcolm Baldrige*

Kriteria	0-5%	10-25%	30-45%	50-65%	70-85%	90-100%
1.1 Kepemimpinan Senior		X				
1.2 <i>Governance</i> dan Tanggung Jawab Sosial		X				
2.1 Pengembangan Strategi			X			
2.2 Penyebarluasan Strategi			X			
3.1 Pengetahuan Pasar dan Pelanggan				X		
3.2 Hubungan dan Kepuasan Pelanggan			X			
4.1 Pengukuran, Analisis dan Peningkatan Kinerja Organisasi		X				
4.2 Manajemen Informasi, Teknologi Informasi, dan Pengetahuan			X			
5.1 <i>Workforce Engagement</i>				X		
5.2 <i>Workforce Environment</i>		X				
6.1 Desain Sistem-Sistem Kerja		X				
6.2 Manajemen Proses Kerja dan Peningkatan			X			
7.1 Hasil-Hasil Produk dan Pelayanan				X		
7.2 Hasil-Hasil Berfokus Pelanggan				X		
7.3 Hasil-Hasil Pasar dan Finansial			X			
7.4 Hasil-Hasil Sumber Daya Manusia		X				
7.5 Hasil-Hasil Efektivitas Proses			X			
7.6 Hasil-Hasil Kepemimpinan			X			

**Tabel 4.** Hasil Pencapaian Nilai Kriteria *Malcolm Baldrige*

No.	Kriteria	Max	%	Skor	Nilai
I	Kepemimpinan	120 poin			
	1.1 Kepemimpinan Senior	70 poin	15		10,5
	1.2 <i>Governance</i> dan Tanggung Jawab Sosial	50 poin	25		12,5
II	Perencanaan Strategis	85 poin			
	2.1 Pengembangan Strategi	40 Poin	35		14

	2.2 Penyebarluasan Strategi	45 Poin	30	13,5
	Fokus Pasar dan Pelanggan	85 Poin		
III	3.1 Pengetahuan Pasar dan Pelanggan	40 Poin	50	20
	3.2 Hubungan dan Kepuasan Pelanggan	45 Poin	35	15,7
	Pengukuran, Analisis dan Manajemen Pengetahuan	90 Poin		
IV	4.1 Pengukuran, Analisis dan peningkatan Kinerja Organisasi	45 Poin	20	9
	4.2 Manajemen Informasi, Teknologi Informasi dan Pengetahuan	45 Poin	35	15,7
	Fokus Sumber Daya Manusia	85 Poin		
V	5.1 <i>Workforce Engagement</i>	45 Poin	50	22,5
	5.2 <i>Workforce Environment</i>	40 Poin	25	10
	Manajemen Proses	85 Poin		
VI	6.1 Desain Sistem-sistem Kerja	35 Poin	20	7
	6.2 Manajemen Proses Kerja dan Peningkatan Hasil-hasil	50 Poin	30	15
	7.1 Hasil Produk dan Pelayanan	100 Poin	50	50
	7.2 Hasil-hasil Berfokus Pelanggan	70 Poin	50	35
VII	7.3 Hasil-hasil Pasar dan Finansial	70 Poin	30	21
	7.4 Hasil-hasil Sumber Daya Manusia	70 Poin	25	17,5
	7.5 Hasil-hasil efektivitas Proses	70 Poin	40	28
	7.6 Hasil-hasil Kepemimpinan	70 Poin	35	24,5
	<b>TOTAL</b>	<b>1000</b>		<b>341,4</b>

Berdasarkan hasil penilaian dari ketujuh kriteria *Malcolm Baldrige* di *Gardena Department Store & Supermarket* yang dilakukan, secara keseluruhan kriteria proses berada pada *range* 15 sampai 25 % , 30% sampai 45 % , dan 50 % sampai 65 %. Hasil penilaian dari masing-masing kriteria adalah sebagai berikut :

1. Kriteria Kepemimpinan

Kriteria kepemimpinan ini memiliki bobot 15 % dan 25 %, dimana untuk kepemimpinan senior 15 % dan *Governance* dan tanggung jawab sosial 25 %, hal ini menggambarkan :

- Approach* berada pada tahap awal, dari pendekatan sistematis
- Pendekatan masih berada pada tahap awal penyebarluasan meskipun hanya masih beberapa area.
- Tahap awal permulaan transisi dari pendekatan reaktif terhadap masalah ke orientasi peningkatan secara umum.
- Pendekatan diselaraskan atau diintegrasikan dengan area atau unit kerja yang lain melalui solusi masalah bersama.

2. Kriteria Perencanaan Strategis

Skor yang diperoleh pada kriteria perencanaan strategi adalah 30% dan 35%, yang mana item pengembangan strategi 35% dan item penyebarluasan strategi 30%. Hal ini menggambarkan:

- Approach* efektif, sistematis, responsif
- Pendekatan sudah disebarluaskan, meskipun masih pada beberapa area
- Proses evaluasi sudah sistematis meskipun masih berada pada tahap permulaan
- Pendekatan masih berada pada tahap awal penyelelarsan.

3. Kriteria fokus Pasar dan Pelanggan

Kriteria fokus pasar dan pelanggan berada pada *range* skor 35% dan 50%. Untuk item pengetahuan pasar dan pelanggan memperoleh skor 50% sedangkan untuk item hubungan dan kepuasan pelanggan memperoleh skor 35%. Hal ini menggambarkan :

- Approach* efektif, sistematis, responsif
- Pendekatan sudah disebarluaskan, meskipun masih pada beberapa area
- Evaluasi sistematis dan peningkatan proses berdasarkan fakta.
- Pendekatan masih berada pada tahap awal penyelesaian

4. Kriteria Pengukuran, Analisis, dan Manajemen Pengetahuan

Kriteria pengukuran, analisis, dan manajemen pengetahuan ini memiliki bobot 20% dan 35%, dimana pengukuran, analisis dan peningkatan kinerja organisasi memperoleh skor 20 % dan manajemen informasi, teknologi informasi dan pengetahuan memperoleh skor 35 %, hal ini menggambarkan :

- a. Permulaan (tahap awal) pendekatan sistematis
  - b. Pendekatan disebarluaskan meskipun di beberapa area
  - c. Tahap awal transisi dan peningkatan secara umum.
  - d. Pendekatan masih berada pada tahap awal keselarasan
5. Kriteria fokus sumber daya manusia  
Kriteria fokus sumber daya manusia berada pada *range* skor 25% dan 50%. Untuk item *Workforce Engagement* memperoleh skor 50% sedangkan untuk item *Workforce Environment* memperoleh skor 25%. Hal ini menggambarkan :
- a. *Approach* berada pada tahap awal dari pendekatan sistematis.
  - b. Pendekatan berada pada tahap awal penyebarluasan dalam banyak area kerja
  - c. Evaluasi sistematis dan peningkatan proses berdasarkan fakta.
  - d. Pendekatan masih berada pada tahap awal penyelerasan.
6. Manajemen proses  
Skor yang diperoleh pada kriteria manajemen proses adalah 20% dan 30%, yang mana item desain sistem-sistem kerja 20 dan item manajemen proses kerja dan peningkatan 30%. Hal ini menggambarkan:
- a. Pendekatan sistematis meskipun masih berada pada tahap awal.
  - b. Penyebarluasan masih berada pada tahap awal
  - c. Tahap awal permulaan transisi dari pendekatan reaktif terhadap masalah ke orientasi peningkatan secara umum.
  - d. Pendekatan diselaraskan dengan area atau unit kerja melalui solusi masalah bersama.
7. Hasil-hasil  
Secara umum kriteria hasil-hasil berada pada *range* 25% dan 50%. Dimana hasil untuk item hasil produk dan layanan sebesar 50%, hasil berfokus pelanggan 50%, hasil pasar dan finansial 30%, hasil sumber daya manusia 25%, hasil efektivitas proses 40%, dan hasil untuk kepemimpinan adalah 35%. Hasil evaluasi terhadap faktor *Level, Trend, Comparison* dan *Integration* adalah :
- a. Tingkat kerja yang baik dilaporkan dalam banyak area.
  - b. Tahap awal dari kecenderungan yang membaik.
  - c. Tingkat kinerja dievaluasi terhadap pembandingan-pembandingan.
  - d. *Integration* dilaporkan untuk banyak area

Setelah melakukan analisa *Malcolm Baldrige* langkah selanjutnya adalah menentukan posisi perusahaan berdasarkan level keunggulan kinerja organisasi perusahaan sebagai berikut :

Tabel 5. Posisi Perusahaan Berdasarkan Level Keunggulan Kinerja Organisasi Perusahaan

Level Keunggulan	Skor (Poin)	Posisi Perusahaan
<i>Early Development</i>	0-250	
<i>Early Result</i>	251-350	Supermarket XYZ
<i>Early Improvement</i>	351-450	
<i>Good to Excellence</i>	451-550	
<i>Emerging Industry Leader</i>	551-650	
<i>Industry Leader</i>	651-750	
<i>Benchmark Leader</i>	751-875	
<i>World Class Leader</i>	876-1000	

Berdasarkan hasil penilaian maka Supermarket XYZ termasuk ke dalam kategori *Early Result*, yang artinya perusahaan tersebut masih berada pada tahap awal pencapaian hasil-hasil kinerja yang sudah membaik dan masih memerlukan perbaikan kinerja untuk mencapai level yang lebih tinggi.

## KESIMPULAN

1. Penilaian kinerja Gardena *Department Store & Supermarket* secara keseluruhan saat ini menggunakan sistem pengukuran berdasarkan standar perusahaan atau mandiri.
2. Berdasarkan hasil penilaian kinerja perusahaan, bobot untuk keenam kriteria proses berdasarkan *Approach, Deployment, Learning, Integration* (ADLI) berada pada *range* 15 persen sampai 50 persen, yang artinya kinerja perusahaan sebagian masih berada pada tahap awal dan sebagian sudah menunjukkan perubahan ke arah yang lebih baik.

3. Berdasarkan hasil evaluasi dengan *Level, Trend, Comparison, Integration* (LTCI), untuk criteria hasil-hasil (*result*) bobot kriteria berada pada *range* 25 persen sampai 50 persen, yang artinya kinerja perusahaan sudah menunjukkan kinerja yang baik, dengan memperhatikan pesaing-pesaingnya, bagian-bagian atau area kerja sudah saling terintegrasi.
4. Secara keseluruhan berdasarkan hasil pencapaian nilai kriteria *Malcolm Baldrige*, perusahaan memperoleh nilai total sebesar 341,4 poin dari skor tertinggi 1000 poin. Hal ini menunjukkan bahwa *Gardena Department Store & Supermarket* berada pada level keunggulan *Early Result*, yang artinya perusahaan tersebut masih berada pada tahap awal pencapaian hasil-hasil kinerja yang sudah membaik dan masih memerlukan perbaikan kinerja untuk mencapai level yang lebih tinggi.
5. Disarankan seharusnya ada dokumen aplikasi agar mudah dalam proses penilaian dan mudah dalam mendapatkan atau bukti-bukti.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Hardiman I.A, 2006, *Perancangan Pengukuran Kinerja dengan Pendekatan Malcolm Baldrige National Quality Award (MBNQA)*, [http : //dewey.pttra.ac.id](http://dewey.pttra.ac.id)
- Purnomo Cahyo, 2009, *Pengukuran Kinerja Perusahaan dengan Menggunakan Metode Integrated Performance Measurement System (IPMS)*, Skripsi, IST.AKPRIND Yogyakarta.
- Vanany Iwan, 2009, *Performance Measurement Model & Aplikasi*, ITS Press, Surabaya
- Vincent Gasperz & Fontana Avanti, 2011, *Malcolm Baldrige Criteria for Performance Excellence*, Vinchristo Publication, Bogor.

## ANALISA STUDI CONFORMITY OF PRODUCTION (COP) UNTUK DITERAPKAN DI BALAI PENGUJIAN LAIK JALAN DAN SERTIFIKASI KENDARAAN BERMOTOR (BPLJSKB) BEKASI

Ellysa Kusuma Laksanawati<sup>1)</sup> Armansyah Putra<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Industri, <sup>2)</sup>Program Studi Teknik Informatika

<sup>1),2)</sup>Fakultas Teknik

<sup>1)</sup>Universitas Muhammadiyah Tangerang, <sup>2)</sup>Universitas Gunadarma

<sup>1)</sup>Jl. Perintis Kemerdekaan I/33, Cikokol Kota Tangerang, <sup>2)</sup>Jl. Kh. Noer Ali Kalimalang Bekasi

<sup>1)</sup>ellysakl@yahoo.com, <sup>2)</sup>armansp892@gmail.com

### ABSTRACT

*Analysis study of Conformity of Production (COP) to be applied at the Center for Testing and Certification road worthy vehicle, based on the technological development of vehicles and the number of vehicles each year and the rapidly increasing trend of increasing rate of accidents and environmental pollution so it should get the attention of the government. In ensuring the safety of driving and environment security it is necessary to control the production vehicle intensively.*

*In the application of intensive production control of motor vehicles required legal framework, it given the large level of influence on society. Researchers assisted from the Directorate of Land Transportation through Balai Pengujian Laik Jalan dan Sertifikasi Kendaraan Bermotor (BPLJSKB) made a study of conformity of Production (COP) applicable in the UNECE which aims to identify deficiencies "whole vehicle" of motor vehicle conducted in BPLJSKB, so that improvements can be made according to the rules in running COP International. In addition to determining the sampling method that can be applied in testing samples COP.*

*With this program can be known deficiencies and abilities BPLJSKB in running COP according International or the world rules. Or as an attempt to prepare themselves to compete globally. And the need for facilities and infrastructure and human resources can be known and can be used as materials development for next program for correcting existing deficiencies.*

**Keywords:** COP, whole vehicle, UNECE, samples

### PENDAHULUAN

Menurut regulasi *United Nation Economic Commission for Europe* (UNECE), WP 29, untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan pengendara dan mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh kendaraan bermotor perlu adanya jaminan *part* dan *whole vehicle* yaitu jaminan terhadap manufaktur komponen (mutu komponen) melalui uji komponen dan jaminan sistem kendaraan bermotor secara utuh atau *whole vehicle* melalui uji tipe (*type approval*). Untuk kendaraan yang beredar Indonesia hingga saat ini jaminan yang dapat diberikan hanya melalui uji tipe (*whole vehicle*). Selama belum masuk atau mengikuti aturan/regulasi internasional baik secara *part* maupun *whole vehicle* maka sulit untuk berkompetisi secara global.

Berangkat dari hal tersebut penelitian ini bertujuan agar pihak BPLJSKB Bekasi mencoba mengkaji dan mempersiapkan diri untuk dapat bersaing secara global dan diakui internasional melalui pelaksanaan *Conformity Of Production* (COP).

*Conformity of Production* (COP) adalah kemampuan untuk menghasilkan serangkaian produk yang sesuai dengan spesifikasi, kinerja dan persyaratan yang ada dalam persetujuan atau sertifikasi tipe kendaraan. Pelaksanaan COP ini melingkupi semua jenis pengujian yang dipersyaratkan untuk mendapatkan sertifikat tipe kendaraan.

Pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) ini telah distandarkan oleh lembaga Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB), melalui lembaga *United Nation Economic Commission for Europe* (UNECE), yang merupakan forum dunia untuk mengharmonisasi regulasi kendaraan bermotor (WP.29).

Pelaksanaan COP ini di beberapa negara mengacu pada standar UNECE ini, seperti di Australia, penerapan COP untuk berbagai jenis pengujian tipe kendaraan diatur dalam suatu ketentuan

standar yang tertuang dalam *Australian Design Rules* (ADR), untuk penerapan di Amerika tertuang dalam standar *Federal Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS).

Pengujian tipe dan COP ini dilakukan oleh lembaga teknis (*Technical Services*) yang ditunjuk oleh lembaga administrasi berwenang (pemerintah).

Sampling adalah bagian dari metodologi statistika yang berhubungan dengan pengambilan sebagian dari populasi. Jika sampling dilakukan dengan metode yang tepat, analisis statistik dari suatu sampel dapat digunakan untuk menggeneralisasikan keseluruhan populasi. Metode sampling banyak menggunakan teori probabilitas dan teori statistika.

Ukuran Sampel yang digunakan :

**Tabel 1.** Populasi dan sample kendaraan

Populasi (N)	Sampel (n)	Populasi (N)	Sampel (n)	Populasi (N)	Sampel (n)
10	10	220	140	1200	291
15	14	230	144	1300	297
20	19	240	148	1400	302
25	24	250	152	1500	306
30	28	260	155	1600	310
35	32	270	159	1700	313
40	36	280	162	1800	317
45	40	290	165	1900	320
50	44	300	169	2000	322
55	48	320	175	2200	327
60	52	340	181	2400	331
65	56	360	186	2600	335
70	59	380	191	2800	338
75	63	400	196	3000	341
80	66	420	201	3500	346
85	70	440	205	4000	351
90	73	460	210	4500	354
95	76	480	214	5000	357
100	80	500	217	6000	361
110	86	550	226	7000	364
120	92	600	234	8000	367
130	97	650	242	9000	368
140	103	700	248	10000	370
150	108	750	254	15000	375
160	113	800	260	20000	377
170	118	850	265	30000	379
180	123	900	269	40000	380
190	127	950	274	50000	381
200	132	1000	278	75000	382
210	136	1100	285	1000000	384

Dalam memilih metode sampling, harus dipertimbangkan dengan benar tentang teknik sampling yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Ada beberapa macam teknik sampling diantaranya :

- 1) Simple random sampling (SRS)
- 2) Systematic Sampling
- 3) Stratified Random Sampling
- 4) Cluster sampling

- 5) Multiphase-sampling
- 6) Convenience Sampling
- 7) Quota Sampling
- 8) Purposive Sampling
- 9) Volunteer Sampling

## METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan penelitian Analisa Pengujian Kendaraan Bermotor dengan menggunakan *Comformity of Production (COP)*.

Pendekatan yang dilakukan meliputi dua hal yaitu :

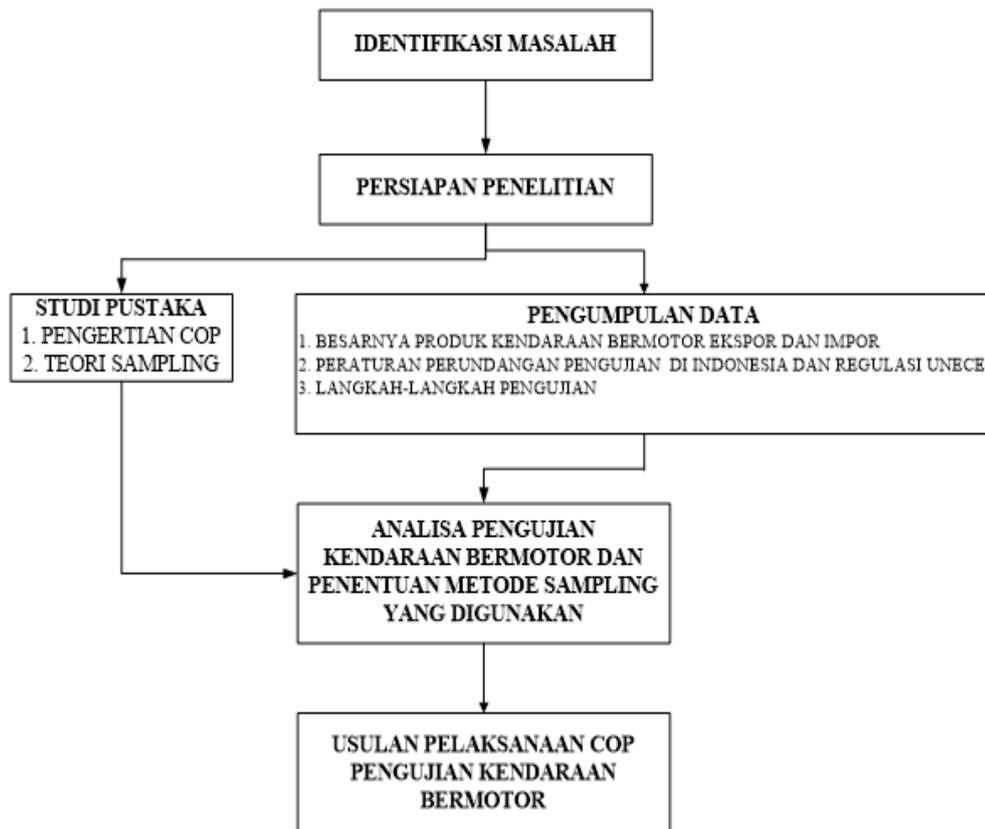
1) Pendekatan Literatur

Pengumpulan, Identifikasi dan Evaluasi peraturan perundangan yang mengatur tentang pengujian sampling mengacu standar UNECE, peraturan yang mengatur pengujian sampling, dasar – dasar teori penentuan sampling, dokumen jumlah produksi kendaraan pertahun terhadap setiap jenis dan merk kendaraan.

2) Pendekatan Teknis

Pengumpulan, Identifikasi dan Evaluasi terhadap jenis pengujian tipe yang dilakukan baik standar yang ada di Indonesia maupun standar internasional, jenis kendaraan yang ada di Indonesia dan metoda sampling yang diterapkan pada regulasi UNECE.

Data-data tersebut akan digunakan untuk menganalisa pengujian kendaraan bermotor kita dengan COP internasional dan penentuan jenis metode sampling apa yang akan digunakan dalam melakukan pengujian COP. Dan alur proses penelitian dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Alur Proses Penelitian

## PEMBAHASAN

*Conformity of Production* (COP) Menurut UNECE.

Jenis pengujian komponen dalam regulasi UNECE bisa merupakan pengujian pada komponen secara independen (berdiri sendiri), bisa juga pada unit kendaraan (*whole vehicle*).

Ada 4 (empat) hal pengujian pada UNECE *regulation* yang terkait dengan kendaraan secara keseluruhan yaitu, gas buang (*emission*), kebisingan (*noise*), rem (*brake*), dan tabrakan (*collision*).

Regulasi UNECE pada dasarnya hanya menyediakan kerangka (*frame*) bagi negara-negara untuk menyusun regulasi atau standar keselamatan (*safety regulation*) bagi otomotif di negaranya masing-masing. Regulasi UNECE disusun dengan memperhatikan 3 (tiga) hal pokok dalam bidang otomotif, yaitu: Keselamatan (*safety*), Lingkungan (*environmental*) dan Penyelamatan sumber energi (*energy conservation*).

Dari ketiga hal pokok tersebut, kemudian diuraikan menjadi 123 regulasi. Regulasi keselamatan bagi otomotif di tiap negara sangat bergantung pada kondisi perkembangan otomotif dan industrinya. Setiap negara bebas menentukan regulasi mana yang akan diadopsi dari regulasi UNECE. Regulasi UNECE ini mencakup prosedur pengujian komponen kendaraan bermotor, beserta *Conformity of Production* (COP).

Pengujian tipe dan COP ini dilakukan oleh lembaga teknis (*Technical Services*) yang ditunjuk oleh lembaga administrasi berwenang (pemerintah).

Berdasarkan regulasi UNECE, prosedur pelaksanaan COP diatur dalam setiap regulasi pengujian komponen, dan prosedur pelaksanaan COP ini belum tentu sama untuk semua jenis komponen.

*Conformity of Production* (COP) dilaksanakan dalam bentuk audit atau inspeksi lapangan ke pabrik (manufaktur), guna mengecek pelaksanaan rencana pengendalian kualitas produksi (*control plan*) komponen-komponen kendaraan yang terdapat dalam persetujuan tipe. Inspeksi ini dilaksanakan secara berkala, dengan rentang waktu tertentu. Dalam pelaksanaan inspeksi ini, inspektur dapat mengambil secara acak sampel untuk diuji di laboratorium di pabrik. Inspeksi ini dilaksanakan secara berkala, dengan rentang waktu tertentu.

Pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) di Eropa.

Untuk wilayah benua eropa, terdapat regulasi untuk mengharmonisasi pelaksanaan *type approval*, yang disebut dengan *European Whole Vehicle Type Approval* (ECWVTA).

Perencanaan COP ini berupa *control plans* dari setiap komponen yang diproduksi, dan merupakan bagian dari sistem pengendalian mutu perusahaan. *Control plans* mencakup sistem pendokumentasian dari semua prosedur, pengecekan serta aktivitas yang dibutuhkan untuk memverifikasi unit produksi secara berkelanjutan guna menjamin semua persyaratan uji tipe dapat selalu dipenuhi. Pelaksanaan COP ini mengacu pada regulasi UNECE dan aturan yang tertuang dalam standar *Europe Economic Community* (EEC).

Sebagai contoh adalah pelaksanaan COP di Inggris yang dilaksanakan oleh lembaga administratif *Vehicle Certification Agency* (VCA). Persyaratan dilakukannya COP dan segala ketentuan dan persyaratannya, dalam pengajuan sertifikasi semua tipe kendaraan berlaku baik untuk kendaraan yang diproduksi di Inggris maupun yang diproduksi di luar Inggris.

Dalam penerapan untuk sertifikat persetujuan yang dikeluarkan oleh VCA, salah satu persyaratan penting dalam peraturan persetujuan tipe, yang harus disertakan dalam perencanaan anda, adalah *Conformity of Production* (COP).

VCA memiliki kelompok spesialis COP, yang fungsinya adalah untuk menilai sistem dan prosedur penjaminan mutu suatu pabrik (termasuk *control plan*), untuk melihat bahwa kedua kondisi kunci dari sebagian besar standar persetujuan tipe tersebut terpenuhi.

Pada tahap awal pengiriman aplikasi sertifikasi, VCA akan memberikan nama kontak VCA agar bisa dilakukan pertemuan dan diskusi. Apakah suatu pabrik merupakan sebuah perusahaan multi-nasional utama dengan sertifikasi formal untuk sistem manajemen kualitas, atau usaha kecil dengan dokumentasi sistem mutu yang minim, kontak VCA ini akan dapat membantu menetapkan cara terbaik untuk langkah selanjutnya.

Dokumentasi yang dibutuhkan dalam pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) terdiri dari 2 (dua) bagian, yaitu dokumentasi tentang : *Quality Management System (Quality Manual)* dan *COP control plan*.

Pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) di Australia.

Di Australia, pelaksanaan COP diatur dalam regulasi *Australian Design Rules* (ADR). Pelaksanaan COP di Australia diatur dibagian tersendiri di dalam *Australian Design Rules* (ADR). Bentuk dari COP tersebut cenderung berupa *factory audit*.

Pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) di Australia dilakukan oleh *Federal Office of Road Safety* (FORS). Ketetapan *Federal Motor Vehicle Standard* memungkinkan Administratur Standard Kendaraan (*Aministrator of Vehicle Standards*) untuk mengeluarkan sebuah persetujuan *Compliance Plate* untuk model kendaraan dengan dasar bukti yang diberikan oleh manufaktur bahwa model tersebut sudah diuji untuk mendemonstrasikan pemenuhan terhadap semua standar nasional (*Australian Design Rules*) yang dapat ditetapkan.

Penilaian terhadap *Conformity of Production* (COP) dan inspeksi fasilitas pengujian memungkinkan administrator untuk memperoleh jaminan bahwa rangkaian kendaraan yang dibuat memenuhi aturan dalam *Australian Design Rules* (ADR), dengan memberikan kesempatan bagi manufaktur untuk mempertunjukkan sistem pengendalian yang handal atas desain, pengujian, pembelian dan proses manufaktur kendaraan yang berkaitan dan sesuai dengan ADR.

Pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) di Thailand

Thailand memberlakukan regulasi baru terhadap kendaraan yang diekspor ke negara Thailand yaitu regulasi *TISI-R-PC-01(04)*. Regulasi tersebut dikeluarkan oleh TISI (*Thai Industrial Standards Institute*), yaitu badan standarisasi industri Thailand yang berada di bawah Departemen Perindustrian Thailand. Aturan tersebut diberlakukan efektif tanggal 1 Mei 2009.

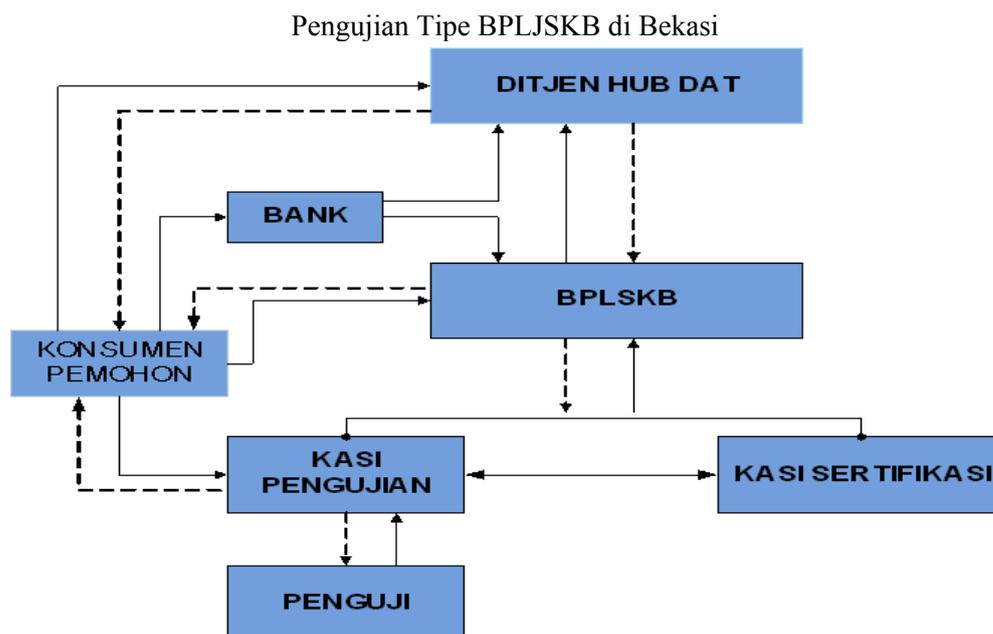
Kebijakan Pengujian Komponen Kendaraan Bermotor

Untuk Negara Indonesia dalam hal ini BPLJSKB bekasi (sebagai *Technical Services*), dari enam item pengujian yang sudah disiapkan adalah pengujian emisi gas buang untuk sepeda motor, sesuai standar internasional dan tinggal menunggu hasil akreditasi (standar ISO 17025). Sistem operasional mengacu pada UNECE dan dapat sama dengan BTMP. Departemen Perindustrian dalam hal melihat kesesuaian material yang digunakan, dan Kementrian Lingkungan Hidup (KLH) melihat tingkat pengaruh gas buang terhadap kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan.

Pengujian Tipe Kendaraan Bermotor di Indonesia

Selain tugas diatas BPLJSKB juga melakukan pengujian tipe (*type approvals*) berupa pengujian *whole vehicle*, yang selama ini telah dilakukan untuk 11 jenis pengujian.

Metode yang dilakukan dalam pengujian tipe ini adalah untuk setiap tipe kendaraan bermotor diambil satu sampling untuk dilakukan pemeriksaan. Sedangkan pelaksanaan pengujian dalam rangka pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) belum bisa dilaksanakan.



Gambar 2. Bagan alir prosedur pengujian tipe kendaraan bermotor di Balai BPLJSKB di Bekasi

#### Waktu Uji

Waktu pengujian Tipe Kendaraan Bermotor yang dibutuhkan dalam menguji satu unit kendaraan  $\pm$  3 jam dan resume hasil pengujian membutuhkan waktu 3 hari.

#### Rencana Pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) Melalui Pengujian *Whole Vehicle*.

Seperti pelaksanaan COP di eropa, pada dasarnya COP dilaksanakan oleh manufaktur melalui pembuatan *control plan*, yang selanjutnya pelaksanaan *control plan* tersebut akan di audit oleh administur atau *authority*. Salah satu jenis pengujian dalam *control plan* tersebut adalah terkait dengan pengujian *whole vehicle*, yang dilaksanakan 1 (satu) kali dalam satu tahun.

Karena tujuan pengambilan sampel COP adalah semata-mata untuk pengendalian kualitas proses produksi, maka berapapun jumlah sampel yang diambil, maka hasilnya diyakini akan tetap sama. Jadi teknik yang diambil untuk pengambilan sampling adalah Purposive Sampling.

#### Kapasitas Pengujian Di Balai PLJSKB Untuk Melaksanakan Pengujian *Whole Vehicle*

Untuk kondisi saat ini, Balai PLJSKB mampu melaksanakan 11 jenis pengujian, dengan 16 orang tenaga penguji. Berdasarkan data yang diperoleh, waktu pelaksanaan pengujian yang paling lama adalah sekitar 30 menit, dan untuk setiap pengujian dilaksanakan oleh minimal 3 orang tenaga penguji.

Didapat kapasitas Balai PLJSKB untuk pengujian kendaraan bermotor dalam bentuk *whole vehicle* adalah sebanyak 480 kendaraan per tahun.

Dari data ini dapat dilihat bahwa dari segi kapasitas pengujian, Balai PLJSKB masih dapat memenuhi jumlah kendaraan yang akan diuji, baik pengujian untuk *type approval*, maupun pengujian dalam rangka pelaksanaan *Conformity of Production* (COP).

#### Program Pengembangan di BPLJSKB.

Program pengembangan yang dapat dilakukan Balai PLJSKB sebagai *technical services* dalam pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) untuk *whole vehicle*, dapat dikembangkan untuk jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang.

Program pengembangan jangka pendek diprioritaskan untuk pelaksanaan COP melalui pengujian *whole vehicle* seperti pada pengujian untuk mendapatkan persetujuan tipe (*type approval*). Selanjutnya dilakukan proses sertifikasi internasional laboratorium uji seperti yang telah dilakukan untuk pengujian emisi gas buang (sedang dalam proses sertifikasi).

Untuk jangka menengah pengujian *whole vehicle* diarahkan untuk mengacu pada kesepakatan kelompok Asean yang dikenal dengan ASEAN *Automotive Federation Forum* (AAF) .

Program pengembangan jangka panjang mengacu pada pengujian *whole vehicle* dan pengujian komponen yang telah distandarkan menurut regulasi UNECE, minimal dapat dikembangkan 20 laboratorium pengujian yang sudah memiliki sertifikat internasional.

## KESIMPULAN

Dari hasil Studi Kesiapan Balai PLJSKB Untuk Melakukan Sampling/COP ini dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Untuk kendaraan yang beredar di Indonesia jaminan yang dapat diberikan hanya melalui uji tipe (*whole vehicle*)
2. BPLJSKB mampu menerapkan COP baik secara pengujian *whole vehicle* maupun secara *part* dilihat dari peralatan yang tersedia, prasarana dan SDM.
3. Dilihat dari kapasitas BPLJSKB untuk melakukan pengujian sebesar 480 unit kendaraan pertahun dengan jumlah total kendaraan yang diuji 476 unit pertahun maka BPLJSKB masih dapat memenuhi jumlah kendaraan yang diuji baik pengujian untuk *type approval* maupun dalam rangka *Conformity of Production*.
4. Berdasarkan acuan penetapan sampel untuk pengujian kendaraan berupa *whole vehicle* yang dianjurkan di Eropa maka sampel yang diambil dalam rangka pelaksanaan COP di BPLJSKB adalah 1 sampel dalam 1 tahun
5. Untuk menyiapkan Balai PLJSKB menjadi *technical service* bagi berbagai jenis pengujian komponen menurut standar UNECE, maka harus dilakukan pengembangan dari segi sarana dan prasarana pengujian dan peningkatan jumlah dan kompetensi tenaga penguji yang tersertifikasi.
6. Pengembangan Balai PLJSKB dapat dilakukan dalam jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang.

## SARAN

Saran dan usulan yang dapat disampaikan dari Dari kajian tentang pelaksanaan *Conformity of Production* (COP) di luar negeri seperti negara-negara di Eropa, Australia dan Thailand, serta usulan tentang pelaksanaan COP melalui pengujian sampel untuk *whole vehicle* di Balai PLJSKB ini, dapat kami sarankan beberapa hal guna pengembangan Balai PLJSKB sebagai *Technical Services* berstandar internasional, yaitu:

1. Balai PLJSKB menerapkan sistem manajemen mutu (*Quality Management System*, QMS) seperti ISO 9001-2008, agar pengelolaan organisasi dan kinerja balai menjadi lebih efektif, efisien, dan terukur.
2. Dalam pengelolaan SDM, Balai PLJSKB mendidik dan mengembangkan kompetensi serta keahlian tenaga penguji untuk beberapa jenis pengujian.
3. Mengembangkan tenaga penguji sesuai dengan latar belakang pendidikan formal yang memadai, dengan tingkat pendidikan minimal setara Diploma-III.

Balai PLJSKB mengusulkan kepada pemerintah agar mengirimkan tenaga ahli yang dimiliki oleh Balai PLJSKB untuk mengikuti berbagai forum dunia mengenai regulasi pengujian kendaraan bermotor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Australian Government, "Conformity of Production", Australia.pdf, 28 November 2009, 10:18.  
Babbie, E.R, "Survey Research Methods", Wadsworth Publishing Co, 1973.  
"Basic Statistics for Social Research", second edition, bab 7 dan bab 8.  
Cooper D.A. and Emory C.W, "Business Research Methods", fourth edition, 1995.  
Departemen Perindustrian, "Roadmap Industri Otomotif s/d tahun 2025" Roadmap\_depeprin.pdf, Goggle, 1 Januari 2010.  
Gay L.R. and Diehl, "Research for Business and Management", Macmillan Publishing Co, 1992.

- Government of United Kingdom, "Conformity of Production", [www.vca.gov.uk](http://www.vca.gov.uk), 6 Desember 2009, 21:05.
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup, "KEPMEN NO 05 Tahun 2006" kepmen\_05-2006.pdf, 2 Desember 2009.
- Kerliger, F.N, "Foundation of Behavioral Research", 2nd ed, Holt, Rinehart and Winsto Inc, 1973.
- Krejcie R.V, and Morgan D.W, "Determining Sample for Research Activities", Educational and Psychological Measurement, 1970.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia, "KEPMEN NO 141 Tahun 2003", KEPMEN\_NO\_141\_TH\_2003.pdf, 2 Desember 2009.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia, "KM 9 Tahun 2004", sertifikasi\_tahun\_2004.pdf, 3 Desember 2009.
- Moh. Nasir, "Metode Penelitian", cetakan keenam, Ghalia Indonesia, 2005.
- Rocoe 1975, dalam Sekaran Uma, "Research Methods for Business-A Building Approach", Edisi ke-2 John Willey and Son Inc, 1992.
- Sekaran Uma, "Research Methods for Business-A Building Approach", Edisi ke-2, John Willey and Son Inc, 1992.
- Singarimbun M. dan Efendi S, "Metode Penelitian Survey", PD Mahkota, 1989.
- Sugiyono, "Statistik Untuk Penelitian", cetakan keempat, CV ALFABETA, 2002.
- TISI-R-PC-01, "Criteria for Product Certification", 4 Maret 2009.
- [www.powerpoint-search.com/teori-sampling-ppt.html](http://www.powerpoint-search.com/teori-sampling-ppt.html), Metode Penelitian.

## ANALISIS RISIKO KEGAGALAN OPERASIONAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN MENGGUNAKAN *RISK FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*

Danung Isdarto

Magister Manajemen Teknologi, ITS Surabaya  
e-mail: skh\_danung@yahoo.com

### ABSTRACT

*RFMEA or Risk Failure Mode and Effect Analysis was a development or modification of FMEA form to be more focus in finding critical risk. This method requires Impact value gained from loss production cost and maintenance. Then the Likelihood value was gained from the quantity of failure occurrence during the research period, while the Detection value was taken from resources judgement. Then critical risk gained by the result of risk level matrix and conduct Risk Priority Number analysis using Pareto Diagram. Based on the research, from 44 failure modes identified resulting 14 critical failure modes of Coal Fired Steam Power Plant. By applying Focus Group Discussion, risk response to mitigate the Likelihood by various Preventive Maintenance program and mitigate the Impact by reducing the generation cost and down time were become the most chosen option. While risk response to accept the risks was chosen to variables that had Medium level risk outcome*

**Keywords:** Failure mode, Coal Fired Steam Power Plant operational, critical risk

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

PT.NNT merupakan perusahaan tambang mineral yang memiliki pabrik pembangkit listrik sendiri, selama hampir 15 tahun beroperasi telah mampu memasok energi listrik dengan rata-rata beban operasional sekitar 110MW perhari dengan mengoperasikan 4 unit PLTU berkapasitas sekitar 30MW per unit. Sebagai *back up* plant, PT.NNT juga mempunyai Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dengan kapasitas 5MW x 9 unit, yang hanya dipergunakan saat terjadi gangguan dan perawatan di PLTU. Dari data yang dimiliki rata-rata tahunan setiap unit mengalami 20 kali *start-stop*, dari yang seharusnya hanya sekitar empat kali untuk dilakukan perawatan terencana. Hal ini menjadi tugas Departemen *Power Plant* agar angka *start-stop* unit tersebut bisa dikurangi, selain untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik hal ini juga akan memperpanjang umur *equipment* itu sendiri.

PLTU yang terdiri dari banyak *equipment* yang saling berkaitan akan memiliki banyak mode kegagalan. Laporan kegagalan telah dibuat secara teratur semenjak awal beroperasi sampai sekarang sehingga bisa diteliti dengan baik. Berbagai kerugian ditanggung sebagai akibat dari kegagalan operasional ini sampai dengan terganggunya pabrik pengolahan material sehingga tidak bisa menghasilkan mineral berharga. Semakin besar risiko yang akan ditanggung jika kegagalan tersebut memberikan dampak yang signifikan. Dari banyaknya mode kegagalan yang pernah terjadi di PLTU PT.NNT, menarik untuk dilakukan penelitian dalam menentukan risiko kritical sehingga penyebab dan penanggulangannya dapat dicari.

#### Permasalahan

Dari latar belakang yang telah dipaparkan diatas maka dirumuskan permasalahan-permasalahan sebagai berikut:

1. Risiko kritical apa yang mempengaruhi operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap di PT.NNT?
2. Tindakan penanganan apa yang harus dilakukan atas risiko kritical yang terjadi?

#### Tujuan Penelitian

Dengan menggunakan metode RFMEA untuk mengevaluasi laporan kegagalan dan data operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap di PT.NNT, penelitian ini mempunyai tujuan, yaitu:

1. Menentukan risiko kritical beserta level risiko yang terjadi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap di PT.NNT
2. Menentukan *risk response* sebagai tindakan penanganan atas risiko kritical yang terjadi

#### Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup kajian pada penelitian yang akan dilaksanakan ini, dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Pengambilan data dilakukan pada unit pertama, dengan menggunakan data operasional dari tahun 2000 sampai dengan 2013.

2. Tingkat dampak keparahan atau *impact* akan ditentukan dari *loss production* selama unit berhenti beroperasi. Hal ini dilakukan karena dari lama waktu unit berhenti beroperasi merupakan rentang waktu PLTU tidak bisa memberikan pasokan listrik dengan cukup, sehingga harus di *back-up* dengan pembangkit diesel. Biaya pembangkitan dari pembangkit diesel inilah yang akan digunakan untuk menentukan nilai *impact*.
3. Karena keterbatasan data, faktor biaya untuk perbaikan selama terjadinya kegagalan akan diperoleh dari wawancara dengan narasumber yang kompeten dan berdasarkan praktek normal yang sering dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

### Kajian Pustaka

#### Pembangkit Listrik Tenaga Uap

PLTU PT.NNT memiliki beberapa komponen utama antara lain *Boiler, Turbine, Generator, Condenser, Feed water pump* dan *Heat exchanger* yang terintegrasi menjadi satu kesatuan sistem yang bekerja untuk menghasilkan energi listrik.

*Boiler* digunakan untuk merubah air menjadi uap dengan suhu mencapai 500°C dengan tekanan 8000kPa. Uap kering inilah yang digunakan untuk menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator sehingga energi listrik bisa dihasilkan. Demikian seterusnya setelah uap digunakan pada turbin akan dikondensasikan di dalam kondenser dan diumpankan kembali ke *Boiler* oleh *Feed water pump* melalui beberapa *Heat exchanger*.

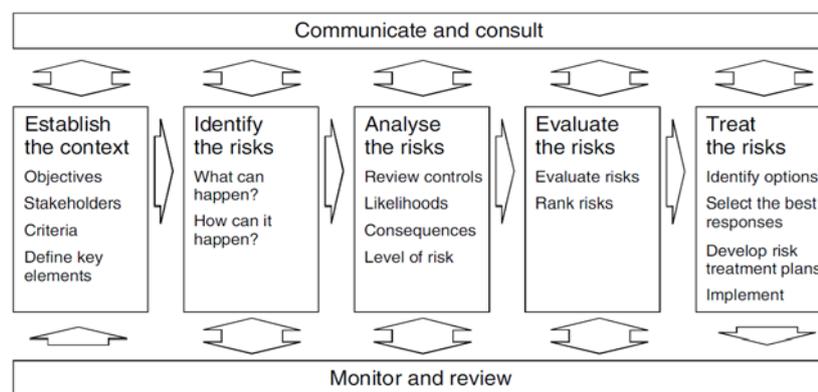
#### Manajemen Risiko

Dalam ilmu manajemen proyek, *risk* atau risiko adalah suatu ukuran dari kemungkinan dan konsekuensi atas tidak tercapainya tujuan suatu proyek, sedangkan analisa risiko sendiri adalah proses sistematis untuk mengestimasi tingkatan risiko yang telah diidentifikasi (Kerzner, 2009). Risiko kritical bisa didefinisikan sebagai kemungkinan, signifikan, *near-term risk* yang menyebabkan suatu proyek gagal jika tidak dimitigasi (Dorofee dkk, 1996), dari kata signifikan inilah yang menjadikan risiko tersebut disebut dengan kritical.

Dikaitkan kedalam konteks operasional pabrik pembangkit yang bertujuan untuk memproduksi energi listrik, tidak tercapainya tujuan disini adalah disebabkan terganggunya proses produksi oleh suatu kegagalan. Kegagalan itu sendiri didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu asset untuk melakukan sesuatu sesuai dengan keinginan pengguna (Moubray, 1997).

#### Proses Manajemen Risiko

Proses manajemen risiko adalah aplikasi sistematis, prosedur dan praktik untuk tugas dalam mengidentifikasi, menganalisa, mengevaluasi, melakukan perlakuan, memantau dan mengkomunikasikan risiko. Tujuan dari manajemen risiko adalah untuk mengidentifikasi dan mengelola risiko yang signifikan. Manajemen risiko melibatkan beberapa fase kunci, dengan umpan balik melalui proses pemantauan dan peninjauan (Cooper dkk, 2005). Berdasarkan standar Australia dan New Zealand (AS/NZS 4360), manajemen risiko terdiri dari lima tahap proses yang bisa dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Proses Manajemen Risiko Proyek (Cooper dkk, 2005)

Identifikasi risiko adalah proses untuk menentukan kejadian apa saja yang bisa mempengaruhi tujuan proyek, dan bagaimana kejadian tersebut bisa terjadi. Informasi yang digunakan dalam proses identifikasi risiko bisa meliputi *historical data*, analisa teoritis, data empiris dan analisa, pendapat dari tim proyek dan para ahli, dan perhatian para pemangku kepentingan (Cooper dkk, 2005).

Evaluasi risiko adalah proses membandingkan risiko yang telah diestimasi dengan kriteria risiko yang diberikan untuk menentukan signifikansi dari suatu risiko (Cooper dkk, 2005). Proses penilaiannya meliputi

menentukan konsekuensi dari masing-masing risiko, menilai kemungkinan dari konsekuensi akan terjadi, konversi rating konsekuensi dan kemungkinan menjadi prioritas awal risiko kemudian yang terakhir adalah mengembangkan prioritas risiko yang telah disetujui beserta levelnya.

Menurut Cooper dkk, tujuan dari perlakuan risiko adalah untuk menentukan apa yang akan dilakukan sebagai respon dari risiko yang sudah diidentifikasi. Perlakuan risiko mengubah analisa awal menjadi aksi nyata untuk mengurangi risiko. Beberapa strategi untuk perlakuan risiko yang sering membantu dalam menentukan respon risiko diantaranya,

1. Pencegahan risiko (*Risk prevention*)
2. Mitigasi dampak (*Impact mitigation*)
3. Membagi risiko (*Risk sharing*)
4. Asuransi (*Insurance*)
5. Menyimpan risiko (*Risk retention*)

#### **Failure Mode and Effect Analysis**

FMEA adalah metode sistematis dalam menganalisis dan meranking risiko sehubungan dengan beragam mode kegagalan produk atau proses, membuat prioritas untuk melakukan tindakan perbaikan pada ranking tertinggi dan melakukan evaluasi sampai hasil perbaikan bisa diterima (Barends, Oldenhof, & Nauta, 2012). Mode kegagalan bisa didefinisikan sebagai suatu kejadian yang mungkin terjadi yang menyebabkan asset (sistem atau proses) gagal, lebih tepatnya lagi mode kegagalan adalah kejadian yang menyebabkan sebuah kegagalan fungsional (Moubray, 1997).

Suatu mesin atau *equipment* bisa gagal dengan beberapa penyebab. Jadi untuk kegagalan suatu pabrik atau *plant* yang memiliki banyak *equipment* maka mode kegagalannya akan semakin banyak. Untuk mempermudah identifikasi dari banyaknya mode kegagalan, bisa dilakukan pengkategorian mode kegagalan. Bisa dari sistem atau *equipment*, namun pada penelitian ini akan lebih mudah dengan menggunakan kategori sistem.

RFMEA atau *Risk Failure Mode and Effects Analysis* adalah pengembangan atau modifikasi dari format FMEA untuk bisa lebih fokus dalam mencari risiko kritikal. Adanya penambahan nilai *Risk Score* yang kemudian dipotongkan dengan nilai *Risk Priority Number* akan mendapatkan risiko kritikal sesuai dengan apa yang diharapkan pada penelitian ini.

Mode kegagalan dengan nilai deteksi yang tinggi bisa termasuk dalam risiko kritikal, jadi tidak hanya berdasarkan pada nilai *Risk Score* saja yang dalam manajemen risiko didapatkan dari nilai *Probability* dan *Impact*. Dari nilai *Detection* yang tinggi ini bisa memberikan informasi bagaimana agar mode kegagalan tersebut bisa ditangani dengan mencari cara untuk bisa melakukan deteksi awal agar kerugian yang diterima bisa dikurangi, atau ada persiapan untuk menghadapi mode kegagalan tersebut.

#### **Focus Group Discussion**

Fokus group adalah diskusi yang terencana terdiri dari beberapa orang (4-12 orang) yang merupakan para pemangku kepentingan yang difasilitasi oleh moderator yang terlatih (Slocum, 2005). Hal ini didesain untuk mendapatkan informasi dari preferensi seseorang dan nilai yang sesuai dengan topik yang telah ditentukan. Maka dari itu fokus group bisa dilihat sebagai kombinasi antara wawancara terfokus dan diskusi group. Bagaimana memilih anggota, usahakan group mewakili target yang diinginkan, para anggota sudah saling mengetahui satu sama lain, kemudian pilih orang yang bisa berkomunikasi dengan efektif.

#### **Penelitian Terdahulu**

##### **Project Risk Management Using The Project Risk FMEA**

Di tahun 2004 Carbone & Tippet melakukan penelitian dengan memodifikasi format FMEA kedalam format Risk FMEA. Dengan mengambil latar belakang industri elektronik, dicari proses yang paling kritikal dalam pembuatan suatu perangkat elektronik. Dari nilai yang sudah ada pada format FMEA disisipkan lagi satu nilai yang biasa digunakan pada konsep manajemen risiko. Secara sederhana modifikasi form RFMEA seperti terlihat pada Tabel 1 dibawah ini

**Tabel 1.** Format RFMEA

<i>Typical FMEA Columns</i>	<i>Failure ID</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Occurrence</i>	<i>Severity</i>	<i>Detection</i>	<i>RPN</i>	
<i>Typical RFMEA Columns</i>	<i>Risk ID</i>	<i>Risk Event</i>	<i>Likelihood</i>	<i>Impact</i>	<i>Risk Score</i>	<i>Detection</i>	<i>RPN</i>

Sumber: Carbone & Tippet, 2004

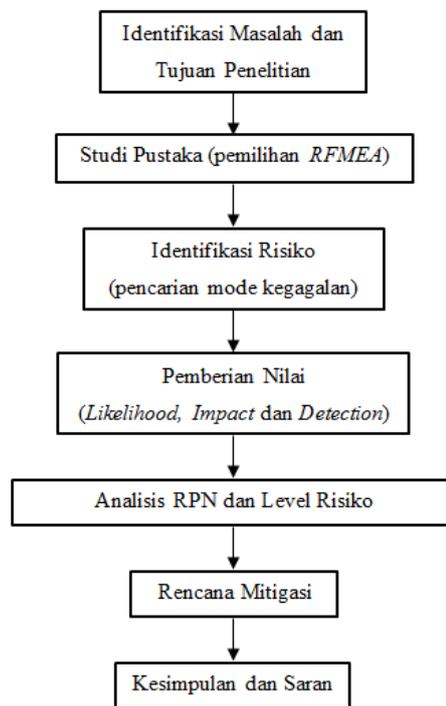
Standard FMEA memerlukan nilai *Occurrence*, *Severity* dan *Detection*, perkalian dari ketiga nilai tersebut akan menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Dengan format RFMEA ini ditambahkan nilai *Risk Score*, yaitu perkalian dari *Likelihood* dan *Impact*.

$$RPN = Likelihood * Impact * Detection \quad (1)$$

Dari berbagai risk event yang didapat, dibuatkanlah diagram *Pareto* untuk *Risk Score* dan *Risk Priority Number*. Sehingga didapatkan nilai kritikal dari kedua diagram *Pareto* tersebut

**METODE PENELITIAN**

Tahapan yang direncanakan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu :



**Gambar 2.** Tahapan Penelitian

**Identifikasi Risiko**

Risiko yang teridentifikasi dari data di lapangan dipergunakan sebagai variabel penelitian. Risiko ini adalah mode kegagalan operasional yang pernah terjadi selama kurun waktu penelitian. Di lakukan pengelompokan variabel berdasarkan kategori subsistem PLTU.

**Pemberian Nilai**

Pemberian rating dengan menggunakan skala 1 sampai dengan 5 dengan gambaran kondisi seperti pada Tabel 2 dibawah ini,

**Tabel 2.** Rating Skala Risiko

<i>Likelihood scale</i>	<i>Consequency scale</i>	<i>Rating</i>
<i>Almost certain</i>	<i>Catastrophic</i>	5
<i>Likely</i>	<i>Very high</i>	4
<i>Possible</i>	<i>Moderate</i>	3
<i>Unlikely</i>	<i>Low</i>	2
<i>Rare</i>	<i>Insignificant</i>	1

Sumber: Cooper dkk, 2005

Di tahap ini dilakukan pemberian tiga nilai yang diperlukan. Nilai *Likelihood* berdasarkan frekuensi kejadian suatu mode kegagalan, nilai *Impact* berdasarkan dampak dari suatu mode kegagalan.

Untuk menghitung kerugian dari masing-masing mode kegagalan dilakukan dengan menggunakan persamaan yang digunakan oleh Krishnasamy dkk. Selama waktu unit gagal beroperasi, dilihat berapa daya yang tidak bisa dihasilkan oleh pembangkit unit pertama ini dari data *Daily log*, yang sebenarnya digantikan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel atau Diesel Plant dengan konsumsi minyak solar yang bisa dihitung. *Estimation of Production Loss Cost* menggunakan persamaan dibawah ini,

$$PLC = DT \cdot PL \cdot SP \quad (2)$$

Dengan:

- DT = *Down time*,  
PL = *Production loss in Mega Watt hour*  
SP = *Selling price of generated electricity*

Pada penelitian ini *Selling Price* diganti dengan biaya *fuel* per *Mega Watt hour* yang digunakan untuk pembangkit diesel sebagai *back up* dikurangi dengan biaya batu bara per *Mega Watt hour* selama PLTU gagal beroperasi. Kemudian nilai PL adalah produksi daya *Mega Watt hour* dari PLTD selama *down time*.

Untuk biaya perbaikan selama terjadi kegagalan akan meliputi biaya tenaga kerja dan material dengan menggunakan persamaan *Estimation of Maintenance Cost* dibawah ini,

$$MC = C_f + DT \cdot C_v \quad (3)$$

Dengan:

- $C_f$  = *Fixed cost of failure (cost of spare parts)*  
DT = *Down time*  
 $C_v$  = *Variable cost per hour of down time (meliputi labor rate dan jumlahnya)*

Penentuan matrik untuk nilai *Likelihood* dan *Impact* didapatkan dengan melakukan *Focus Group Discussion*. Nilai *Detection* yaitu sebagai tingkat kemudahan mendeteksi suatu mode kegagalan akan terjadi didapatkan dari hasil kuesioner dengan narasumber yang kompeten.

#### **Tinjauan RPN dan Level Risiko**

RPN atau *Risk Priority Number* dianalisa dengan menggunakan diagram *Pareto*. Dengan analisa ini akan didapatkan risiko yang masuk dalam kategori kritikal berdasarkan nilai RPN. Pemberian ranking dari hasil RPN dilakukan secara sederhana dengan mempertimbangkan *severity* terlebih dahulu, kemudian diikuti dengan *occurrence* (Lipol & Haq, 2011).

Untuk mengetahui level risiko ditentukan berdasarkan matrik risiko. Variabel penelitian yang masuk dalam kategori kritikal berdasarkan RPN dan level risiko dengan tingkat Ekstrem, Tinggi dan Sedang disimpulkan menjadi risiko kritikal atas kegagalan operasional PLTU unit pertama.

#### **Rencana Mitigasi**

Pada tahap ini dilakukan *Focus Group Discussion* untuk mendapatkan rencana mitigasi sebagai *risk response plan* atas risiko kritikal yang telah diketahui. Pada dasarnya ada dua strategi untuk mengurangi risiko, yang pertama adalah dengan mengurangi kemungkinan terjadinya peristiwa tersebut dan atau mengurangi dampak dari peristiwa tersebut (Gray & Larson, 2011)

## **PEMBAHASAN**

Dari data laporan kegagalan dan *trip event log* unit pertama PLTU PT.NNT didapatkan 47 mode kegagalan operasional. Mode kegagalan ini menjadi variabel yang akan dinilai untuk mencari variabel mana yang menjadi risiko kritikal. Perlu dilakukan pengkategorian mode kegagalan agar lebih mudah melihat hubungan dan urutan mode kegagalan tersebut dengan kegagalan operasional unit.

Klasifikasi sistem pembangkit listrik tenaga uap terbagi atas 9 subsistem (Krishnasamy, Khan, & Haddara, 2005), hal ini dijadikan sebagai acuan untuk menentukan kategori variabel kegagalan operasional pembangkit listrik. Dibawah ini adalah kategori variabel yang dipergunakan dalam penelitian ini dengan mengikuti klasifikasi subsistem dari penelitian terdahulu

- A. Kegagalan pada *Steam generator*
- B. Kegagalan pada *Air and Flue gas*
- C. Kegagalan pada *Fuel oil*
- D. Kegagalan pada *Turbine*
- E. Kegagalan pada *Generator*
- F. Kegagalan pada *Condenser*
- G. Kegagalan pada *LP Feed Water System*
- H. Kegagalan pada *HP Feed Water System*

I. Kegagalan pada *Instrument and Service Air*

**Pengolahan dan Analisis Data**

*Focus Group Discussion* (FGD) dilakukan untuk verifikasi mode kegagalan dengan diikuti oleh para pemegang jabatan struktural di Power Plant yang juga merupakan narasumber ahli mengenai seluk beluk operasional PLTU khususnya di PT.NNT. Ada 3 variabel risiko yang dikeluarkan karena di dalam proses FGD diketahui bahwa ketiga variabel tersebut merupakan kondisi yang bukan menjadi tanggung jawab power plant dan juga diantaranya merupakan fungsi proteksi untuk keberlangsungan operasional pabrik.

Hasil FGD untuk matriks rating *Likelihood* seperti pada Tabel 3 dibawah ini, sedangkan nilai probabilitas dihitung dari kejadian tiap mode kegagalan dibagi dengan total jumlah kejadian dari data survey pendahuluan dan ditampilkan untuk memberikan gambaran bahwa prosentase kejadian pada masing-masing rating yang relatif kecil.

**Tabel 3. Likelihood Rating**

Rating	Kejadian	Probabilitas
1	1 – 2	0 – 0,011
2	3 – 10	0,017 – 0,056
3	11 – 20	0,062 – 0,112
4	21 – 40	0,118 – 0,225
5	Lebih dari 40	Lebih dari 0,225

Sumber: Hasil FGD

Kemudian untuk menentukan nilai *impact* didapatkan melalui perhitungan biaya pembangkitan pada daya rata-rata harian normal dengan menggunakan rating durasi gangguan mengikuti standard PT.NNT *Departemen Power Plant*. Melalui FGD menghasilkan rating *Impact* seperti Tabel 4 dibawah ini.

**Tabel 4. Nilai Impact**

Rating	Biaya	Durasi Gangguan
1	Kurang dari \$5.000	Kurang dari 2 jam
2	\$5.000 s/d kurang dari \$25.00	2 s/d kurang dari 8 jam
3	\$25.000 s/d kurang dari \$250.00	8 s/d kurang dari 48 jam
4	\$250.000 s/d kurang dari \$1.200.000	48 s/d kurang dari 240 jam
5	Lebih dari \$1.200.000	240 jam keatas

Sumber: Hasil FGD

Pemberian nilai *Impact* bisa dilihat dari besarnya biaya yang ditanggung atau lamanya gangguan terjadi dan dipilih mana yang memberikan nilai terbesar. Kemudian dari hasil FGD juga disepakati untuk tetap menggunakan rating skala risiko yang berlaku di PT.NNT seperti Tabel 5 dibawah ini.

**Tabel 5. Matrik Level Risiko**

Kemungkinan	Konsekuensi				
	1	2	3	4	5
5	Tinggi	Tinggi	Ekstrem	Ekstrem	Ekstrem
4	Sedang	Tinggi	Tinggi	Ekstrem	Ekstrem
3	Rendah	Sedang	Tinggi	Ekstrem	Ekstrem
2	Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Ekstrem
1	Rendah	Rendah	Sedang	Sedang	Tinggi

Sumber: Newmont - Global HSLP Risk Champions Team, 2012

Kemudian untuk nilai *Detection* yang didapatkan melalui pembagian kuesioner. Sebanyak 17 responden yang kredibel terdiri dari personel yang setiap harinya melakukan fungsi *monitoring* dan mengendalikan pabrik yaitu *Control room operator*, *Specialist operation* yang merupakan personel ahli dalam mengendalikan PLTU beserta *Supervisor* dari kedua posisi responden tersebut. Kriteria pemberian nilai deteksi mengikuti pedoman penelitian terdahulu seperti pada Tabel 6 dibawah ini

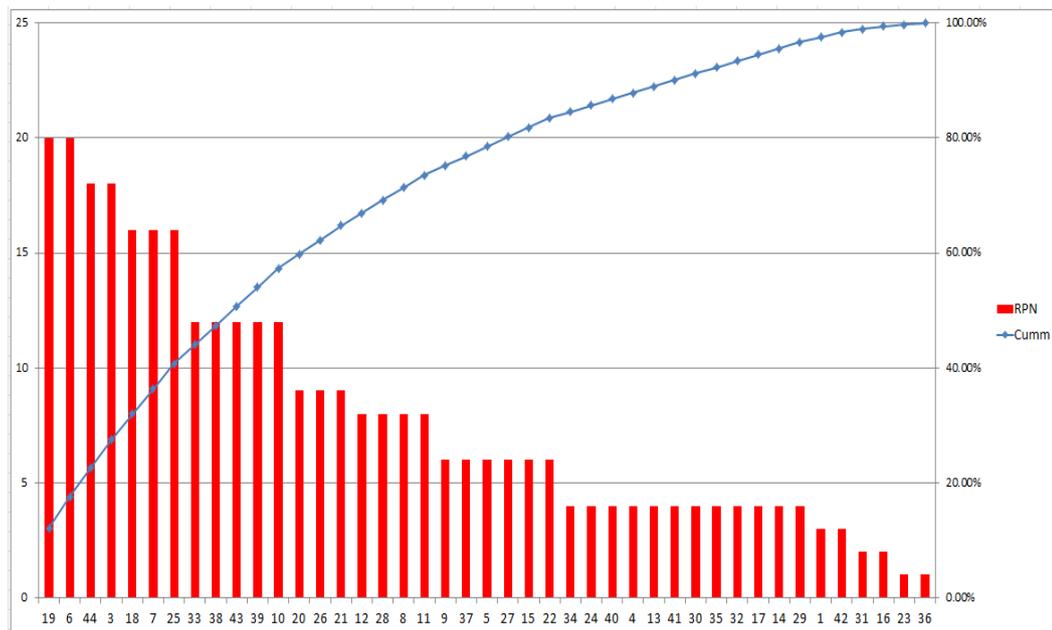
**Tabel 6. Detection Number Guidelines**

Rating	Guidelines
5	Tidak ada metode deteksi yang tersedia atau diketahui yang akan memberikan peringatan dengan waktu yang cukup untuk merencanakan <i>contingency</i>
4	Metode deteksi belum terbukti atau terpercaya, atau tingkat keefektifan dari metode deteksi belum bisa terukur dengan waktu
3	Metode deteksi memiliki tingkat keefektifan yang sedang
2	Metode deteksi memiliki tingkat keefektifan yang cukup tinggi
1	Metode deteksi sangat efektif dan hampir pasti bahwa risiko bisa dideteksi dengan waktu yang cukup

Sumber: Carbone & Tippet, 2004

### Risiko Kritisal

Dari hasil nilai RPN dan level risiko, maka di lanjutkan dengan analisa menggunakan Diagram *Pareto* untuk nilai RPN. Didapatkan 23 variabel yang masuk pada daerah kritisal seperti yang tertera pada Diagram *Pareto*, Gambar 3 dibawah ini.



**Gambar 3.** Diagram *Pareto* RPN

Kemudian dari hasil analisa matrik level risiko, 12 variabel memiliki level risiko Sedang dan dua variabel memiliki level risiko Tinggi. Dua level risiko tersebut perlu untuk dilakukan penanganan lebih lanjut agar level risikonya bisa diturunkan, sehingga dari analisa matrik level risiko total ada 14 variabel yang perlu ditindaklanjuti. Jika digabungkan hasil dari analisa RPN dengan matrik level risiko, dua variabel dengan level Tinggi dan 12 variabel dengan level Sedang ini semuanya masuk kedalam 23 variabel kritisal yang dihasilkan dari analisa RPN.

Sehingga dengan mengkombinasikan antara Level Risiko dengan RPN, maka 9 variabel dengan level Rendah dikeluarkan dari kategori kritisal karena level risikonya sudah bisa diterima. Sehingga dihasilkan 14 variabel yang masuk kedalam kategori kritisal. Dengan hasil analisa Pareto RPN seperti diatas, maka risiko kritisal yang terjadi sekilas hanya berdasarkan dari hasil level risiko saja dengan level Tinggi dan Sedang. Berikut ini adalah list tabel variabel yang masuk dalam kategori kritisal

Tabel 7. Risiko Kritikal

Kode	Variabel	L	I	D	RS	RPN	Rank	Risk Level
V2	Jika terjadi kebocoran pada pipa boiler (Tube leak) dan unit mati selama 106,2 jam dengan kerugian \$363.320	2	4	3	8	24	1	Tinggi
V44	Jika Mill Swing valve bermasalah dan unit mati selama 4,6 jam dengan kerugian \$9.798	3	2	3	6	18	4	Sedang
V3	Jika furnace pressure trip dan unit mati selama 2,2 jam dengan kerugian \$8.075	3	2	3	6	18	5	Sedang
V33	Jika condenser kotor dan unit mati selama 11,5 jam dengan kerugian \$34.324	4	3	1	12	12	9	Tinggi
V38	Jika pompa boiler bermasalah dan unit mati selama 14,9 jam dengan kerugian \$51.395	2	3	2	6	12	10	Sedang
V43	Jika AUMA drive bermasalah dan unit mati selama 14,7 jam dengan kerugian \$28.384	2	3	2	6	12	11	Sedang
V39	Jika motor pompa boiler bermasalah dan unit mati selama 9,9 jam dengan kerugian \$46.085	2	3	2	6	12	12	Sedang
V10	Jika FD fan mati karena <i>eletrical fault</i> dan unit mati selama 4,5 jam dengan kerugian \$30.243	1	3	4	3	12	13	Sedang
V20	Jika Hydrostatic Pump bermasalah dan unit mati selama 5,1 jam dengan kerugian \$33.921	1	3	3	3	9	14	Sedang
V26	Jika Turbin trip karena Low-low pressure Hydraulic dan unit mati selama 7,1 jam dengan kerugian \$30.140	1	3	3	3	9	15	Sedang
V21	Jika ESV bermasalah dan unit mati selama 7 jam dengan kerugian \$25.500	1	3	3	3	9	16	Sedang
V9	Jika suhu <i>bearing</i> motor FD fan tinggi dan unit mati selama 20,4 jam dengan kerugian \$38.081	1	3	2	3	6	21	Sedang
V37	Jika pompa boiler trip karena Min flow valve not open dan unit mati selama 17,2 jam dengan kerugian \$8.352	1	3	2	3	6	22	Sedang
V5	Jika bottom ash conveyor bermasalah dan unit mati selama 12,7 jam dengan kerugian \$16.402	1	3	2	3	6	23	Sedang

Sumber: Penilaian Risiko Unit Pertama

*Focus Group Discussion* kembali dilakukan untuk mencari respon risiko yang bisa dilakukan atas risiko kritikal tersebut. Strategi awal untuk menurunkan kemungkinan kejadian adalah dengan program PM atau *Preventive Maintenance* yang biasanya termasuk didalamnya melakukan inspeksi dan perbaikan atas temuan kerusakan tersebut. Dari hasil FGD tidak ada pendapat untuk memodifikasi interval PM.

Kemudian PTNNT secara keseluruhan, telah memiliki list *equipment* dan material yang dianggap kritikal sehingga beberapa equipment dan material tersebut telah distock di *warehouse* yang dijaga agar selalu siap jika dibutuhkan. Hal ini merupakan bagian dari respon risiko dari awal perusahaan beroperasi untuk memperpendek durasi perbaikan. Kedua praktek diatas tidak dimasukkan kedalam respon risiko pada penelitian ini, karena sudah menjadi tindakan normal sehingga diperlukan tindakan lainnya agar level risiko bisa diturunkan lagi. Dibawah ini adalah hasil dari FGD untuk dua risiko kritikal dengan level Tinggi. Mitigasi yang dihasilkan untuk nilai *Likelihood*, *Impact* dan *Detection* bisa diketahui dari penjelasan pada kondisi akhir

**Tabel 8.** Respon Risiko Kritisal

Code	Risk Event	Kondisi Awal				Kondisi Akhir			
		L	I	D	Risk Level	L	I	D	Risk Level (note)
V2	Tube leak, down time 106,2 hours with impact cost \$352.929	2	4	3	HIGH	1	4	2	MEDIUM
	Mitigation								
	Routine inspection (wall opening)								(Likelihood)
	Routine Sootblower inspection								(Likelihood)
	Water consumption analysis								(Detection)
	Phosphate consumption analysis								(Detection)
V33	Condenser fouling, down time 11,5 hours with impact cost \$33.174	4	3	1	HIGH	3	2	1	MEDIUM
	Mitigation								
	Regular PIT & pipe cleaning								(Likelihood)
	Ensure MGI system running correctly								(Likelihood)
	Condenser cleaning in parallel								(Impact)

Sumber: FGD

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variabel risiko kegagalan operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap di PTNNT unit 1 terdiri dari 44 mode kegagalan, yang terbagi menjadi sembilan kategori atau subsistem. Melalui metode RFMEA, didapatkan 14 variabel yang termasuk kedalam risiko kritisal yang memerlukan penanganan lanjutan.
2. Berdasarkan hasil FGD, tiga variabel (V2) *Tube Leak*, (V33) *Condenser Fouling* dan (V10) *FD Fan Fail-electric fault*, memberikan hasil akhir menerima risiko karena level Sedang sudah tidak bisa diturunkan lagi.
3. Level risiko 11 variabel lainnya yaitu (V44) *Mill Swing Valve Fail*, (V3) *Furnace Pressure Trip*, (V38) *Boiler Feed Pump Fail*, (V43) *AUMA Drive Fail*, (V39) *Boiler Feed Pump Motor Fail*, (V20) *Hydrostatic Pump Fail*, (V26) *Turbine Hydraulic Pressure Low*, (V21) *ESV Fail*, (V9) *FD Fan Motor Bearing Fail*, (V37) *BFP Min Flow Valve Fail* dan (V5) *Bottom Ash Conveyor Fail* bisa diturunkan dari level Sedang ke Rendah. Mitigasi dampak dilakukan dengan menjalankan *pompa booster* untuk mengurangi pembangkitan PLTD dan beberapa diantaranya dengan cara memperpendek durasi kegagalan. Satu variabel dengan respon risiko menghindari kemungkinan dipilih untuk variabel V44.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulisan penelitian ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. I Putu Artama MT, PhD atas bimbingan dan arahannya dalam penelitian ini
2. Manajemen PTNNT yang telah memberikan kesempatan dan data untuk menyelesaikan penelitian
3. Team operasional Power Plant PTNNT sebagai nara sumber yang kompeten untuk memberikan penilaian atas data yang dibutuhkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barends, D. M., Oldenhof, M. T., & Nauta, M. J. (2012). "Risk Analysis of Analytical Validations by Probabilistic Modification of FMEA". *Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol.64-65, hal.82-86.
- Carazas, F. G., & Souza, G. F. (2010). "Risk-Based Decision Making Method for Maintenance Policy Selection of Thermal Power Plant Equipment". *Energy*, Vol.35, hal.964-975.
- Carbone, T. A., & Tippet, D. D. (2004). "Project Risk Management Using the Project Risk FMEA". *Engineering Management Journal*, Vol.16, No.4.
- Cooper, D., Grey, S., Raymond, G., & Walker, P. (2005). *Project Risk Management Guidelines*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Dorofee, A. J., Walker, J. A., Alberts, C. J., Higuera, R. P., Murphy, L. R., & Williams, C. R. (1996). *Continuous Risk Management Guidebook*. Carnegie Mellon University.
- Gray, C., & Larson, E. (2011). *Project Management - The managerial process*. New York: Mc Graw Hill Inc.
- Kerzner, H. (2009). *Project Management - A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Krishnasamy, L., Khan, F., & Haddara, M. (2005). "Development of a Risk-Based Maintenance (RBM) Strategy for a Power-Generating Plant". *Loss Prevention in the Process Industries*, Vol.18, hal.69-81.
- Lipol, L., & Haq, J. (2011). "Risk Analysis Method: FMEA/FMECA in The Organizations". *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, Vol.11, No.05, hal.74-82.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance*. New York: Industrial Press Inc.
- Newmont - Global HSLP Risk Champions Team. (2012, September). HSLP Management System Guideline. *MS002-GL01-Operational Risk and Opportunity Management*.
- PMI. (2004). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Newtown Square: Four Campus Boulevard.
- Slocum, N. (2005, September). Participatory Methods Toolkit. A practitioner's Manual (Method: Focus Group). *A Joint Publication of The King Baudouin Foundation (viWTA)*. Belgian Advertising (B.AD).
- Stultz, S., & Kitto, J. (1992). *Steam / Its Generation and Use*. Barberton: The Babcock & Wilcox Company.
- www.eurelectric.org. (2011, December). Analysis Unavailability of Thermal Power Plants. *Power Statistics & Trends 2011*, hal. 18-20.

## PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIKA *SUPPLY CHAIN* DAUR ULANG KERTAS DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KETIDAKPASTIAN PENGEMBALIAN PRODUK DAN FAKTOR LINGKUNGAN

Asgar Ali<sup>1</sup>, Nur Aini Masruroh<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281  
Email: asgar456ali@gmail.com

### ABSTRACT

*Recycling is a part of green supply chain management to follow the development of environment concept, to response issue variety whose concern world environment problems. The purpose is to confine waste for energy economizing and restrain the discharge of dangerous matter to environment. However there is a challenge whose strung out complexity of supply chain recycling that is difficulty measurable of return product uncertainty and environment impact that is produced supply chain operation. Though, to manage supply chain complexity then produce better supply chain recycling activity. Because of thats, this study intents to formulate Multi-Objective Linear Programming mathematics model to maximize the profit that consider return product uncertainty and minimize exhaust gas emission from supply chain operation of used paper recycling. The product of this study is to point out a several strategies to do in order to adapt used paper quantity is collected each periods and restrain exhaust gas emission amount that is produced by supply chain used paper recycling.*

**Keywords:** *Recycle, environment, uncertainty, Multi-Objective Linear Programming.*

### PENDAHULUAN

Isu mengenai permasalahan lingkungan dunia telah menjadi perhatian dari berbagai pihak, terutama beberapa sektor yang terus tumbuh dan menjadi penyumbang turunnya kualitas lingkungan dunia. Beberapa sektor tersebut adalah proses industri, transportasi, limbah, produk pertanian, *power stations*, penggunaan lahan dan *biomass burning*, *fossil fuel*, perumahan, dan lain-lain. Tumbuhnya sektor tersebut disebabkan karena adanya peningkatan aktivitas sosial ekonomi manusia untuk dapat memenuhi kebutuhan sehari-hari manusia. Namun, limbah yang dihasilkan dari sektor-sektor tersebut berdampak negatif terhadap lingkungan, sehingga dapat mengancam keberlangsungan hidup manusia.

Bentuk perhatian untuk menjawab permasalahan lingkungan tersebut adalah dengan menerapkan aturan-aturan untuk melindungi lingkungan hidup. Hal tersebut berdampak pada perkembangan konsep industri yang berwawasan lingkungan (*green industries*) dalam setiap proses bisnisnya, yang kemudian pada bidang *supply chain* dikenal sebagai *Green Supply Chain Management* (GrSCM). GrSCM merupakan sebuah rantai pasok tradisional dengan penambahan kriteria-kriteria lingkungan di dalamnya (Gilbert, 2000; Rao & Holt, 2005; Srivastava, 2007; Ninlawan dkk, 2010), sehingga dapat membatasi limbah dalam sistem industri guna menghemat energi dan mencegah pembuangan bahan berbahaya ke lingkungan. Perusahaan memiliki beragam alasan untuk menerapkan GrSCM, mulai dari sekedar kebijakan yang bersifat reaktif hingga pendekatan yang bersifat proaktif untuk mendapatkan keunggulan kompetitif yaitu meningkatkan daya saing mereka melalui peningkatan kinerja ekonomi dan lingkungan (Pishvae & Razmi, 2012). Dampaknya perusahaan dapat meningkatkan *brand image* atas kepedulian terhadap lingkungan.

Berdasarkan organisasi *Zero Waste*, limbah merupakan indikator adanya ketidakefisiensian pada suatu perusahaan atau bisa disebut juga sumber daya yang tersembunyi. Oleh karena itu, dengan meminimasi limbah yang ada maka sebuah perusahaan dapat melakukan penghematan pada biaya. Limbah yang diungkapkan oleh organisasi ini dibagi menjadi lima, yaitu (1) *Zero emissions* (udara, tanah, air, limbah padat, limbah beracun), (2) *Zero waste of resources* (energi, bahan baku, manusia), (3) *Zero waste in activities* (administrasi, produksi), (4) *Zero use of toxic* (proses dan produk), (5) *Zero waste in product life-cycle* (transportasi, penggunaan, batas umur produk).

Daur ulang (*recycle*) yang merupakan bagian dari konsep GrSCM adalah salah satu cara untuk mengubah efek limbah yang negatif menjadi bahan baku untuk beberapa produk yang memiliki nilai fungsional yang positif dan menjadi sesuatu yang berguna bagi masyarakat (Srivastava, 2007; Ninlawan dkk, 2010). Daur ulang dapat memperpanjang penggunaan produk yang telah habis digunakan oleh konsumen sehingga dapat mengurangi limbah yang dibuang dan dapat meminimalkan penggunaan bahan baku yang baru untuk membuat produk baru. Hal ini dapat dilihat padabeberapa tahun terakhir, *reverse supply chain* yang merupakan bagian dari GrSCM juga ikut

menjadi salah satu topik penelitian yang menarik, khususnya dengan menambahkan total gas emisi yang dihasilkan dari rantai pasok tersebut. Hal ini dapat ditemukan dalam beberapa literatur antara lain Sheu (2008), Chaabane, dkk (2012), serta Tsai dan Hung (2009). Namun keseluruhan penelitian tersebut tidak mempertimbangkan ketidakpastian yang ada pada jaringan *reverse supply chain* masing-masing.

Alur *supply chain* dari proses daur ulang produk bekas dilakukan secara terbalik (*reverse supply chain*), dimana distribusi produk daur ulang dimulai dari konsumen, *warehouse*, dan pada akhirnya sampai pada perusahaan sebagai sebuah bahan baku untuk memproduksi produk baru (Hickford & Cherrett, 2007). Namun, operasi *reverse supply chain* tersebut mempunyai tantangan yang menyebabkan terjadinya kompleksitas yaitu ketidakpastian *return product* menjadi lebih sulit karena tidak ada data (distribusi) yang pasti mengenai produk karena kecepatan pengembalian produk yang sulit diukur (Hickford & Cherrett, 2007). Meski demikian, mengelola kompleksitas *supply chain* dapat menghasilkan kinerja rantai pasok yang lebih baik (Serdarasan, 2013).

Untuk itulah, penelitian ini bertujuan untuk membuat model matematika *Multi-Objective Optimization* dalam memaksimalkan keuntungan dan meminimalkan total emisi operasi *supply chain* daur ulang kertas bekas dengan mempertimbangkan ketidakpastian *return product*, serta mengevaluasi setiap strategi yang dapat digunakan untuk menghadapi ketidakpastian tersebut.

## METODE PENELITIAN

Dalam membuat model matematika yang optimal dengan lebih dari satu fungsi tujuan, maka digunakan *multi-objective linear programming* yang dikembangkan dari model sederhana *linear programming* untuk merumuskan model matematika. Pengembangan tersebut didasarkan pada beberapa fungsi tujuan yang harus diselesaikan secara bersama-sama.

*Linear programming* merupakan model umum yang dipilih karena karakteristiknya sesuai dengan permasalahan jaringan *supply chain* daur ulang kertas yang dihadapi. Dimana, *linear programming* menggunakan model matematika untuk menggambarkan suatu masalah yang meliputi perencanaan aktivitas untuk mendapatkan hasil yang terbaik (optimal) di antara semua kemungkinan alternatif yang mungkin terjadi (Hillier & Lieberman, 2005).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Formulasi Model

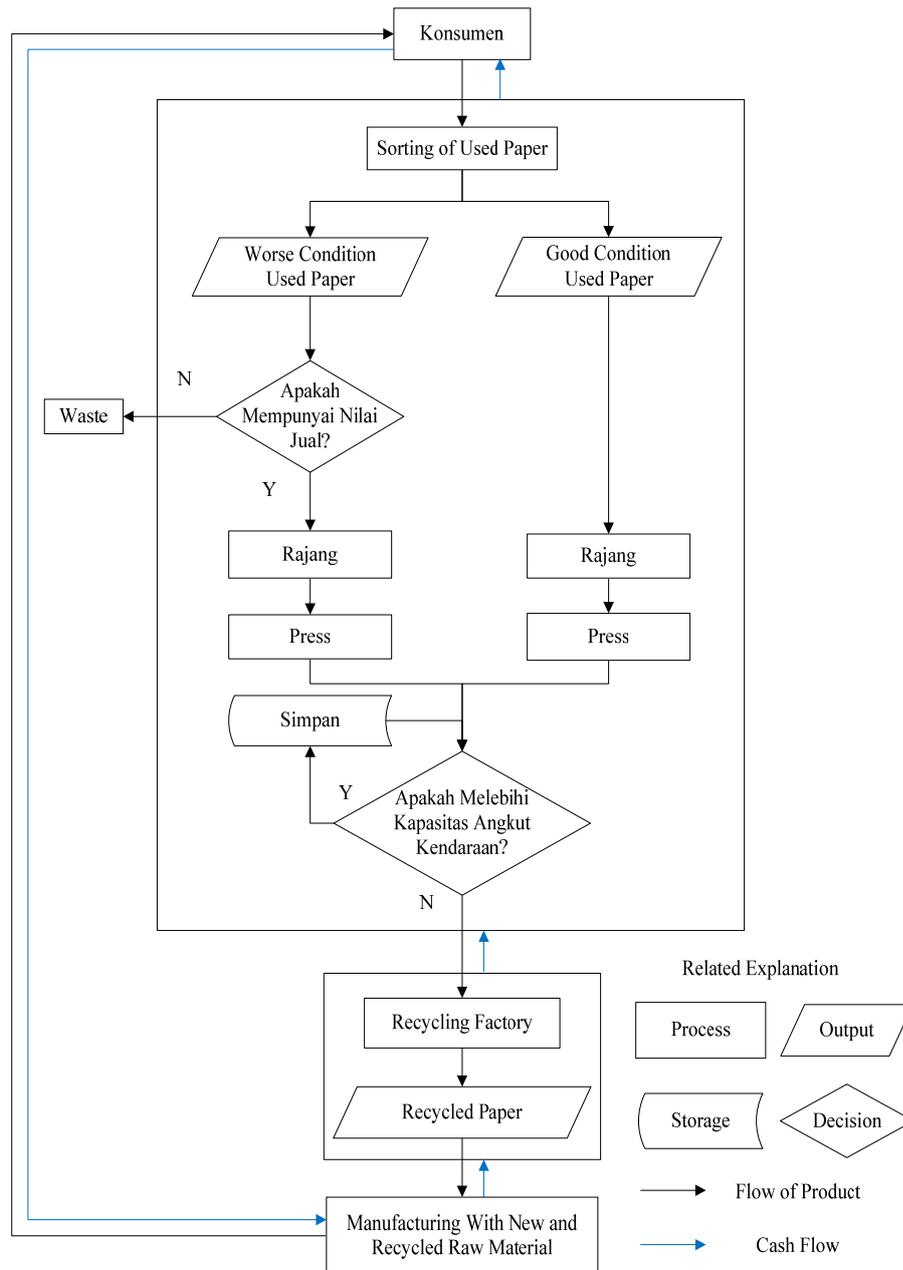
Notasi dari indeks, parameter dan variabel yang digunakan dalam membuat model *Multi-Objective Linear Programming* jaringan *supply chain* daur ulang kertas adalah sebagai berikut:

#### Indeks Model

$i$	Indeks dari jenis kertas bekas ( $i = 1, 2, 3, \dots, o$ )
$j$	Indeks dari konsumen ( $j =$ perkatoran, percetakan, rumah tangga)
$k$	Indeks dari manufaktur ( $k = 1, 2, 3, \dots, v$ )
$l$	Indeks dari kondisi kertas bekas ( $l =$ baik, tidak baik)
$m$	Indeks dari jenis kendaraan ( $m =$ truk ringan, truk sedang, truk berat)
$n$	Indeks dari jenis emisi gas buang ( $n = 1, 2, 3, \dots, z$ )
$w$	Indeks dari jenis periode waktu ( $w = 1, 2, 3, \dots, u$ )

#### Parameter Model

$p_i$	Biaya proses produksi kertas bekas $i$ (Rp/kg)
$f$	Biaya tenaga kerja (Rp/bulan/tenaga kerja)
$b_{jm}^{trans}$	Biaya transportasi pengumpulan kertas bekas dari konsumen $j$ dengan kendaraan $m$ (Rp/kg)
$b_{km}^{trans}$	Biaya transportasi pengiriman kertas bekas ke manufaktur $k$ dengan kendaraan $m$ (Rp/kg)
$h_i$	Biaya <i>handling</i> per kertas bekas $i$ di gudang (Rp/kg)
$h^{maks}$	Biaya <i>handling</i> maksimal yang telah ditetapkan (Rp)
$b_i^{beli}$	Harga beli kertas bekas $i$ dari konsumen $j$ (Rp/kg)
$b_{il}^{jual}$	Harga jual kertas bekas $i$ dalam kondisi $l$ yang telah diproduksi (Rp/kg)



Gambar 1. Jaringan Supply Chain Daur Ulang Kertas

- $g$  Jumlah tenaga kerja (orang)
- $\eta_{ij}$  Jumlah kertas bekas  $i$  yang dapat dikumpulkan dari konsumen  $j$  (kg)
- $c_n^{prod}$  Kapasitas waktu produksi kertas bekas yang tersedia (jam)
- $c_m^{kndr}$  Kapasitas angkut kendaraan  $m$  (kg)
- $c_{itvty}^{prod}$  Kapasitas gudang penyimpanan (kg)
- $t_i^{prod}$  Waktu proses produksi kertas bekas  $i$  (jam/kg)
- $d_{ij}^{prsh}$  Permintaan kertas bekas  $i$  oleh perusahaan dari konsumen  $j$  (kg)
- $d_{ikl}^{mfkr}$  Permintaan kertas bekas  $i$  dalam kondisi  $l$  oleh manufaktur  $k$  (kg)
- $s_{iw}$  Sisa kertas bekas  $i$  yang belum diproduksi pada periode ke  $w$  (kg)
- $\lambda_j$  Jarak antara perusahaan dengan konsumen  $j$  (km)
- $\mu_k$  Jarak antara perusahaan dengan manufaktur  $k$  (km)
- $e_{in}^{prod}$  Emisi gas buang  $n$  yang dihasilkan dari proses produksi kertas bekas  $i$  dalam kondisi  $l$  (gram/kg)
- $e_{mn}^1$  Emisi gas buang  $n$  yang dihasilkan oleh kendaraan  $m$  untuk mengumpulkan kertas bekas dari konsumen (gram/km)

- $e_{mn}^2$  Emisi gas buang  $n$  yang dihasilkan oleh kendaraan  $m$  untuk mengirimkan kertas bekas ke manufaktur (gram/km)  
 $el_n^{prod}$  Nilai ambang batas maksimal emisi gas buang  $n$  yang dihasilkan dari proses produksi kertas bekas (gram/bulan)  
 $el_{mnw}$  Nilai ambang batas maksimal emisi gas buang  $n$  yang dihasilkan oleh kendaraan  $m$  setiap periode  $w$  (gram/bulan)

Variabel

- $\chi_{ilw}$  Jumlah produk bekas  $i$  dalam kondisi  $l$  yang diproduksi pada periode  $w$  (kg)  
 $\delta_{ij}$  Jumlah produk bekas  $i$  yang dibeli dari konsumen  $j$  (kg)  
 $\theta_{ikl}$  Jumlah produk bekas  $i$  yang sudah diproduksi dalam kondisi  $l$  dijual ke manufaktur  $k$  (kg)

Model Pertama: Memaksimumkan Total Profit

Formulasi matematika pada persamaan (1) merupakan fungsi tujuan yang berkaitan dengan proses yang terjadi pada jaringan *supply chain* daur ulang kertas untuk mencapai keuntungan yang semaksimal mungkin. Profit yang diterima setiap periodenya didapat dari selisih antara pendapatan dengan total biaya produksi dan transportasi kertas bekas.

Max Total Profit

$$\begin{aligned}
 &= \sum_i \sum_k \sum_l b_{il}^{jual} \theta_{ikl} - \sum_i \sum_l p_i \chi_{ilw} - \sum_i \sum_j b_{ij}^{beli} \delta_{ij} \\
 &- \sum_i \sum_k \sum_l h_i (s_{iw} + (\chi_{ilw} + \chi_{ilw-1} - \theta_{ikl})) - fg - \sum_i \sum_l b_{jm}^{trans} \delta_{ij} \\
 &- \sum_i \sum_k \sum_l b_{km}^{trans} \theta_{ikl} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Persamaan (2) merupakan batasan model yang berkaitan dengan total biaya *handling* seluruh kertas bekas yang disimpan di gudang penyimpanan. Persamaan (3) merupakan waktu proses produksi yang terdiri dari proses *sorting*, rajang dan *press*. Persamaan (4) dan persamaan (5) berkaitan dengan kapasitas angkut kendaraan yang digunakan untuk mengumpulkan atau membeli kertas bekas dari kosumen dan untuk mengirimkan kertas bekas yang telah melalui proses *sorting*, rajang, dan *press* ke manufaktur. Persamaan (6) berkaitan dengan kapasitas maksimal kertas bekas yang dapat ditangani di gudang penyimpanan. Persamaan (7) berkaitan dengan jumlah masing-masing kertas bekas yang melalui proses produksi. Sedangkan persamaan (8) menunjukkan jumlah masing-masing kertas bekas yang dijual ke manufaktur.

$$\sum_i \sum_k \sum_l h_i (s_{iw} + (\chi_{ilw} + \chi_{ilw-1} - \theta_{ikl})) \leq h^{maks} \quad (2)$$

$$\sum_i t_i^{prod} \leq c^{Prod} \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j \delta_{ij} \leq c_m^{kndr} \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_k \sum_l \theta_{ikl} \leq c_m^{kndr} \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_k \sum_l (s_{iw} + (\chi_{ilw} + \chi_{ilw-1} - \theta_{ikl})) \leq c^{ivty} \quad (6)$$

$$\sum_l \chi_{ilw} \leq \sum_j (\delta_{ij} + s_{iw-1}) \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_k \sum_l \theta_{ikl} \leq \sum_l (\chi_{ilw} + \chi_{ilw-1}) \quad \forall i \quad (8)$$

Batasan yang terkait dengan permintaan kertas bekas dapat dilihat pada persamaan (9) yang berarti berapapun kertas bekas yang ada di masing-masing konsumen akan terserap oleh perusahaan.

Selain itu, terdapat juga persamaan (10) berarti berapapun produk bekas yang sudah diproduksi oleh perusahaan akan terserap oleh manufaktur.

$$\sum_i \delta_{ij} \geq \sum_i d_{ij}^{prsh} \quad \forall j \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_l \theta_{ikl} \geq \sum_i d_{ik}^{mfkr} \quad \forall k \quad (10)$$

**Model Kedua: Meminimalkan Emisi Gas Buang**

Fungsi tujuan yang kedua yaitu meminimalkan keseluruhan emisi gas buang yang dihasilkan dari proses yang terjadi pada jaringan *supply chain* daur ulang kertas untuk mencapai keuntungan. Emisi gas buang merupakan efek samping yang akan berdampak negatif pada lingkungan sekitar. Secara lengkap formulasi matematika dari fungsi tujuan tersebut dapat dilihat pada persamaan (11).

$$\text{Min Emisi Gas Buang} = \sum_i \sum_l \sum_n \chi_{ilw} e_{iln}^{prod} + \sum_j \sum_k \sum_m \sum_n (e_{mn}^1 \lambda_j + e_{mn}^2 \mu_k) \quad (11)$$

Fungsi tujuan tersebut mempunyai batasan yang berkaitan dengan nilai ambang batas emisi gas buang yang diperbolehkan. Pada persamaan (12) yaitu batasan yang berkaitan dengan nilai ambang batas emisi gas buang dalam proses produksi kertas daur ulang. Sedangkan persamaan (13) berkaitan dengan nilai ambang batas emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan yang digunakan oleh jaringan *supply chain* daur ulang kertas.

$$\sum_i \sum_l \sum_n \chi_{ilw} e_{iln}^{prod} \leq e_l^{prod} \quad (12)$$

$$\sum_j \sum_k \sum_m \sum_n (e_{mn}^1 \lambda_j + e_{mn}^2 \mu_k) \leq e_{lmnw} \quad (13)$$

**Solusi Model**

Setelah merumuskan model matematika, maka tahap selanjutnya adalah menemukan solusi optimal dari model matematika. Solusi optimal dari model tersebut didapatkan dengan cara memasukkan data-data yang telah dikumpulkan menggunakan *solver* di dalam *software* Microsoft Excel pada model matematika *supply chain* rantai pasok daur ulang kertas. Pada jaringan *supply chain* daur ulang kertas yang dimulai dari proses pengumpulan kertas bekas yang ada di konsumen, menunjukkan bahwa berapapun kertas bekas yang ada di konsumen akan terserap oleh perusahaan. Namun, kapasitas angkut 5 kendaraan jenis truk kecil yang digunakan untuk mengumpulkan kertas bekas sebanyak 8 kali dalam satu bulan yaitu 60.000 kg, dapat membatasi kemampuan untuk menyerap seluruh kertas bekas yang ada.

**Tabel 1.** Kertas Bekas yang Dikumpulkan dari Masing-Masing Konsumen

Jenis Kertas Bekas	Perkantoran (Kg)	Percetakan (Kg)	Rumah Tangga (Kg)
HVS	3295	0	0
Koran	0	3799	0
Arsip	20985	0	0
Art Paper	523	0	0
Ivory	1355	0	0
Marga	0	0	813
Mix/As	0	0	12512

Tabel 1 menunjukkan jumlah masing-masing jenis kertas bekas yang dikumpulkan dari masing-masing konsumen, yang jumlah secara keseluruhannya adalah 43.282 kg. Dengan biaya transportasi untuk mengumpulkan masing-masing kertas bekas per kg dari konsumen dan biaya untuk membeli masing-masing kertas bekas tersebut, maka didapatkan biaya transportasi sebesar Rp. 1.298.460 serta biaya untuk membeli masing-masing kertas bekas tersebut adalah sebesar Rp. 103.749.700. Biaya transportasi untuk mengumpulkan masing-masing jenis kertas bekas dari masing-masing konsumen berpengaruh secara langsung terhadap solusi optimal tersebut. Sehingga perubahan terhadap biaya transportasi akan merubah solusi optimal tersebut. Namun perubahan yang terjadi hanyalah tempat

pengumpulan kertas bekas tersebut. Dimana, masing-masing jenis kertas bekas tersebut akan lebih difokuskan ke konsumen dengan biaya transportasi yang paling rendah.

Proses transportasi untuk mengumpulkan kertas bekas dari konsumen mempunyai kaitan dengan pembelian kertas bekas, karena berdasarkan jumlah kertas bekas yang dikumpulkan merupakan kertas bekas yang dibeli sesuai dengan harga beli masing-masing kertas bekas tersebut. Oleh karena itu, apabila terjadi peningkatan atau penurunan harga beli masing-masing kertas bekas, maka kondisi tersebut tidak akan mempengaruhi jumlah kertas yang dibeli. Perubahan hanya terjadi pada biaya yang dikeluarkan untuk membeli seluruh kertas bekas dan profit yang akan didapatkan. Jika terjadi kenaikan harga beli kertas bekas dari konsumen, maka biaya beli seluruh kertas bekas tersebut mengalami peningkatan dan profit yang diterima berkurang. Sebaliknya, Jika terjadi penurunan harga beli kertas bekas dari konsumen, maka biaya beli seluruh kertas bekas tersebut akan berkurang dan profit yang diterima semakin bertambah. Selain biaya transportasi dan harga beli masing-masing jenis kertas bekas, perubahan jumlah kertas bekas yang dikumpulkan dari konsumen juga akan mempengaruhi solusi optimal. Perubahan yang terjadi merupakan perubahan komposisi kertas bekas yang dikumpulkan dari konsumen, jumlah kertas bekas yang diproduksi, serta jumlah kertas bekas yang dikirimkan dan dijual ke manufaktur. Semakin banyak jumlah kertas bekas yang dikumpulkan, maka akan berpengaruh pada kapasitas kendaraan yang menjadi tidak feasible. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi kondisi tersebut maka intensitas penggunaan kendaraan untuk mengumpulkan kertas bekas tersebut dapat ditingkatkan, sehingga kapasitas angkut kendaraan setiap bulannya juga dapat meningkat ( $> 60.000$  kg).

Proses produksi kertas bekas yang terdiri dari proses *sorting*, rajang dan *press* mempunyai kapasitas waktu produksi adalah 384 jam per bulan. Dengan menggunakan seluruh waktu yang tersedia, jumlah keseluruhan kertas bekas yang melalui proses produksi adalah 14.222 kg dari 43.282 kg kertas bekas yang tersedia. Pada tabel 2, hanya kertas bekas jenis ivory, marga, serta *mix/as* yang tidak diproduksi serta terdapat sejumlah kertas bekas jenis arsip dalam kondisi tidak baik yang masih dapat dijual dengan harga yang rendah. Sedangkan terdapat 17 kg kertas bekas dalam kondisi tidak baik yang memang tidak mempunyai nilai jual sehingga harus dibuang. Oleh karena itu, jumlah kertas bekas yang melalui proses produksi mengalami penyusutan menjadi 14.205 kg. Dengan biaya sebesar Rp. 200 per kg untuk masing-masing jenis kertas bekas yang diproduksi, maka total biaya produksi yang dibutuhkan adalah sebesar Rp. 2.844.444.

**Tabel 2.** Kertas Bekas yang Telah Melalui Proses Produksi

Jenis Kertas Bekas	Kondisi Baik (Kg)	Kondisi Tidak Baik (Kg)
HVS	3295	0
Koran	3799	0
Arsip	3302	3286
Art Paper	523	0
Ivory	0	0
Marga	0	0
Mix/As	0	0

Biaya produksi kertas bekas per kg yang pada kondisi aktual yaitu Rp. 200 untuk seluruh jenis kertas bekas, tidak akan mempengaruhi jumlah dari masing-masing jenis kertas bekas yang diproduksi atau sama dengan kondisi aktual apabila mengalami penurunan biaya produksi. Namun perubahan akan terlihat pada jumlah masing-masing kertas bekas yang diproduksi jika terjadi peningkatan biaya produksi tersebut. Jumlah kertas bekas HVS yang pada kondisi aktual diproduksi sebanyak 3.295 kg, tidak akan diproduksi jika biaya produksi kertas bekas tersebut lebih dari Rp. 1.550 per kg dan akan dialihkan ke kertas bekas jenis arsip yang pada kondisi aktual diproduksi sebanyak 6.605 kg menjadi 9.900 kg. Kertas bekas jenis koran yang pada kondisi aktual diproduksi sebanyak 3.799 kg, tidak akan diproduksi jika biaya produksi kertas bekas tersebut lebih dari Rp. 1.050 per kg dan akan dialihkan ke kertas bekas jenis arsip yang pada kondisi aktual diproduksi sebanyak 6.605 kg menjadi 10.404 kg. Kertas bekas jenis *art paper* yang pada kondisi aktual diproduksi sebanyak 523 kg, tidak akan diproduksi jika biaya produksi kertas bekas tersebut lebih dari Rp. 750 per kg dan akan dialihkan ke kertas bekas jenis arsip yang pada kondisi aktual diproduksi sebanyak 6.605 kg menjadi 7.128 kg. Namun, apabila kertas bekas jenis arsip yang pada kondisi aktual diproduksi sebanyak 6.605 kg, tidak

akan diproduksi jika biaya produksi kertas bekas tersebut lebih dari Rp. 400 per kg dan tidak akan dialihkan ke kertas bekas jenis lainnya, sehingga jumlah kertas bekas yang diproduksi juga berkurang menjadi 7.617 kg. Sedangkan kertas bekas jenis ivory, marga dan mix/as yang pada awalnya tidak diproduksi, tetap tidak akan diproduksi jika mengalami peningkatan maupun penurunan biaya produksi masing-masing jenis kertas bekas tersebut. Di sisi lainnya, Perubahan biaya produksi dari kertas bekas yang diikuti dengan perubahan jumlah kertas bekas yang diproduksi, juga akan mempengaruhi jumlah kertas bekas yang dikirimkan ke manufaktur.

Penambahan jumlah tenaga kerja akan meningkatkan biaya tenaga kerja secara keseluruhan dan sebaliknya pengurangan jumlah tenaga kerja juga hanya akan mengurangi biaya tenaga kerja secara keseluruhan. Namun, pengurangan maupun penambahan jumlah tenaga kerja tersebut akan mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi masing-masing jenis kertas bekas. Dengan 50 tenaga kerja yang tersedia, waktu produksi per kg masing-masing jenis kertas bekas adalah 0,027 jam atau dibutuhkan 1 menit 37 detik yang merupakan waktu yang tercepat untuk menyelesaikan proses *sorting*, rajang dan *press* 1 kg kertas bekas.

Ketika terjadi peningkatan atau penurunan waktu produksi kertas bekas jenis HVS dan koran, maka solusi optimal atau jumlah kertas bekas yang diproduksi dari kedua jenis tersebut tidak mengalami perubahan. Artinya berapapun penambahan waktu produksi yang terjadi pada kedua jenis kertas tersebut akan dimaksimalkan untuk diproduksi. Sedangkan dengan kapasitas waktu produksi yang tersedia hanya 384 jam, perubahan waktu produksi dari kedua jenis kertas bekas tersebut akan berdampak pada kertas bekas jenis arsip yang mengalami perubahan jumlah yang harus diproduksi karena jumlah kertas bekas jenis HVS dan koran telah sesuai dengan persediaan kedua jenis kertas bekas tersebut. Untuk waktu produksi kertas bekas jenis *art paper* yang apabila terjadi perubahan > 0,033 jam, maka kertas bekas tersebut tidak akan diproduksi. Namun apabila terjadi perubahan waktu produksi kertas bekas jenis arsip yang lebih dari waktu aktual (> 0,027 jam), solusi optimal atau jumlah kertas bekas jenis arsip yang diproduksi yang diproduksi tersebut juga ikut mengalami perubahan sesuai dengan perubahan waktu yang terjadi. Sedangkan untuk jenis kertas bekas ivory, marga, dan *mix/as* yang jika mengalami perubahan, maka tidak akan mempengaruhi solusi optimal karena proses produksi lebih difokuskan ke kertas bekas jenis HVS, koran, arsip, dan *art paper*.

Waktu produksi masing-masing jenis kertas bekas tersebut juga dibatasi oleh kapasitas waktu produksi yang tersedia juga dapat memberikan kontribusi secara langsung terhadap jumlah masing-masing kertas bekas yang diproduksi. Dimana, kapasitas waktu produksi aktual selama satu bulan adalah 384 jam merupakan kapasitas waktu produksi 2 mesin rajang. Sedangkan 4 mesin *press* dan tenaga kerja yang tersedia juga bergantung pada maka mesin rajang dengan kapasitas waktu produksinya paling rendah. Apabila terjadi pengurangan jumlah mesin rajang hanya menjadi 1 mesin, hal tersebut juga akan menurunkan jumlah kertas bekas yang diproduksi. Di sisi lain, jika kapasitas waktu produksi ditingkatkan lebih dari kondisi aktual, maka juga akan meningkatkan jumlah kertas bekas yang diproduksi. Namun berapapun peningkatannya, jumlah kapasitas waktu produksi yang digunakan hanya sebanyak 419 jam dengan jumlah kertas bekas yang diproduksi adalah 15.520 kg. Kertas bekas yang telah melalui proses produksi tersebut kemudian dijumlahkan dengan kertas bekas yang telah melalui proses produksi pada periode sebelumnya namun belum sempat dijual ke manufaktur. Selanjutnya, seluruh kertas bekas tersebut kemudian dikirimkan dan dijual ke 6 manufaktur dengan menggunakan kendaraan jenis truk berat yang mempunyai kapasitas angkut kendaraan yaitu 60.000 kg per 2 kali pengiriman dalam satu bulan.

**Tabel 3.** Kertas Bekas Kondisi Baik yang Dikirimkan ke Manufaktur

Jenis Kertas Bekas	Manufaktur 1 (Kg)	Manufaktur 2 (Kg)	Manufaktur 3 (Kg)	Manufaktur 4 (Kg)	Manufaktur 5 (Kg)	Manufaktur 6 (Kg)
HVS	0	0	0	6952	343	0
Koran	0	6952	0	0	6610	237
Arsip	4635	0	6952	0	0	6715
<i>Art Paper</i>	1023	0	0	0	0	0
Ivory	300	0	0	0	0	0
Marga	994	0	0	0	0	0
<i>Mix/As</i>	0	0	0	0	0	0

**Tabel 4.** Kertas Bekas Kondisi Tidak Baik yang Dikirimkan ke Manufaktur

Jenis Kertas Bekas	Manufaktur 1 (Kg)	Manufaktur 2 (Kg)	Manufaktur 3 (Kg)	Manufaktur 4 (Kg)	Manufaktur 5 (Kg)	Manufaktur 6 (Kg)
HVS	0	0	0	0	0	0
Koran	0	0	0	0	0	0
Arsip	3048	3048	3048	3048	3048	3048
Art Paper	0	0	0	0	0	0
Ivory	0	0	0	0	0	0
Marga	0	0	0	0	0	0
Mix/As	0	0	0	0	0	0

Tabel 3 dan Tabel 4, menunjukkan jumlah masing-masing jenis kertas bekas yang telah diproduksi, dikirimkan ke seluruh manufaktur yang ada. Dengan jumlah keseluruhan yaitu 60.000 kg kertas bekas yang dikirimkan dan dijual, maka jumlah tersebut sesuai dengan kapasitas kendaraan dan lebih rendah dari persediaan kertas bekas yang siap untuk dijual. Berdasarkan jumlah kertas bekas yang dikirimkan dan dijual ke masing-masing manufaktur pada, maka diperoleh total biaya transportasi ke seluruh manufaktur adalah Rp. 3.800.000 dan pendapatan yang diperoleh dari kertas bekas dijual ke manufaktur tersebut adalah sebesar Rp. 209.737.460.

Solusi optimal dari jumlah kertas bekas yang dikirimkan dan dijual ke manufaktur juga dipengaruhi oleh biaya transportasi dan harga jual masing-masing kertas bekas ke manufaktur. Namun, seluruh kertas bekas yang dikirimkan harus terbagi secara merata ke seluruh manufaktur, sehingga solusi aktual yang dihasilkan adalah masing-masing manufaktur mendapatkan seluruh kertas bekas yang telah diproduksi sebanyak 10.000 kg. Apabila terjadi penurunan biaya pengiriman salah satu jenis kertas bekas ke salah satu manufaktur, maka kertas bekas jenis tersebut akan lebih difokuskan untuk dikirimkan ke manufaktur tersebut. Di sisi lainnya, jika terjadi peningkatan biaya pengiriman salah satu jenis kertas bekas ke salah satu manufaktur, maka kertas bekas jenis tersebut akan dikurangi jumlahnya atau tidak sama sekali untuk dikirimkan ke manufaktur tersebut. Pada perubahan harga jual masing-masing kertas bekas, akan mempengaruhi jumlah masing-masing kertas bekas yang dikirimkan ke manufaktur. Dimana, kertas bekas yang dikirimkan ke manufaktur merupakan kertas bekas yang memberikan kontribusi terhadap keuntungan yang tertinggi. Kondisi tersebut juga berlaku untuk seluruh jenis kertas bekas dan manufaktur.

Dari sejumlah kertas bekas yang diproduksi dan jumlah kertas bekas yang dikirimkan dan dijual ke manufaktur yang sesuai dengan kapasitas kendaraan, maka terdapat sisa sebanyak 29.060 kg kertas bekas yang belum diproduksi dan 16.006 kg kertas bekas yang sudah diproduksi namun belum dijual ke manufaktur pada periode tersebut akan disimpan terlebih dahulu di gudang penyimpanan yang mempunyai kapasitas penyimpanan sebanyak 400.000 kg untuk selanjutnya akan diproduksi dan dijual ke manufaktur pada periode selanjutnya. Dengan biaya penanganan (*handling*) kertas bekas yaitu Rp. 3 per unit produk, maka total biaya yang dibutuhkan untuk penanganan kertas bekas di gudang penyimpanan yaitu Rp. 135.196 dari total biaya *handling* yang disediakan yaitu Rp. 500.000. Biaya *handling* pada kondisi aktual adalah Rp. 3 per kg kertas bekas yang disimpan di gudang penyimpanan. Namun jika mengalami perubahan, maka tidak akan mempengaruhi jumlah kertas bekas yang dikumpulkan dari konsumen, jumlah masing-masing kertas bekas yang diproduksi, dan jumlah masing-masing kertas bekas yang dikirimkan ke manufaktur. Biaya *handling* hanya akan menjadi tidak *feasible* jika > Rp. 11 per kg kertas bekas karena akan melebihi batas maksimal biaya *handling* yang telah ditetapkan. Sedangkan untuk biaya masing-masing tenaga kerja yaitu Rp. 1.200.000 hanya akan mempengaruhi biaya tenaga kerja secara keseluruhan dan profit yang diterima setiap bulannya.

Terdapat juga batasan model matematika yaitu batasan biaya *handling* dan kapasitas gudang penyimpanan untuk menangani kertas bekas yang disimpan dalam satu periode, yang pada kondisi aktual masih sangat bisa untuk menangani kertas bekas yang disimpan. Apabila batasan biaya *handling* dan kapasitas gudang penyimpanan tersebut semakin ditingkatkan, maka tetap tidak akan mempengaruhi kondisi solusi optimal yang telah dihasilkan. Namun jika batas biaya *handling* < Rp. 135.140, solusi optimal yang dihasilkan menjadi tidak *feasible*. Perubahan jumlah kertas bekas yang

disimpan akan terus terjadi sampai pada batas biaya *handling* sebesar Rp. 135.197, dan akan sesuai dengan kondisi aktual. Sedangkan kapasitas gudang penyimpanan akan menjadi tidak *feasible* jika < 45.047 kg, dan akan mengalami perubahan jumlah kertas bekas yang disimpan seampai dengan kapasitas gudang penyimpanan = 45.065 kg. Peningkatan kapasitas gudang penyimpanan selanjutnya hanya akan membuat jumlah kertas bekas yang disimpan sesuai dengan kondisi aktual. Pola perubahan dari kondisi yang tidak *feasible* menjadi seperti kondisi aktual dari batas biaya *handling* dan kapasitas gudang penyimpanan yaitu dengan membuat kertas bekas yang disimpan di gudang penyimpanan sesuai dengan perubahan kedua batasan tersebut. Secara lebih jelasnya, biaya-biaya yang dihasilkan oleh model matematika yang telah dirumuskan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Perbandingan Kondisi Aktual dengan Model

Jenis Biaya	Total Biaya
Profit	Rp. 37.909.660
Biaya Transportasi Pengumpulan Kertas Bekas	Rp. 1.298.460
Biaya Transportasi Pengiriman Kertas Bekas	Rp. 3.800.000
Biaya Produksi	Rp. 2.844.444
Biaya <i>Handling</i>	Rp. 135.196
Biaya Tenaga Kerja	Rp. 60.000.000
Biaya Beli Kertas Bekas	Rp. 103.749.700
Pendapatan	Rp. 209.737.460

Untuk emisi yang dihasilkan dari operasi *supply chain* daur ulang kertas bekas, solusi optimalnya tergantung dari solusi optimal yang dihasilkan dari fungsi tujuan yang pertama. Kaitannya adalah kendaraan yang digunakan untuk mengambil kertas bekas di konsumen dan kendaraan yang mengirimkan kertas bekas yang telah di produksi ke manufaktur mengeluarkan emisi dalam jumlah dan jarak tertentu. Sebagaimana yang diketahui bahwa kapasitas angkut sebanyak 60.000 kg merupakan kapasitas angkut dari 5 kendaraan jenis truk kecil untuk 8 kali pengumpulan kertas bekas dari seluruh konsumen dalam waktu satu bulan. Namun dengan jumlah yang kertas bekas yang dikumpulkan sebanyak 43.282 kg, maka hanya dibutuhkan 6 kali proses pengumpulan. Sehingga, emisi yang dihasilkan akan lebih rendah dari yang seharusnya. Sedangkan, emisi dari yang dihasilkan oleh kendaraan jenis truk berat, sesuai dengan batas emisii kendaraan karena mengikuti 2 kali pengiriman kertas bekas ke manufaktur untuk mencapai 60.000 kg dalam satu bulan.

Di sisi lainnya, pada proses pengolahan kertas bekas yaitu *sorting*, rajang dan *press* yang menggunakan mesin rajang dan mesin *press* juga menghasilkan emisi yang berdampak negatif pada lingkungan. Berdasarkan Uneverse Projects, jenis emisi yang dihasilkan oleh proses pengolahan kertas bekas tersebut adalah 80 kg CO<sub>2</sub> per ton kertas bekas atau sebanyak 80 gram CO<sub>2</sub> per kg kertas bekas. Untuk lebih jelasnya, emisi yang dihasilkan oleh proses transportasi untuk mengumpulkan dan mengirimkan kertas bekas, serta emisi dari proses produksi dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Emisi Gas Buang *Supply Chain* Daur Ulang Kertas Bekas

Jenis Proses	Jenis Emisi	Jumlah Emisi (Gram)	Batas Maksimum (Gram)
Transportasi	CO	11619,6	11852,8
	HC + Nox	1687,8	1740,8
Produksi	CO <sub>2</sub>	1137760	5440000

## KESIMPULAN

Bardasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat diketahui bahwa perubahan-perubahan yang terjadi pada masing-masing komponen model matematika tidak terlalu mempengaruhi kondisi aktual.

Hanya saja, terdapat beberapa komponen yang perlu diperbaiki agar dapat mengantisipasi ketidakpastian jumlah kertas yang dapat dikumpulkan dari konsumen. Komponen tersebut antara lain:

1. Intensitas penggunaan kendaraan  
Dengan jumlah 5 kendaraan jenis truk kecil yang tersedia dan intensitas pengumpulan kertas bekas dari konsumen sebanyak dua kali dalam satu minggu, maka keseluruhan kapasitas angkut yang tersedia adalah 60.000 kg. Namun jika terjadi perubahan jumlah kertas bekas yang dapat dikumpulkan dari konsumen yang tidak sama dengan kapasitas angkut tersebut, maka intensitas pengumpulan kertas bekas dari konsumen juga dapat disesuaikan dengan perubahan yang terjadi.
2. Penambahan mesin rajang  
Kapasitas waktu produksi aktual yang ada saat ini adalah 384 jam merupakan kapasitas waktu produksi 2 mesin rajang. Sedangkan 4 mesin *press* dan tenaga kerja yang tersedia juga bergantung pada maka mesin rajang yang kapasitas waktu produksinya paling rendah. Maka, penambahan mesin rajang akan meningkatkan kapasitas waktu produksi dan jumlah kertas bekas yang diproduksi.
3. Penambahan jumlah tenaga kerja  
Dengan 50 tenaga kerja yang tersedia, waktu produksi per kg masing-masing jenis kertas bekas adalah 1 menit 37 detik. Sehingga penambahan jumlah tenaga kerja yang khususnya bekerja di bagian produksi akan semakin mempercepat durasi waktu produksi masing-masing jenis kertas bekas..

#### DAFTAR PUSTAKA

- Chaabane, A., Ramudhin, A., and Paquet, M., 2012, Design of Sustainable Supply Chains Under the Emission Trading Scheme, *Journal of Production Economics*, 135, 37-49.
- Gilbert, S., 2000, Greening Supply Chain: Enhancing Competitiveness Through Green Productivity, *Asian Productivity Organization*, Tokyo.
- Hickford, A.J., and Cherrett, T.J., 2007, *Green Logistics: Developing Innovative and More Sustainable Approaches to Reverse Logistics and the Collection, Recycling and Disposal of Waste Products from Urban Centres*, Transportation Research Group, University of Southampton.
- Hillier and Lieberman, 2005, *Introduction Operations Research 8<sup>th</sup> Edition*, Andi, Yogyakarta.
- Ninlawan, C., Seksan, P., Tossapol, K., and Pilada, W., 2010, The Implementation of Green Supply Chain Management Practices in Electronics Industry, *Proceeding of the International Multi Convergence of Engineers and Computer Scientists*, Vol 3.
- Pishvae, M.S., and Razmi, J., 2012, Environmental Supply Chain Network Design Using Multi Objective Fuzzy Mathematical Programming, *Applied Mathematical Modelling*, 36, 3433-3446.
- Rao, P., and Holt, D., 2005, Do Green Supply Chains Lead to Competitiveness and Economic Performance, *International Journal of Operations and Production Management*, 25(9), 898-916.
- Sheu, J.B., 2008, Green Supply Chain Management, Reverse Logistics and Nuclear Power Generation, *Journal of Transportation Research*, 44, 19-46.
- Srivastava, S.K., 2007, Green Supply-Chain Management: A State-Of-The-Art Literature Review, *International Journal of Management Reviews*, 9, 53-80.
- Tsai, W.H., and Hung, S.J., 2009, Treatment and Recycling System Optimisation With Activity-Based Costing in Weee Reverse Logistics Management: An Environmental Supply Chain Perspective, *International Journal of Production Research*, 47, 5391-5420.
- Zero Waste. 2013. Waste. [www.zerowaste.org](http://www.zerowaste.org) (online accessed: November 11<sup>th</sup>, 2013).

## DAYLIGHTING UNTUK PERUMAHAN SEDERHANA

Suprpto<sup>1</sup>, Sodikin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Industri, <sup>2</sup> Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Veteran Bangun Nusantara

Jl. Letjend. S. Humardani No. 1 Kampus Jombor Telp. (0271) 593156 Sukoharjo 57521

e-mail: <sup>1</sup>[supraptodd@yahoo.co.id](mailto:supraptodd@yahoo.co.id), <sup>2</sup>[sodikinusman@yahoo.com](mailto:sodikinusman@yahoo.com)

### ABSTRACT

*As developing global warming issue, the human's awareness to keep the earth long lasting life is more improve too. The use of daylight for settlement with the wide space by the wall of building opening is more easy it is compared with the house that has limited space, for instead settlement that build stuck together so which is caused the sunlight couldn't enter the house, so it made the house didn't get enough light. This research aims are hoped to use as a nature light that saving energy. This research consists of 1) making of the room model; 2) Construction of the light collector; 3) making the line transportation of light; 4) the construction of light diffuser; 5) installation; 6) measuring daylighting's work. The result showed that the intensity of light which continued to the room for daylight 2<sup>nd</sup> model (pyramid) 2,09 % is better than daylight 1<sup>st</sup> model (rectangle) which is 1,69 %. The minimal light intensity that continued to the room for 2<sup>nd</sup> model 209 lux is better than model 1<sup>st</sup> which is only 128 lux. By looking at both of those daylight models, they can be used as a room light that suitable with the level of lightless which is recommended according to SNI that is 120-150 lux. The light intensity can be continued by daylighting model which is influenced by the weather condition and sun light.*

**Keywords:** *daylighting, settlement, simple.*

### PENDAHULUAN

Seiring dengan makin berkembangnya isu *global warming*, kesadaran manusia untuk menjaga kelestarian bumi juga semakin meningkat. Manusia semakin sadar bahwa eksistensinya tidak akan pernah bisa lepas dari dukungan sumber daya alam sekitarnya. Sumber daya alam pada dasarnya dibedakan menjadi sumber daya yang dapat diperbarui dan sumber daya yang tidak dapat diperbarui.

Pemanfaatan pencahayaan siang hari (*daylight*) pada rumah tinggal dengan lahan yang cukup luas melalui bukaan pada dinding bangunan adalah lebih mudah jika dibandingkan dengan kondisi rumah dengan lahan yang sangat terbatas seperti pada perumahan dengan bangunan berdempetan satu sama lain dengan tetangga sehingga pemanfaatan sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan rumah sangat terbatas. Hal ini berdampak pada kurangnya penggunaan pencahayaan alami dan lebih sering menggunakan pencahayaan buatan untuk menerangi rumah bahkan disiang hari (Kurniasih, 1990).

Berbagai upaya untuk mengurangi konsumsi energi listrik pada pencahayaan dengan energi matahari telah dilakukan, misalnya dengan menggunakan atap kaca, dan memodifikasi jendela. Namun solusi penerangan dengan cara tersebut memiliki aspek akumulasi panas dari sumber cahaya matahari dan mengakibatkan peningkatan suhu ruangan. Usaha untuk menerapkan berbagai teknik dan teori dalam rangka melakukan penghematan energi pada bangunan rumah maka faktor penerangan akan sangat mempengaruhi kinerja bagi para penghuni dan penghematan energi bagi bangunan rumah tinggal maupun bangunan komersial (Sodikin, 2012)

Penerangan pada bangunan rumah umumnya dilakukan dengan menggunakan penerangan aktif dan penerangan pasif. Penerangan aktif yaitu penerangan buatan dengan mengandalkan berbagai jenis lampu dari sumber listrik. Sedangkan penerangan pasif yaitu penerangan alami yang disebut *daylighting* yaitu penerangan dengan mengandalkan berbagai strategi dan teknik pemantulan sinar dari matahari ke dalam bangunan guna memperkuat atau mereduksi pemakaian energi dari sinar matahari untuk bisa digunakan sebagai penerangan ruang (Hastings, S.R., 1994)

Pemanfaatan sinar matahari untuk penerangan atau pencahayaan ruang dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan sinar dengan dipantulkan, dibelokkan, diteruskan ataupun disebarkan

dengan bantuan sebuah bidang datar, cembung, atau cekung. Bidang-bidang tersebut dapat berupa lembaran metal, cermin, lensa, lembaran plastik tipis, fiber optik, solid acrylic bahkan kaca prisma atau diamond (Mintorogo, 1999).

Indonesia terletak di daerah garis katulistiwa sehingga mendapatkan sinar matahari yang berlimpah, namun pemanfaatannya bagi penerangan ruangan atau bangunan masih kurang optimal. Umumnya masyarakat lebih cenderung untuk memanfaatkan penerangan dengan energi listrik. Kecenderungan masyarakat Indonesia untuk tidak memanfaatkan penerangan di siang hari (*daylighting*) lebih disebabkan karena pengetahuan yang terbatas terhadap alat atau konstruksi *daylighting*.

Oleh karena itu perlu dirancang model *daylighting* untuk penerangan ruang khususnya perumahan dengan biaya konstruksi yang sangat murah dan dapat dibuat sendiri oleh masyarakat secara luas dengan menggunakan bahan-bahan yang sederhana yang ada di sekitar kita. Model *daylighting* diharapkan dapat memanfaatkan sinar matahari sebagai penerangan alami rumah sehingga dapat mengurangi penggunaan energi listrik.

Pencahayaan buatan dimulai sejak ditemukannya bola lampu oleh Thomas Alfa Edison tahun 1979. Hingga saat ini berbagai jenis dan tipe lampu terus berkembang dan digunakan. Tetapi hal ini membuat cahaya alami seolah dapat digantikan keberadaannya dalam ruang. Padahal, ada berbagai keuntungan yang disediakan pencahayaan alami yang tidak dimiliki pencahayaan buatan, salah satunya adalah penghematan energi yang mendukung desain yang ramah lingkungan (Dora dan Nilasari, 2011).

Pencahayaan alami adalah pemanfaatan cahaya yang berasal dari benda penerang alam seperti matahari, bulan, dan bintang sebagai penerang ruang. Karena berasal dari alam, cahaya alami bersifat tidak menentu, tergantung pada iklim, musim, dan cuaca. Diantara seluruh sumber cahaya alami, matahari memiliki kuat sinar yang paling besar sehingga keberadaannya sangat bermanfaat dalam penerangan dalam ruang. Cahaya matahari yang digunakan untuk penerangan interior disebut dengan *daylight*.

*Daylight* memiliki fungsi yang sangat penting dalam karya arsitektur dan interior. Distribusi cahaya alami yang baik dalam ruang berkaitan langsung dengan konfigurasi arsitektural bangunan, orientasi bangunan, kedalaman, dan volume ruang. Oleh sebab itu *daylight* harus disebarkan merata dalam ruangan. Menurut Sir John Soane, *daylight* dapat memberikan suasana ruang dalam yang lebih hangat. Sir John berhasil membuktikan bahwa *daylight* apabila dikelola dengan baik akan menimbulkan dampak suasana yang menyenangkan (Hongowidjaja, 2003).

Menurut Frazier pencahayaan alami sangat baik bagi interior ruang apabila dipantulkan ke berbagai arah. Pemantulan salah satunya dapat dipengaruhi oleh finishing bahan. Permukaan mengkilap (*glossy*) memantulkan cahaya lebih baik dari pada permukaan yang tidak mengkilap (*doff*). Prinsip ini berlaku juga untuk pencahayaan buatan. Pencahayaan alami yang datangnya langsung dapat diterapkan di koridor, ruang makan, dan ruang keluarga. Namun, sangat tidak disarankan untuk ruang kerja karena dapat menimbulkan kontras berlebih/silau (Dora dan Nilasari, 2011).

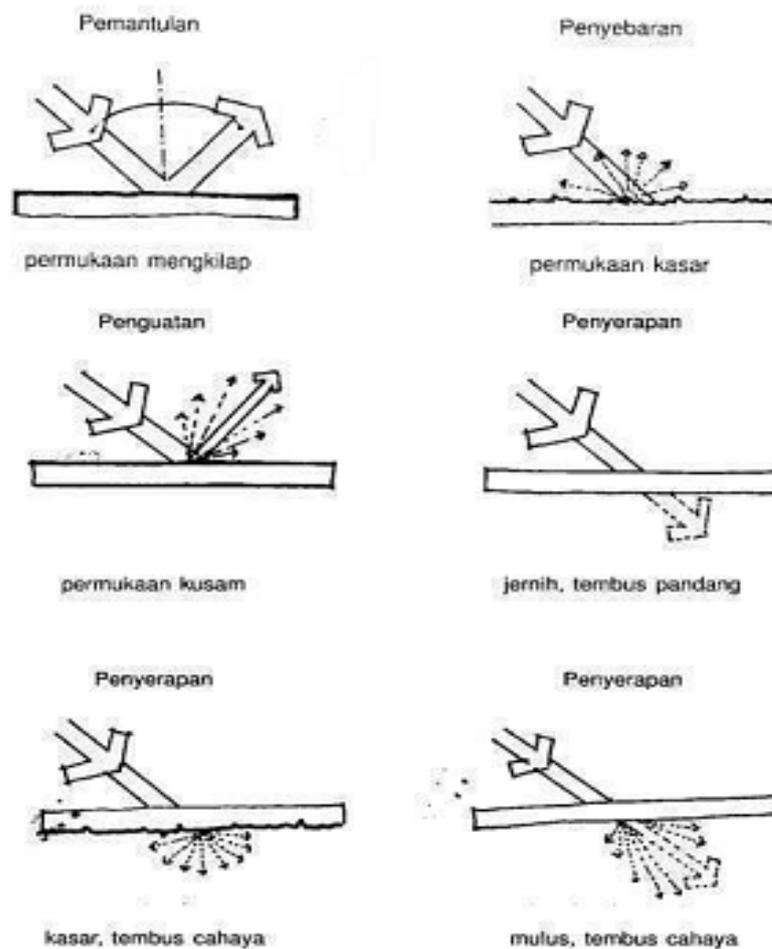
Penerangan ruang dalam rumah menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) guna mendukung fungsi ruang dan mengukur kecukupan cahaya dalam ruang (Tabel 1).

**Tabel 1.** Tingkat Pencahayaan yang Direkomendasikan

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (Lux)
Teras	60
Ruang Tamu	120 - 150
Ruang Makan	120 - 150
Ruang Kerja	120 - 150
Kamar Tidur	120 - 150
Kamar Mandi	250
Dapur	250
Garasi	60

Sumber: SNI-03-6197-2000

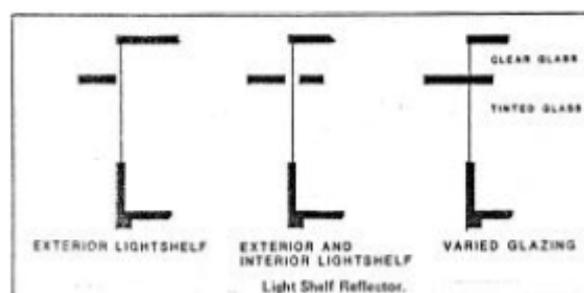
Cahaya yang dihasilkan oleh sumber cahaya sebelum ditangkap oleh mata mempunyai karakteristik yang menarik. Sifat pancaran dan perilaku cahaya ditentukan oleh sifat-sifat permukaan benda yang dijumpainya (Taruna dkk, 2010)



Gambar 1. Sifat pancaran dan perilaku cahaya

Menurut DS Mintorogo (1999), bahwa elemen-elemen strategi *daylight* klasik dapat berupa:

- a. **Light Shelf** (bidang datar sebagai pemantul cahaya/sinar matahari, dapat dilakukan secara ekterior maupun interior, atau menerus).



Sumber : SunWorld, Vol.10, No. 1, p.11, 1986

Gambar 2. Variasi Sistem Light Shelf

- b. **Reflektor** (cermin pemantul/pengumpul/penyebar cahaya/sinar matahari); dapat dilakukan pada sisi-sisi bidang façade bangunan vertikal (*side lighting*) atau pada bidang atap (*top lighting*).

Teknik reflektor ini dapat juga dikatakan sebagai strategi penggunaan bidang datar/cekung/cembung untuk meneruskan sinar matahari secara langsung ke segala penjuru dalam bangunan atau ruangan, karena menggunakan cermin-cermin reflektor yang memantulkan sinar/cahaya matahari ke alat penerus atau penyebar cahaya. Intensitas sinar yang masuk selain tergantung pada sudut penempatan reflektor, juga mengandalkan sinar dari luar yang secara langsung masuk ke dalam tabung (Rillie, 2008).

Nilai intensitas cahaya yang baik secara umum berdasarkan dengan jenis pekerjaan (Tabel 2). Berdasarkan Peraturan Menteri Perburuhan Nomor 7 Tahun 1964 tentang Syarat-syarat Kesehatan, Kebersihan serta Penerangan dalam Tempat Kerja, khususnya pasal 14 menyebutkan bahwa untuk berbagai tingkatan ketelitian kegiatan disyaratkan intensitas minimal sebesar 5 lux (0,5 ft. candles), 20 lux (2 ft. candles), 50 lux (5 ft. candles), 100 lux (10 ft. candles), 300 lux (30 ft. candles), antara 500 sampai 1000 lux (50 sampai 100 ft candles), dan 1000 lux (100 ft candles).

**Tabel 2.** Intensitas Penerangan Berdasarkan Pekerjaan

Jenis Pekerjaan	Intensitas Penerangan (Lux)	Contoh Pekerjaan
Tidak Teliti	80 – 170	Penimbunan barang
Agak Teliti	170 – 350	Pemasangan (tidak teliti)
Teliti	350 – 700	Membaca, menggambar
Sangat Teliti	700 – 1.000	Pemasangan (teliti)

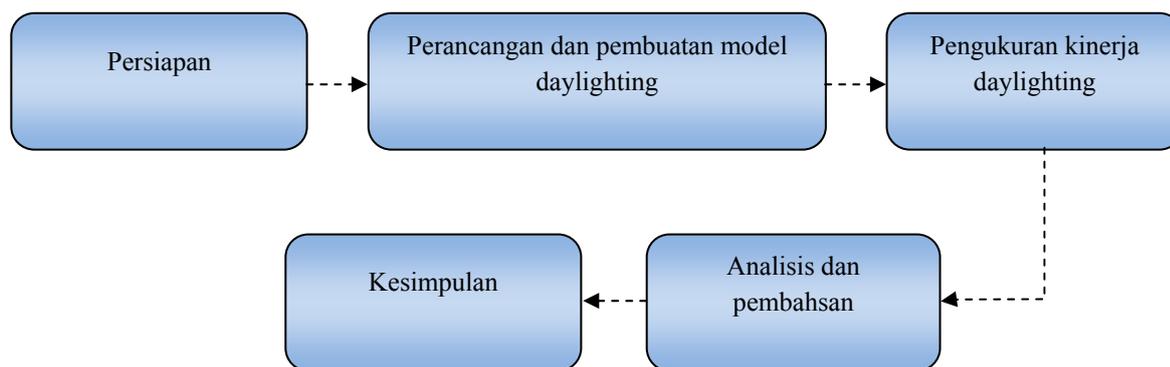
Sumber: Yuliani S. (Gempur Santoso, 2004)

## METODE PENELITIAN

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

1. Alat pengukur intensitas cahaya yaitu *Lux meter* ( 2 unit)
2. Alat pendukung berupa: 1) Model ruangan; 2) Model *daylighting* (persegi panjang dan limas)

Tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

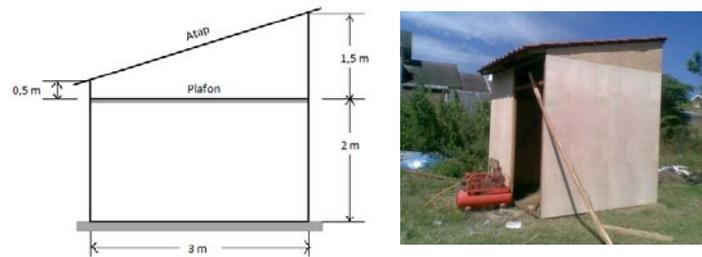


**Gambar 3.** Alur tahapan penelitian

## PEMBAHASAN

### 1. Model Ruangan

Ruangan sebagai model yang digunakan dibuat sesuai dengan bentuk ruang yang ada pada rumah tinggal (perumahan) dengan ukuran 3m x 3m x 2,5 m (p x l x t).



Gambar 4. Model ruangan

2. Perakitan Kolektor Sinar Matahari (*skylights*)

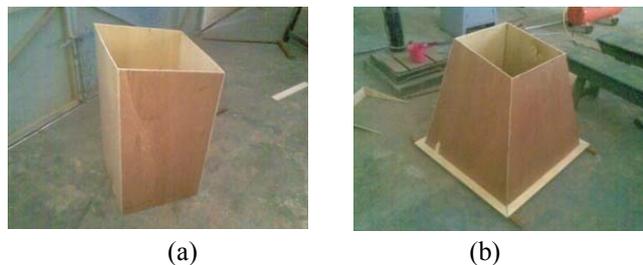
Kolektor yang dipilih adalah jenis *conventional skylights* dimana bahan yang digunakan adalah genteng kaca sebagai penerus cahaya dan kaca cermin sebagai pemantul maupun pembelok arah cahaya matahari. Genteng kaca yang digunakan sejumlah 4 buah dipasang membentuk segi empat dengan ukuran 40 cm x 40 cm.



Gambar 5. Genteng kaca sebagai kolektor

3. Jalur Transportasi Cahaya

Jalur transportasi cahaya digunakan bangun segi empat dari bahan multiplek yang sisi dalamnya dilapisi dengan kaca cermin yang berfungsi memantulkan dan membelokkan cahaya menuju penyebar cahaya (*diffuser*). Jalur transportasi cahaya berfungsi sebagai penerus cahaya dari sinar matahari untuk diteruskan ke dalam ruang dengan arah yang tetap walaupun arah sinar matahari selalu bergeser dari timur ke barat. Ukuran segi empat menyesuaikan dengan ukuran genteng kaca maupun jumlah genteng kaca yang diinginkan. Dalam penelitian ini ukuran persegi panjang (model I) adalah 40 cm x 40 cm dengan panjang  $\pm 80$  cm (gambar 6.a) sedangkan untuk limas (model II) dengan ukuran pada ujung yang pertama 40 cm x 40 cm dan pada ujung yang kedua 80 cm x 80 cm dan panjang  $\pm 80$  cm (gambar 6.b). Semakin besar ukurannya diharapkan akan semakin besar intensitas cahaya matahari yang masuk. Sedangkan ukuran tinggi bangun persegi panjang dan limas disesuaikan dengan jarak dari atap genteng ke plafon.



(a)

(b)

Gambar 6. Bangun transportasi cahaya  
(a) Persegi panjang (model I) ;  
(b) Limas (model II)

4. Instalasi

Instalasi merupakan pemasangan model *daylighting* sesuai dengan konstruksi atap dan plafon rumah.



Gambar 7. Rangkaian instalasi *daylighting*

5. Perakitan *Diffuser* Cahaya

*Diffuser* atau penyebar cahaya yang digunakan dari jenis kaca doff atau bermotif sehingga hasil cahaya yang diperoleh lebih indah, menarik dan tidak silau (*glare*).



Gambar 8. *Diffuser* cahaya

6. Pengukuran kinerja model *daylighting*

Untuk mengetahui kinerja model *daylighting*, dilakukan pengujian atau pengukuran dengan alat pengukur intensitas cahaya yaitu *lux meter* sejumlah 2 unit.



Gambar 9. *Luxmeter*

Pengukuran intensitas cahaya dilakukan untuk menguji kinerja *daylighting* secara langsung pada model ruangan yaitu yang memenuhi kriteria bahwa ruangan tersebut pada siang hari membutuhkan penerangan. Pengukuran dilakukan untuk model I maupun model II pada jam dan menit yang sama. Hasil pengukuran di luar dan di dalam ruangan dibandingkan sehingga dapat

diketahui besarnya intensitas cahaya yang dapat diteruskan ke dalam ruangan dan sejauh mana intensitas tersebut dapat memenuhi kebutuhan minimal untuk penerangan ruangan.



Gambar 10. Kinerja *daylighting*

Hasil pengukuran intensitas cahaya di luar dan di dalam ruang pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil pengukuran intensitas cahaya *daylighting* model I

No	Pukul	Intensitas Cahaya (Lux)		%
		Luar ruangan	Dalam ruangan	
1	07 : 00	30.300	130	0,43%
2	07 : 20	39.600	147	0,37%
3	07 : 40	48.600	184	0,38%
4	08 : 00	59.100	232	0,39%
5	08 : 20	66.600	263	0,39%
6	08 : 40	75.900	304	0,40%
7	09 : 00	77.800	320	0,41%
8	09 : 20	88.900	387	0,44%
9	09 : 40	94.700	450	0,48%
10	10 : 00	101.200	3.214	3,18%
11	10 : 20	109.200	3.485	3,19%
12	10 : 40	80.700	358	0,44%
13	11 : 00	97.000	705	0,73%
14	11 : 20	116.000	3.950	3,41%
15	11 : 40	118.800	4.280	3,60%
16	12 : 00	117.800	4.230	3,59%
17	12 : 20	110.300	3.910	3,54%
18	12 : 40	105.010	3.650	3,48%
19	13 : 00	100.000	3.376	3,38%
20	13 : 20	96.200	810	0,84%
21	13 : 40	88.500	790	0,89%
22	14 : 00	75.700	470	0,62%
23	14 : 20	72.300	450	0,62%
24	14 : 40	62.800	415	0,66%
25	15 : 00	60.100	400	0,67%
26	15 : 20	49.500	300	0,61%
27	15 : 40	37.700	260	0,69%
28	16 : 00	32.900	280	0,85%
29	16 : 20	19.800	153	0,77%
30	16 : 40	12.200	134	1,10%
31	17 : 00	8.100	128	1,58%
Jumlah		2.253.310	38.165	1,69%
Rata-rata		72.687	1.231	1,69%
Maksimum		118.800	4.280	3,60%
Minimum		8.100	128	0,37%

Tabel 4. Hasil pengukuran intensitas cahaya *daylighting* model II

No	Pukul	Intensitas Cahaya (Lux)		%
		Luar ruangan	Dalam ruangan	
1	07 : 00	39.200	745	1,90%
2	07 : 20	51.400	893	1,74%
3	07 : 40	61.000	1.089	1,79%
4	08 : 00	47.000	825	1,76%
5	08 : 20	55.000	948	1,72%
6	08 : 40	61.900	1.015	1,64%
7	09 : 00	71.800	1.155	1,61%
8	09 : 20	76.100	1.245	1,64%
9	09 : 40	80.900	1.537	1,90%
10	10 : 00	84.100	1.621	1,93%
11	10 : 20	100.700	3.720	3,69%
12	10 : 40	115.100	3.840	3,34%
13	11 : 00	67.200	1.145	1,70%
14	11 : 20	47.100	965	2,05%
15	11 : 40	47.250	971	2,06%
16	12 : 00	54.200	1.039	1,92%
17	12 : 20	50.300	1.024	2,04%
18	12 : 40	46.000	913	1,98%
19	13 : 00	43.200	904	2,09%
20	13 : 20	52.300	1.033	1,98%
21	13 : 40	62.000	1.134	1,83%
22	14 : 00	79.100	1.539	1,95%
23	14 : 20	67.300	1.202	1,79%
24	14 : 40	63.300	1.158	1,83%
25	15 : 00	58.500	1.112	1,90%
26	15 : 20	46.300	914	1,97%
27	15 : 40	38.500	823	2,14%
28	16 : 00	27.900	654	2,34%
29	16 : 20	19.400	481	2,48%
30	16 : 40	10.700	312	2,92%
31	17 : 00	8.400	209	2,49%
Jumlah		1.733.150	36.165	2,09%
Rata-rata		55.908	1.167	2,09%
Maksimum		115.100	3.840	3,69%
Minimum		8.400	209	1,61%

Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil kinerja *daylighting* model I untuk intensitas cahaya dalam ruangan rata-rata sebesar 1,69% dari intensitas cahaya di luar ruangan. Hal ini berarti bahwa intensitas cahaya yang mampu diteruskan dari luar ke dalam ruangan hanya sebesar 1,69 % dari pukul 07.00 sampai dengan 17.00 WIB. Intensitas cahaya yang tinggi terjadi pada pukul 10.00 s.d 10.20 WIB dan pukul 11.20 s.d 12.00 WIB. Intensitas cahaya minimum di dalam ruangan untuk *daylighting* model I sebesar 128 lux (pukul 17.00 WIB).

Pada Tabel 4, kinerja *daylighting* model II menunjukkan intensitas cahaya dalam ruangan rata-rata sebesar 2,09% dari intensitas cahaya di luar ruangan dari pukul 07.00 sampai dengan 17.00 WIB. Intensitas cahaya yang tinggi terjadi pada pukul 10.00 s.d 10.20 WIB. Intensitas cahaya minimum untuk model *daylighting* model II sebesar 209 lux (pukul 17.00 WIB).

Jika dibandingkan antara *daylighting* model I dengan model II, *daylighting* model II yaitu bentuk limas lebih baik dibandingkan dengan *daylighting* model I (persegi panjang). Intensitas cahaya yang dapat teruskan ke ruangan untuk *daylighting* model II (2,09%) lebih besar dari pada *daylighting* model I (1,69%). Hal ini menunjukkan bahwa *daylighting* model II memiliki kemampuan meneruskan cahaya yang lebih baik sehingga kemampuan untuk memberikan penerangan ruangan juga lebih baik dari pada dengan *daylighting* model I. Intensitas cahaya minimum untuk *daylighting* model II (209 lux) juga lebih baik dari pada *daylighting* model I (128 lux). Dari kedua model *daylighting*

berdasarkan intensitas cahaya minimum, secara umum dapat digunakan sebagai penerangan ruang dalam rumah sesuai dengan tingkat pencahayaan yang direkomendasikan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) guna mendukung fungsi ruang dan mengukur kecukupan cahaya dalam ruang (Tabel 1).

Tingkat intensitas cahaya yang mampu diteruskan oleh kedua model *daylighting* sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan kuat sinar matahari. Jika cuaca terik/cerah maka penggunaan *daylighting* akan berfungsi dengan baik dan sebaliknya jika cuaca mendung atau hujan maka penggunaan *daylighting* kurang baik (tidak maksimal). Semakin tinggi intensitas cahaya di luar maka intensitas cahaya yang diteruskan oleh model *daylighting* juga akan semakin tinggi.

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Intensitas cahaya yang dapat teruskan ke ruangan untuk *daylighting* model II (limas) sebesar 2,09% lebih besar dari pada *daylighting* model I (persegi panjang) yang hanya sebesar 1,69%.
2. Model *daylighting* dapat digunakan sebagai penerangan ruang sesuai dengan tingkat pencahayaan yang direkomendasikan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) guna mendukung fungsi ruang dan mengukur kecukupan cahaya dalam ruang.
3. Tingkat intensitas cahaya yang mampu diteruskan oleh model *daylighting* sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan kuat sinar matahari.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M Dikti, Pimpinan Universitas, Fakultas dan LPPM Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo serta rekan-rekan yang telah membantu dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2000. SNI-03-6197-2000 Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan.
- Carroll, Debra D. and Everett D. Howe., 1986, SunWorld, Victoria, International Solar Energy Society, Vol. 10, No.1, 1986.
- Dora, P.E. dan Nilasari, P.F, 2011 Pemanfaatan Pencahayaan Alami Pada Rumah Tinggal Tipe Townhouse Di Surabaya, Universitas Kristen Petra  
[Http://Repository.Petra.Ac.Id/15247/5/Pemanfaatan Cahaya Alami Pada Rumah Tinggal Tipe Townhouse Di Perkotaan Padat Penduduk.Pdf](http://Repository.Petra.Ac.Id/15247/5/Pemanfaatan_Cahaya_Alami_Pada_Rumah_Tinggal_Tipe_Townhouse_Di_Perkotaan_Padat_Penduduk.Pdf). Diakses tanggal 25 April 2013
- Gempur, Santoso, 2004, Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Prestasi Pustaka, Jakarta
- Hastings, S.R., 1994, Passive Solar Commercial and Institutional Buildings, A Sourcebook of Examples and Design Insights, New York, John Wiley & Sons, 1994.
- Honggowidjaja, Stephanus P. 2003, Pengaruh Signifikan Tata Cahaya Pada Desain Interior. Dimensi Interior. 1 (1). 1-15
- Kurniasih, S., 2009, Pengaruh Penggunaan Kombinasi Skylight dan Ventilasi Atap Terhadap Kenyamanan Pada Pengembangan Rumah Sederhana Tanpa Buka Samping, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok  
<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDQQFjAB&url=http%3A%2F%2Ffontar.ui.ac.id%2Ffile%3Ffile%3Ddigital%2F128901-T%252026704-pengaruh%2520penggunaan-Lampiran.pdf&ei=bkKAUaK0Ko3PrQfL4oHgDw&usq=AFQjCNEAuCgMei9tJVIN5800GAq0RnWuw&bvm=bv.45921128,d.bmk> Diakses tanggal 24 April 2013
- Mintorogo, DS, 1999, Strategi Daylighting pada Bangunan Multi-lantai Di atas dan Di bawah Permukaan Tanah, Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur, Volume 27, No. 1, Juli 1999, Halaman 64-75, Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra
- Peraturan Menteri Perburuhan Nomor 7 Tahun 1964 tentang Syarat-Syarat Kesehatan, Kebersihan serta Penerangan dalam Tempat Kerja

- Rillie, DW. at.al, 2008, Skylight Domes with Relections. United States Patent, Date of Patent: Januari 29 2008, Patent No: 7.322.156 BI
- Sodikin, Suprpto dan Widiyanto, 2012, Tabung Daylighting Berbahan Sederhana untuk Penerangan Pasif pada Bangunan Rumah Tinggal, Proceeding Seminar Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Veteran Bangun Nusantara Tanggal 15 September 2012 ISBN: 978-602-99172-7-7
- Taruna, O.,Asri, I.R.D dan Wikantarti, T, 2010, Bab 2 Cahaya, Diktat Kuliah Fisika Bangunan 1, Gunadarma. [http://elearning.gunadarma.ac.id/docmodul/fisika-bangunan\\_1/bab2\\_cahaya.pdf](http://elearning.gunadarma.ac.id/docmodul/fisika-bangunan_1/bab2_cahaya.pdf). Diakses tanggal 25 April 2013

**QUANTUM STATES APPROXIMATION OF ABR FORMULATION  
FOR JOSEPHSON'S TUNNELING IN  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  NANOMATERIALS  
IN 525 TESLA SUPER MAGNETIC FIELD  
AT LHC ACCELERATOR**

**Moh. Hardiyanto**

*Betha Group Large Hadron Collider Laboratory, CERN – Lyon, France  
Alpha Section Muon Accelerator Max Planck Institute – Damstadt, Germany  
Industrial Engineering Department – ITI Serpong  
E-mail : moh\_hardiyanto\_iti@yahoo.com*

**ABSTRACT**

*The chromo-dynamics quantum of free covariant equation in Einstein's space with quantum states and condition is studied using the ABR (Abrikosov-Balseiro-Russell) formulation in convergence approximation for Josephson tunneling is important role for determine of neutrino particle existing, especially after Cerenkov's effect for 415 tesla at Large Hadron Collider (LHC) accelerator nuclear reactor based on  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials. This approaching will be solved the problem for determine the value of interstellar Electrical Conductivity (EC) on  $\text{Th}_x \text{DUO}_2$  chain reaction, then the post condition of muon has been known exactly. In this research shown the value of EC is  $4.32 \mu\text{eV}$  at 525 tesla magnetic field for  $2.1 \times 10^4$  currie/mm fast thermal neutron floating in 55.4 megawatts adjusted power of LHC accelerator nuclear reactor. The pictures had resulted by special Electron-Scanning-Nuclear-Absorption (ESNA) shown any possibilities of Josephson's tunneling must be boundary by muon particles without neutrino particle existing for 415 – 456 tesla magnetic field on  $\text{Th}_x \text{DUO}_2$  nano materials more enrichment chain reaction at LHC accelerator super magnetic field, whereas this research has purpose for provide the mathematical formulation to boundary of muon's moving at nuclear research reactor to a high degree of accuracy and with Catch-Nuc, one of nuclear beam equipment has a few important value of experimental effort.*

**Keywords** : *Quantum states, ABR formulation, EC value,  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nanomaterials, super magnetic field*

**INTRODUCTION**

Its is known that for muon-hadron scattering, the close-coupling equations [1] have been used extensively in the sophisticated computation in Abrikosov-Balseiro-Russell (ABR) formulation [2]. In the close-coupling equations, the complete wave functions are expanded in target states on Einstein's space. In this paper the target states are constructed in the finite  $L^2$  basis space following the results of Abellian system and next formulated by ABR without Dirac's condition. The previous studied the convergence of the approximation target states for discrete and continuum cases in quantum condition for  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials chain reaction at 525 tesla super magnetic field adjusted power in Large Hadron Collider (LHC) accelerator nuclear reactor. The advanced studied its application to the ABR equations which results in pseudo state close-coupling approximations for bound-free transition in convergence structure for Josephson's tunneling. For first step using by Einstein's space for eliminary construction of ABR formulation in  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials chain reaction.

In this paper, the Abellian system was conducted for covariant equation to Einstein's space and ignores the Dirac's condition for 480 – 516 tesla super magnetic fields on fast thermal neutron combine for fast-breeding neutron, to study the convergence behavior of the free covariant equation part. Its possible analytical computation is also addressed after finding the asymptotic behavior.

**Pseudostate Close-Coupling in Quantum States**

The close-coupling equations in ABR formulation require to study is given by

$$\left[ -H_0 + E - \epsilon_j \right] \left| f_j^\pm \right\rangle = \sum_{k=1}^{\infty} V_{jk}^\pm \left| f_k^\pm \right\rangle \quad (1)$$

where

$$H_0 = -\frac{1}{2}\Delta^2 \quad (2)$$

the total energy of the system connecting the initial and final state  $i \rightarrow f$  satisfies

$$E = \epsilon_i + \frac{1}{2}k_i^2 = \epsilon_f + \frac{1}{2}k_f^2 \quad (3)$$

$|f_j^\pm\rangle$  are channel functions related to the complete wave function as

$$\psi^\pm(r_1, r_2) = \sum_{j=1}^{\infty} \phi_j(r_1) f_j^\pm(r_2) \quad (4)$$

in which the + (-) superscript refers to singlet (triplet) scattering and  $\phi_j(r_1)$  are muon eigen functions.

The channel potential  $V_{jk}^\pm$  is given by

$$V_{jk}^\pm = U_{jk}^\pm + W_{jk}^\pm \quad (5)$$

where

$$U_{jk}^\pm = \int dr_1 \int dr_2 |r_1 \rangle \phi_j^\pm(r_2) \left[ \left\{ -\frac{1}{r_1} + \frac{1}{|r_1 - r_2|} \right\} \phi_k(r_2) \right. \\ \left. \left\langle r_1 \right| \pm \frac{1}{|r_1 - r_2|} \phi_k(r_1) \left\langle r_2 \right| \right] \quad (6)$$

and

$$W_{jk}^\pm = \delta_{jk} \sum_i |\phi_i\rangle \gamma_j^\pm (\epsilon_j + \epsilon_i - E) \langle \phi_i| \quad (7)$$

with

$$\gamma_i^\pm = 1 \quad \gamma_i^4 = 1 \quad (8)$$

If replace the target states by a set of pseudo states (as consequences of finite basis set) in order to solve the equations approximately. We has to modify the close-coupling equations for Einstein's space through for normal condition after Cerenkov's effect at 380 tesla super magnetic field for  $\text{Th}_x \text{DUO}_2$  nano materials since the exchange term in the form (7) is valid only for exact target states. The form appropriate to pseudo states is given by

$$W_{jk}^\pm = |\phi_{Nk}\rangle \langle \phi_{Nj}| H(r_1) + H(r_2) |\phi_{Nk}\rangle \langle \phi_{Nj}| + \delta_{jk} \sum_{i=1}^N |\phi_{Ni}\rangle \gamma_i^\pm (-E) \langle \phi_{Ni}| \quad (9)$$

where  $\phi_{Ni}$  label the pseudo states and  $H(r_1)$  is the target non-linear for Hamiltonian operator in Abelian.

In calculating the pseudo state close-coupling approximation one must consider the error present in the quadrature rule approximation and the close-coupling potentials when pseudo states are employed. The first error will not be discussed here. The second error will be discussed in association with the direct-potential component of the channel potentials since they are regarded is being responsible for the dominant scattering process especially at higher energy.

### Convergence Approximation of ABR Formulation

In the momentum re-representation, the derivative of ABR formulation for muon state in  $\text{Th}_x \text{DUO}_2$  nano materials chain reaction is given by

$$T_{2B} = V + V G_0 V \quad (10)$$

Here  $G_0$  is the diagonal matrix of free channel Green's functions. This second ABR formulation approximation has been used by Einstein's space in Abelian system, especially the fast thermal neutron floating at 380 tesla super magnetic field to test the suitability of pseudo states expansions with initial and first states chosen either the ground or  $2s, 2p$  excited states.

The actual Josephson's tunneling element from (10) require to study is

$$V_{ij}(k_i, k_j) = -2\Delta^{-2} \left[ -\delta_{ij} + \int \phi_i^*(r) e^{i\Delta r} \phi_j(r) dr \right] \quad (11)$$

where  $\Delta = k_i - k_j$ . The indices  $i$  and  $j$  can be either discrete or continuous after Cerenkov's effect on  $2.1 \times 10^4$  currie/mm and the range of 380 – 390 tesla super magnetic field. For free covariant equation in quantum condition for  $\text{Th}_x \text{DUO}_2$  nano materials enrichment reaction potentials one uses

$$I_{pq}(\Delta) = -2\Delta^{-2} \int \phi_q^*(r) e^{i\Delta r} \phi_p(r) dr \quad (12)$$

where  $\phi_p$  and  $\phi_q$  are initial and final continuum states having the momenta  $p$  and  $q$  respectively, given by

$$\phi_q(r) = \frac{1}{2qr} \sum_{\ell_q=0}^{\infty} (2\ell_q + 1) i^{\ell_q} e^{i\delta_{\ell_q}} U_{q\ell_q}^N(r) P_{\ell_q} \left( \frac{qr}{r} \right) \quad (13)$$

and normalized to a  $\delta$  function in  $q/(2\pi)^3$ . The approximate target wave function  $U_{q_p}^N$  is given by

$$\left| U_{q\ell_q}^N \right\rangle = B_{\ell_q}(q) \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\Gamma(n+1)}{\Gamma(n+2\ell_q+2)} P_n^{\ell_q+1}(x) \left| \phi_n^{\ell_q} \right\rangle \quad (14)$$

where

$$B_{\ell_q}(q) = 2^{p_q} \left| \Gamma(\ell_q + 1 - i\gamma) \right| (1-x^2)^{(p_q+1)/2} e^{(\theta-\pi/2)\gamma} \quad (15)$$

and

$$\phi_n^{\ell_q}(r) = (\lambda r)^{\ell_q+1} e^{-\lambda r/2} L_n^{2\ell_q+1}(\lambda r) \quad (16)$$

$n, \ell_q = 0, \dots$

solving the integral (15) after quite lengthy derivation one finally obtains

$$V_{pq}(\Delta) = -32 \frac{\pi^3}{\Delta^2} (pq)^{-1} \sum_{\substack{L, \ell_p, \ell_q \\ M, m_p, m_q}} (-1)^{m_q} i^{L+\ell_p+\ell_q} c^{i(\delta_{\ell_p}-\delta_{\ell_q})} x \left[ \frac{(2\ell_p+1)(2\ell_q+1)}{4\pi(2L+1)} \right]^{1/2} \langle \ell_p \ell_q 00 | L0 \rangle \langle \ell_p \ell_q m_p -m_q | LM \rangle I_{pq}^L(\Delta) \quad (17)$$

where

$$I_{pq}^L(\Delta) = \frac{\lambda^{2+\ell_p+\ell_q}}{\Gamma(2\ell_p+2)\Gamma(2\ell_q+2)} B_{\ell_p}(p)$$

$$B_{\ell_q}(q) \sum_{n,m=0}^{N-1,M-1} P_n^{\ell_p+1}(x_p) P_m^{\ell_p}(x_q)$$

$$x \operatorname{Re} \left\{ i^{L+1} \Delta^{-1} \sum (2i\Delta)^{-v} (\lambda + i\Delta) \right\} \begin{matrix} x\Gamma(2+\ell_p+\ell_q-v)F_2(2+\ell_p+\ell_q-v-n-m \\ : 2\ell_p+2\ell_q+2; \frac{\lambda}{\lambda+i\Delta}, \frac{\lambda}{\lambda+i\Delta}) \end{matrix} \quad (18)$$

**METHODOLOGY**

This research using by high degree accuracy mathematical approaching and a few experimental efforts with special Electron-Scanning-Nuclear-Absorbtion (ESNA) and Catch-Nuc, for see the results of the mathematical approximation, in case is ABR formulation in Josephson’s tunneling for Th<sub>x</sub> DUO<sub>2</sub> nano materials chain reaction at 480 – 515 tesla super magnetic field and determine of Electrical Conductivity (EC) value in 2.1 x 10<sup>4</sup> fast thermal neutron floating.

A few mathematical equations in quantum condition will be explain in this section.

**ABR Formulation non Abellian**

The metric tensor is defined through the line element *ds* as follows:

$$ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta \quad (19)$$

Hence, different metric shall lead to different properties of space-time. For a space time where the metric is defined through

$$ds^2 = dt^2 - [R(t)]^2 \left( \frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \right) \quad (20)$$

the space satisfies the properties that it is homogeneous and isotropic. Such properties agree with the nuclear structure in microscopic principles and are also supported by experimental data. Accordingly the above metric, called the ABR Formulation without Abellian system, becomes a standard model of Th<sub>x</sub> DUO<sub>2</sub> nano structure. In the above expression R(t) denote the scale factor and k is a constant. The universe is closed if *k* > 0, open if *k* < 0 and flat if *k* = 0 and R(t) sometimes are rescaled in such a way that the value of *k* assume one of the three values -1, 0, or +1. The Cartesian form of the above line element.

$$ds^2 = dt^2 - R^2(t) \left[ dx^2 \left[ 1 + \frac{kx^2}{1-kr^2} \right] + dy^2 \left[ 1 + \frac{ky^2}{1-kr^2} \right] + dz^2 \left[ 1 + \frac{kz^2}{1-kr^2} \right] \right] \quad (21)$$

$$\Gamma_{\beta\gamma}^\alpha = \frac{1}{2} g^{\alpha\mu} \left( \frac{\partial g_{\mu\beta}}{\partial x^\gamma} + \frac{\partial g_{\mu\gamma}}{\partial x^\beta} - \frac{\partial g_{\beta\gamma}}{\partial x^\mu} \right) \quad (22)$$

Combining (19) and (21), one finds the explicit forms of non-zero components of the Riemannian curvature tensors as:

$$R_{00b}^a = \frac{R(t)}{R(t)} \delta_{ab}, \quad R_{a0b}^0 = R(t)R(t) \left[ \delta_{ab} + \frac{kx_a x_b}{1-kr^2} \right] \quad (23)$$

$$S = \frac{k}{4\pi} \int_M \text{Tr} \left( A \Lambda dA + \frac{2}{3} A \Lambda A \right) \quad (24)$$

$$\left\langle K_{\epsilon \in (\rho_1, \rho_2)} \right\rangle = \delta_{\epsilon \in'} \sqrt{E_0(\rho_1) E_0(\rho_2)} \quad (25)$$

$$S_{wZ} = \frac{1}{24\pi^2} \int_M \text{Tr} (g^{-1} dg)^3 \in Z \quad (26)$$

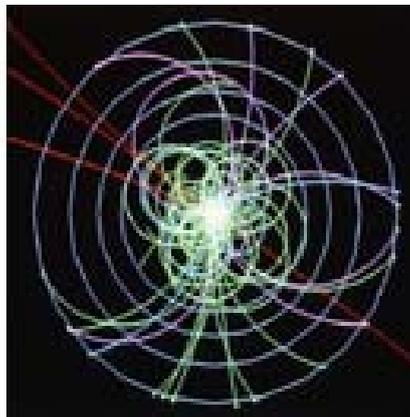
$$A_\mu(x) = - \int_0^1 ax^\mu F_{\mu\nu}(ax) da \quad (27)$$

$$\Gamma_{\beta\nu}^\alpha(x) = x^\mu \int_0^1 \lambda d\lambda R_{\beta\mu\nu}^\alpha(\lambda x) \quad (28)$$

$$\left\langle \hat{g}_{\rho\rho}^{(2\ell)} \right\rangle = \sum_{s=1}^n \left( \beta_s q^{-Q(\rho) - \frac{1}{2}Q(\rho_s)} \right)^\ell E_0 \quad (29)$$

## RESULT AND DISCUSSION

It is shown in the final equation that beside the double series  $n$  and  $m$  which are finite, the ABR function  $F_2$  is formally defined by a double series expansion with radius of convergence severely restricted. Because the occurrence of  $-n$  and  $-m$  which are finite in the arguments, there is no problems arise about its convergence. The remaining is to compute (22) numerically in order to see how rapid the convergence is since the expression of Riemannian curvature tensor is similar with the expression of  $F_{\mu\nu}$  in the non Abelian gauge. Such a formula (18) may also be obtained in the general theory of relativity, the fast thermal neutron break into  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano structure matrix is show in Fig. 1.



**Fig.1.** The floating of muon moving in  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  matrix at 415 tesla super magnetic field (Courtesy of LHC, CERN, Lyon-France 2013)

To obtain this formula, let us impose the ABR gauge condition on the Christoffel symbol as follows:

$$x^\mu \Gamma_{\beta\mu}^\alpha(x) = 0 \quad (30)$$

If we make the transformation of  $x^\mu \rightarrow \lambda x^\mu$  where  $\lambda : [0,1]$  is a parameter could obtain:

$$\begin{aligned} \lambda x^\mu R_{\beta\mu\nu}^\alpha(\lambda x) &= x^\mu \partial_\mu \Gamma_{\beta\nu}^\alpha(\lambda x) \\ &+ \Gamma_{\beta\nu}^\alpha(\lambda x) \end{aligned} \quad (31)$$

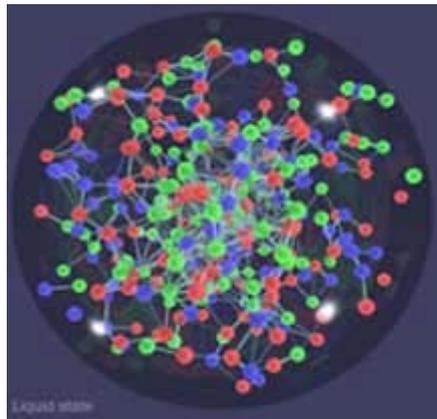
and if use the relation:

$$\lambda \frac{d}{d\lambda} F(\lambda x) = \lambda \frac{d(\lambda x^\mu)}{d\lambda} \frac{\partial F(\lambda x)}{\partial(\lambda x^\mu)} \quad (32)$$

$$\lambda x^\mu \frac{\partial F(\lambda x)}{\lambda \partial x^\mu} = x^\mu \partial_\mu F(\lambda x).$$

$$\lambda x^\mu R_{\beta\mu\nu}^\alpha(\lambda x) = \frac{d}{d\lambda} (\lambda \Gamma_{\beta\nu}^\alpha(\lambda x)) \quad (33)$$

Using the above formula, we shall derive the Christoffel symbol and contrast them with the Christoffel symbol previously derive from the ABR formulation on Abellian system and the re-polarization of  $\text{Th}_x \text{DUO}_2$  nano materials matrix will give in Fig. 2.

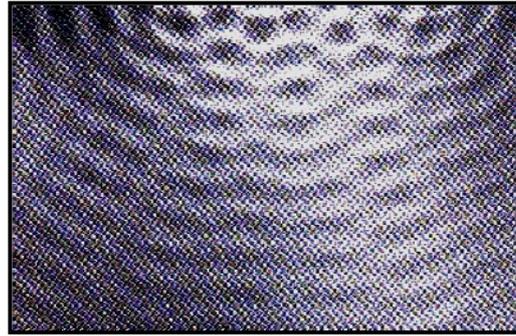


**Fig.2.** The floating of muon moving in  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano structure matrix at 525 tesla super magnetic field and fast thermal neutron at  $2.1 \times 10^4$  currie/mm floating (Courtesy of LHC, CERN, Lyon-France 2013)

We have seen that the ABR gauge which satisfy the Josephson's tunneling effect can be deduced from (23). We shall refer the symbol of  $\Gamma_{\beta\nu}^{\alpha FS}$  for the ABR gauge in Christoffel symbol to distinguish with that derived from the Robertson-Walker Riemannian tensor, the fast thermal neutron and fast-breeding neutron will be passing away in Einstein-Dirac condition, whereas the quatum states has been floated-up in 405 tesla until 410 tesla high gain in super magnetic field combination, through by  $\text{SrUO}_2$  nano structure matrix will be held in 495 tesla super magnetic field for Hermitian Group state in chromo-dynamics quantum for  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials structure in accelerator at  $2.1 \times 10^4$  currie/mm floating will shown up at Fig. 3, especially without the neutrino particle.

$$E(r, t) = B(r, t) + kn = 0 \sum_{n=0}^{\infty} F^{(n)}(r)$$

$$\left[ \begin{aligned} & \frac{(-1)^n}{(n+2)!} + \frac{(-1)^{n+1} 2(n+1)}{(n+3)!} + \\ & \frac{(-1)^{n+2} (n+2)}{(n+4)!} \end{aligned} \right] \quad (34)$$



**Fig.3.** The floating of muon moving in  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials matrix at 525 tesla super magnetic field and fast thermal neutron at  $2.1 \times 10^4$  currie/mm floating without neutrino particle (Courtesy of LHC, CERN, Lyon-France 2013)

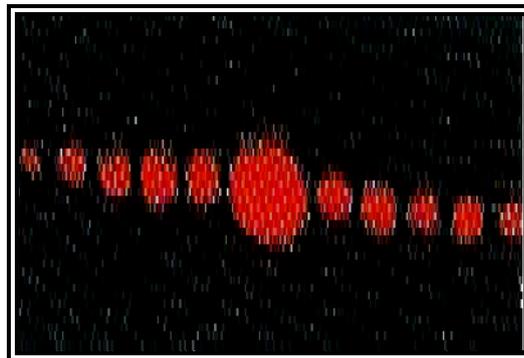
Based on Fig. 3, if integrate the equation by parts, we will obtain the series form of the equation as

$$\int_0^1 \lambda d\lambda x^\rho R_{\beta\rho\nu}^\alpha(\lambda x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n+2)!} \frac{d^n}{d\lambda^n} x^\rho \quad (35)$$

Let us now choose a scale factor as:

$R(t) = e^{mt}$ . This is an asymptotic value of the Friedmann model of  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials nuclear structure with  $m = \sqrt{\Lambda/3}$ , where  $\Lambda$  is the  $\text{UO}_2$  constant.

Using by special ESNA, we get the Josephson's tunneling with Abelian operator such as the Fig. 4.



**Fig.4.** The Josephson's tunneling in  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials matrix at 525 tesla super magnetic field (Courtesy of LHC, CERN, Lyon-France 2013)

The singularity for the first turns out to be worse compared to the later since the standard one has only a singularity factor from EC value at interstellar of muon's moving for  $2.1 \times 10^4$  fast thermal neutron floating at range 480 – 525 tesla super magnetic field without neutrino particle existing after Cerenkov's of  $1/(1 - kr^2) = 4.32 \mu eV$ . At least on the pedagogical point of view one then becomes aware that the ABR formulation in  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials chain reaction in LHC accelerator for a given Riemannian curvature tensor are not unique.

## CONCLUSIONS

Investigations and research using by ABR formulation in convergence approximation and ESNA also Catch-Nuc equipments based on  $\text{Th}_x \text{SrUO}_2$  nano materials chain reaction by Josephson tunneling at LHC accelerator nuclear reactor in 415 tesla super magnetic field has a few result, expressed:

- a. The strength of fast thermal neutron floating is  $2.1 \times 10^4$  currie/mm.

- b. The values of Electrical Conductivity (EC) for interstellar muon's moving is  $4.32 \mu\text{eV}$  at 525 tesla super magnetic field.
- c. These equations have a high degree accuracy, so they could be determine of muon's moving after Cerenkov's effect for 415 tesla adjusted power in super magnetic field LHC accelerator.

#### **ACKNOWLEDGMENT**

The author wish to thank Large Hadron Collider (LHC) Accelerator especially for Beta Group at CERN, Lyon, France Nuclear Reactor team for contributions to this work.

#### **REFERENCES**

- Brandsen, B.H.Scott, T., Shingal, R. and Roychoudhury, R.K., *Journal Phys.B* **15**, 2012
- Bray I. and Stelbovics. A.T., *Phys.Rev. A* **46**, 2012
- Burke. P.G and Seaton M.J., *Math. Journal of Phys.* **10**, 2013
- CERN, LHC Laboratory, *Th<sub>x</sub> DUO<sub>2</sub> Interference Structure*, France, 2013
- Flinder, and Stelbovics. A.T., *Test of Close-Coupling in the poet Model*, Proceedings of the Sixth International Symposium on Correlations and polarization in Electronic and Atomic Collisions and ( $e, 2e$ ) Reactions, Univ. of California, USA (2011).
- Helèna, Duprix, *Structure of ABR formulation in Einstein-Dirac's condition*, Université du Québec, Canada, 2012
- Madison, D.H. and Callaway. J.J., *Journal Phys B* **20**, 2011
- Stelbovics, A.T., and Abrikosov G., *American J.Phys.* **43**, 2011

## ANALISIS TINGKAT KEPENTINGAN DAN TINGKAT KEPUASAN KONSUMEN TERHADAP MOBIL KATEGORI LCGC

**Agustinus Eko Susetyo, Kusumawan Herliansyah**  
Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin dan Industri,  
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281  
e-mail : *ekosusetyo\_ust@yahoo.co.id*

### ABSTRACT

*Various levels of interest and the background of someone buying a car did not escape the attention of the perpetrators of these automotive industry, to the many types of cars that are offered to customers with equipped attributes so that consumers can choose the offer that is better suited to the wants and needs of consumers. The level of satisfaction can be achieved by meeting the expectations of consumers at a time when going to buy a product. As for the goal of the research is to find out the level of interest and level of performance/satisfaction of attributes of car categories low cost green car. As many as 100 consumer/user car category low cost green car will provide a response to the questionnaire, where there are 23 attributes that will be analyzed the importance and level of performance. The sampling techniques used i.e. accidental sampling. Data analysis that are used with importance performance analysis that the mean rate of interest, the mean performance of the costumer gap, quadran analysis and potential gains in customer value. Level based on interests 5 attributes most important for consumers is attributes system braking good the most important for customers with the mean 4,88 and followed by with attributes ability body protect passengers with the same mean of 4,87 where both attributes is criteria aspect security. Then attribute a power good with the mean 4,84 and attributes car friendly fuel with the mean 4,83 is aspect performance machine and quality instrument safety good with the mean 4.81 is security aspect. While the 5 attributes that are considered to have the most excellent performance is the attribute of a good quality safety tool with 4.23 is the aspect of security, attributes control mean steering wheel and the vehicle is easy with mean 4,19 is the aspect of convenience, attributes a good braking system with mean 4.17 is the aspect of security, attributes a great Audio quality with mean 4.12 is the aspect of design, followed by attributes the fuel-efficient Car with mean 4.11 is the aspect of the performances of the machine. To value gap negative highest is on the market(-1,22 ). While the value of the gap on the lowest there are negative design(-0,44 ). Based on the results of the quadran analysis and index potential gains in customer value attributes a priority repairs are cheap car prices, resale prices are high, pertamax types-fuelled car, the ability of the body to protect passengers, unhampered movement of passengers.*

**Keywords:** *Importance, level of Satisfaction/performance attributes, Car Category LCGC*

### PENDAHULUAN

Beragamnya tingkat kepentingan dan latar belakang seseorang membeli sebuah mobil tidak luput dari perhatian dari pelaku industri otomotif ini, hingga banyak sekali jenis mobil yang ditawarkan ke pelanggan dengan dilengkapi atribut-atribut sehingga konsumen dapat memilih penawaran yang lebih sesuai dengan keinginan dan kebutuhan konsumen.

Mobil kategori LCGC sejak diluncurkan pada bulan September 2013 sampai dengan Juni 2014 penjualannya sudah mencapai 127.774 unit (Gaikindo, 2014). LCGC merupakan salah satu mobil yang menawarkan atribut-atribut hal yang berbeda dibandingkan dengan atribut-atribut yang ada pada mobil umumnya. Kriteria yang disyaratkan agar sebuah mobil mengantongi predikat atau masuk dalam kategori LCGC salah satunya adalah harganya harus murah yakni harus berada dikisaran 100 jutaan. Selain itu, mobil LCGC juga harus memenuhi kriteria lain yang juga disyaratkan yaitu mobil LCGC harus irit dalam urusan konsumsi bahan bakar serta juga harus ramah terhadap lingkungan (Kemenperind, 2013).

Dalam perjalanannya, produk kendaraan dalam kebijakan mobil murah ramah lingkungan atau sering disebut LCGC ini ternyata selain mengundang kontroversi dari segi kebijakan, selain itu kualitas produknya belum secara maksimal mampu memenuhi harapan konsumenseperti dilihat dari segi material misalnya, mobil LCGC masih kalah kualitas dibandingkan dengan mobil umumnya.

Engel *et al.*, (1994) mengungkapkan bahwa kepuasan merupakan hasil evaluasi pasca konsumsi, bahwa sesuatu yang dipilih melebihi atau tidak melebihi harapannya. Peter dan Olson (1996)

menyatakan bahwa kepuasan pelanggan adalah rangkuman kondisi psikologis yang dihasilkan ketika emosi yang mengelilingi harapan tidak cocok oleh perasaan-perasaan yang terbentuk mengenai pengalaman pengkonsumsian. Tjiptono (2005) mengemukakan bahwa kepuasan konsumen merupakan respon emosional terhadap pengalaman yang berkaitan dengan produk atau jasa yang dibeli.

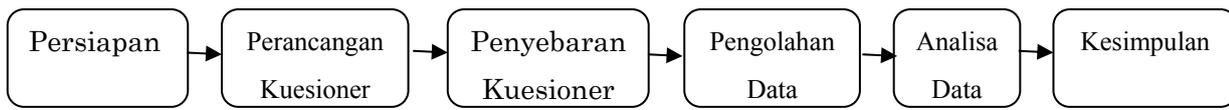
Karena itu dalam makalah ini dirumuskan tujuan yaitu menentukan tingkat kepentingan, kinerja atribut dan *customer gap* mobil kategori LCGC dan menganalisis untuk menentukan formulasi prioritas atribut untuk perbaikan dari mobil kategori LCGC dalam rangka peningkatan kepuasan konsumen.

**METODE PENELITIAN**

Data primer melalui penyebaran kuisisioner kepada responden dalam hal ini adalah orang yang pernah membeli dan atau menggunakan mobil kategori LCGC, data sekunder didapat dari berbagai sumber yaitu melalui wawancara maupun data literatur yang diperoleh dari studi kepustakaan. Sampel 100 orang yang pernah melakukan pembelian dan/atau menggunakan mobil kategori LCGC.

Analisa akan dilakukan setelah proses input data ke *tools SPSS*, dalam bentuk coding. Beberapa analisa yang akan dilakukan dalam penelitian ini, yaitu analisa deskriptif, metode *importance-performance analysis* dimulai dengan analisis *mean* tingkat kepentingan untuk menentukan 5 atribut yang dianggap paling penting menurut konsumen, analisis *mean* kinerja atribut untuk menentukan 5 atribut yang mempunyai kinerja baik atau memuaskan konsumen, *customer gap*, dan *quadran analysis* untuk pemetaan dari nilai rata-rata kepentingan dan kinerja atribut-atribut yang ada pada mobil kategori LCGC oleh konsumen sehingga dapat diidentifikasi area mana saja yang dapat dilakukan perbaikan yang efektif dengan kata lain perbaikan yang paling mempengaruhi kepuasan konsumen, serta penentuan urutan prioritas perbaikan dengan *potential gain in customer value*

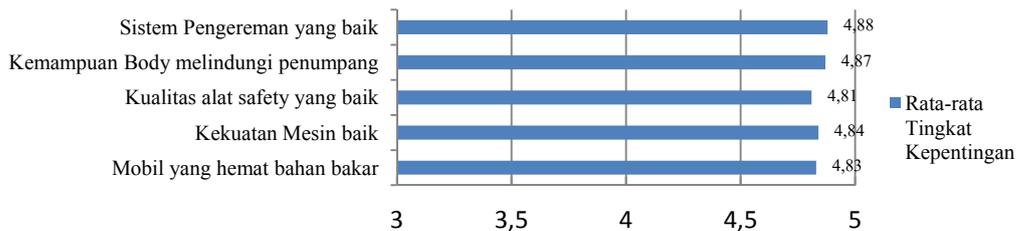
Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



**Gambar 1.** Alur Tahapan Penelitian

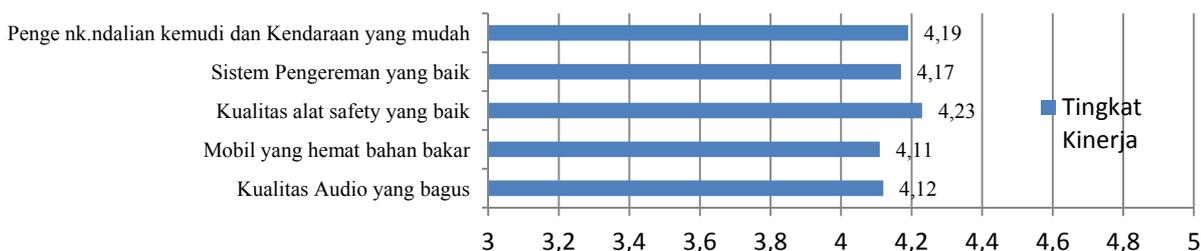
**PEMBAHASAN**

Analisis *mean* untuk mengetahui seberapa penting atau tidaknya masing-masing atribut tersebut. Rata-rata nilai kepentingan dari atribut-atribut mobil kategori LCGC.



**Gambar 2** Diagram Batang Nilai Rata-rata Kepentingan Atribut Mobil Kategori LCGC

Analisis *mean* untuk mengetahui seberapa baik kinerja atribut mobil kategori LCGC bagi konsumen.



**Gambar 3** Diagram Batang Nilai Rata-rata Kinerja Atribut Mobil Kategori LCGC

Nilai kesenjangan (*gap*) pada setiap aspek dari atribut mobil kategori LCGC, untuk mengetahui sejauh mana tingkat kesesuaian antara tingkat kinerja dan tingkat kepentingan pada setiap aspek tersebut.

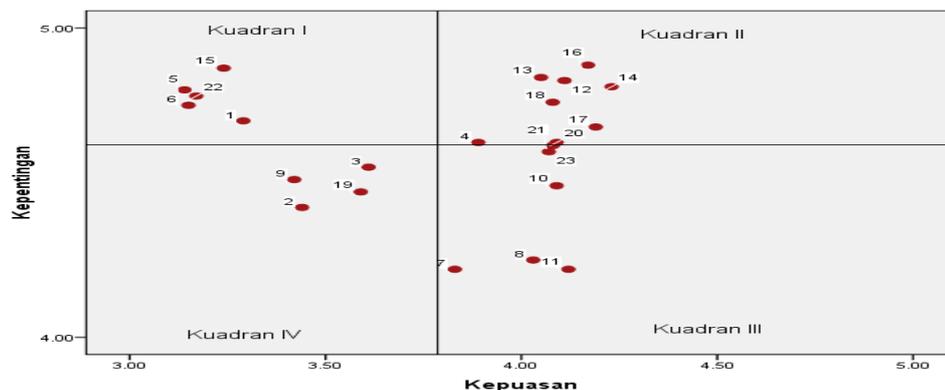
Tabel 1 *Customer Gap* Berdasarkan Aspek dari Atribut-atribut mobil kategori LCGC

Kriteria	Urutan	X	Y	X Aspek	Y Aspek	Customer Gap
Aspek Pasar	A1	3,29	4,7	3,42	4,64	-1,22(1)
	A2	3,44	4,42			
	A3	3,61	4,55			
	A4	3,89	4,63			
	A5	3,14	4,8			
	A6	3,15	4,75			

Lanjutan Tabel 1 *Customer Gap* Berdasarkan Aspek dari Atribut-atribut mobil kategori LCGC

Kriteria	Urutan	X	Y	X Aspek	Y Aspek	Customer Gap
Aspek Desain	A7	3,83	4,22	3,89	4,33	-0,44(5)
	A8	4,03	4,25			
	A9	3,42	4,51			
	A10	4,09	4,49			
	A11	4,12	4,22			
Aspek Performa	A12	4,11	4,83	4,08	4,83	-0,75 (3)
Mesin	A13	4,05	4,84			
Aspek Keamanan	A14	4,23	4,81	3,88	4,85	-0,97(2)
	A15	3,24	4,87			
	A16	4,17	4,88			
Aspek Kenyamanan	A17	4,19	4,68	3,89	4,64	-0,75(4)
	A18	4,08	4,76			
	A19	3,59	4,47			
	A20	4,09	4,63			
	A21	4,08	4,62			
	A22	3,17	4,78			
	A23	4,07	4,6			

Pemetaan dari nilai rata-rata kepentingan dan kinerja atribut-atribut yang ada pada mobil kategori LCGC oleh konsumen dapat digambarkan dalam *Quadran Analysis*. Pemetaan ini dilakukan agar dapat mengidentifikasi area mana saja yang dapat dilakukan perbaikan yang efektif dengan kata lain perbaikan yang paling mempengaruhi kepuasan konsumen. Dalam pemetaan ini, sumbu X mewakili tingkat kinerja/kepuasan dan sumbu Y mewakili tingkat kepentingan. Adapun titik perpotongan sumbu X dan Y berada di titik (3,78;4,62) yang merupakan rata-rata masing-masing sumbu.



Gambar 4 *Quadran Analysis*

Atribut-atribut mobil kategori LCGC yang berada pada kuadran I menunjukkan bahwa atribut tersebut memiliki tingkat kepentingan yang tinggi tetapi tingkat kinerja yang rendah.

Tabel 2 Atribut Pada Kuadran I

Kuadran I	
No	Atribut
A1	Harga Mobil Murah
A5	Harga Jual Kembali Tinggi
A6	Mobil berbahan bakar jenis Pertamax
A15	Kemampuan Body melindungi penumpang
A22	Keleluasaan gerak penumpang

Atribut-atribut mobil kategori LCGC yang berada pada kuadran II menunjukkan bahwa atribut mempunyai kepentingan yang tinggi namun juga mempunyai kinerja yang bagus

Tabel 3 Atribut Pada Kuadran II

No	Atribut
A4	Ketersediaan <i>Spare parts</i> mobil
A12	Mobil yang hemat bahan bakar
A13	Kekuatan Mesin baik
A14	Kualitas alat <i>safety</i> yang baik
A16	Sistem Pengereman yang baik
A17	Pengendalian kemudi dan Kendaraan yang mudah
A18	Suspensi berkualitas
A20	Kekedapan suara dari luar mobil yang baik

Atribut-atribut mobil kategori LCGC yang berada pada kuadran III menunjukkan bahwa atribut mempunyai kepentingan yang rendah namun mempunyai kinerja yang bagus.

Tabel 4 Atribut Pada Kuadran III

No	Atribut
A7	Desain <i>Body</i> yang menarik
A8	Desain interior mobil yang bagus
A10	Fitur Interior yang lengkap
A11	Kualitas Audio yang bagus
A21	Posisi tempat duduk yang nyaman
A23	Tingkat kebisingan Mesin rendah

Atribut-atribut mobil kategori LCGC yang berada pada kuadran IV menunjukkan bahwa atribut mempunyai kepentingan yang rendah namun juga mempunyai kinerja yang rendah.

Tabel 5 Atribut Pada Kuadran IV

No	Atribut
A2	Harga <i>Spare parts</i> Murah
A3	Biaya service mobil yang murah
A9	Ketersediaan Pilihan warna mobil
A19	Kestabilan mobil pada kecepatan tinggi

.Dari hasil analisa *Importance Performance Analysis*, selanjutnya ditentukan indeks *potential*

gain in costumer value.

Tabel 6 Indeks Potential Gain in Costumer Value

Atribut	Tingkat Kepuasan X	Tingkat Kepentingan Y	X.Y (a)	X.Ymax (b)	PGCV Indeks (b-a)	Priority
A1	3,29	4,7	15,463	23,5	8,037	5
A2	3,44	4,42	15,2048	22,1	6,8952	7
A3	3,61	4,55	16,4255	22,75	6,3245	8
A4	3,89	4,63	18,0107	23,15	5,1393	10
A5	3,14	4,8	15,072	24	8,928	1
A6	3,15	4,75	14,9625	23,75	8,7875	2
A7	3,83	4,22	16,1626	21,1	4,9374	11
A8	4,03	4,25	17,1275	21,25	4,1225	18
A9	3,42	4,51	15,4242	22,55	7,1258	6
A10	4,09	4,49	18,3641	22,45	4,0859	19
A11	4,12	4,22	17,3864	21,1	3,7136	21
A12	4,11	4,83	19,8513	24,15	4,2987	14
A13	4,05	4,84	19,602	24,2	4,598	12
A14	4,23	4,81	20,3463	24,05	3,7037	23
A15	3,24	4,87	15,7788	24,35	8,5712	4
A16	4,17	4,88	20,3496	24,4	4,0504	22
A17	4,19	4,68	19,6092	23,4	3,7908	21
A18	4,08	4,76	19,4208	23,8	4,3792	13
A19	3,59	4,47	16,0473	22,35	6,3027	9
A20	4,09	4,63	18,9367	23,15	4,2133	17
A21	4,08	4,62	18,8496	23,1	4,2504	16
A22	3,17	4,78	15,1526	23,9	8,7474	3
A23	4,07	4,6	18,722	23	4,278	15

## KESIMPULAN

1. Tingkat Kepentingan ada 5 atribut yang paling penting buat konsumen yaitu atribut sistem pengereman yang baik merupakan hal yang paling penting bagi pelanggan dengan *mean* 4,88 dan diikuti dengan atribut kemampuan body melindungi penumpang dengan *mean* sebesar 4,87 dimana kedua atribut merupakan kriteria aspek keamanan. Kemudian atribut kekuatan mesin baik dengan *mean* 4,84 dan atribut mobil yang hemat bahan bakar dengan *mean* 4,83 merupakan aspek performa mesin dan kualitas alat *safety* yang baik dengan *mean* 4,81 merupakan aspek keamanan. Tingkat kinerja ada 5 atribut yang dirasakan paling baik kinerjanya adalah atribut kualitas alat *safety* yang baik dengan *mean* 4,23 merupakan aspek keamanan, atribut pengendalian kemudi dan kendaraan yang mudah dengan *mean* 4,19 merupakan aspek kenyamanan, atribut sistem pengereman yang baik dengan *mean* 4,17 merupakan aspek keamanan, atribut kualitas audio yang bagus dengan *mean* 4,12 merupakan aspek desain kemudian diikuti dengan atribut mobil yang hemat bahan bakar dengan *mean* 4,11 merupakan aspek performa mesin. Nilai *gap* negatif tertinggi adalah pada aspek pasar (-1,22). Sedangkan nilai *gap* negatif terendah terdapat pada aspek desain (-0,44).
2. Atribut pada kuadran I yaitu harga mobil murah (A1), harga jual kembali tinggi (A5), mobil berbahan bakar jenis pertamax (A6), kemampuan body melindungi penumpang (A22), dan keleluasaan gerak penumpang (A15). Atribut prioritas perbaikan secara berurutan adalah A5, A6, A22, A15 dan A1.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Bapak M. Kusumawan Herliansyah, S.T., M.T., Ph.D., Bapak Ir. Subagyo, Ph.D., Ibu Nur Aini Masrurroh, S.T., M.Sc., Ph.D., dan Bapak Budi Hartono, S.T., MPM, Ph.D yang telah banyak membantu penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brandt, D.R., 2000, *An "Outside-In" Approach to Determining Customer Driven Priorities for Improvement and Innovation*, White Paper Series, Volume 2 – 2000
- Devi Susanti, 2011, Analisis Tingkat Kepentingan Dan Tingkat Kepuasan Konsumen Terhadap Atribut-Atribut Mobil Ford Fiesta, Thesis Universitas Indonesia Jakarta
- Engel, J.F. et.al., 1994, *Consumer Behavior*, Jilid 1, Alih Bahasa Budiyanto, Penerbit : Binarupa Aksara, Jakarta. Penerbit : Erlangga, Jakarta
- Eka Budiyanti, 2013, Dampak Hadirnya Mobil Murah di Indonesia, Ekonomi dan Kajian Publik, Vol V, No 18/III/P3DI/September/2013-50
- Ferrinadewi, E., dkk., 2004, Perilaku Konsumen : Analisis Model Keputusan, Universitas Atmajaya Press, Yogyakarta
- Ghozali, I., 2006, Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS, Cetakan keempat, Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro
- Ganesh, M., & Soundarapandiyam, K., 2011, *I 10 Hyundai Chennai Customers: Satisfaction Level*. *SCMS Journal of Indian Management*, 8(4), 78-90
- Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia, 2013, Data Penjualan dan Produksi 2006-2013 [http://gaikindo.or.id/download/statistic/01-current/01-bycategory/data\\_2012/bycat\\_market\\_jandec12.pdf](http://gaikindo.or.id/download/statistic/01-current/01-bycategory/data_2012/bycat_market_jandec12.pdf), (online accessed: May 19<sup>th</sup>, 2014)
- Hom, W.C. *Make Costumer Service Analysis A Little Easier with The PGCV Indeks*, *Quality Progress Magazine*, PP: 89-93, March.
- Kotler, P & Kevin L.K., 2008. Manajemen Pemasaran. Jakarta : Indeks
- Lohana, S. R., & Sharma, O., 2012, *A study on Customer Satisfaction towards Hyundai cars in Nanded city*. *International Journal of Marketing and Management Research*, 3 (4), 118-138.
- Martilla dan John C. J., 1977, *Importance-Performance Analysis*. *Journal of Marketing*, Vol. 41 No. 1 Januari 1977 : 77-79.
- Mirza, 1996, Penentuan Preferensi Mobil Sedan 1300-1600 cc untuk pengembangan Mobil Sedan Maleo, Thesis Intitut Teknologi Bandung
- Mowen, J.C, Minor.M., 1998, *Consumer Behavior*. New York : Prentice Hall Inc
- Matzler, K. Franz Bailom, Hans H. Hinterhuber, Birgit Renzl and Johann Pichler., 2004, *The Asymmetric Relationship between Attribute-Level Performance and Overall Customer Satisfaction; a Reconsideration of The Importance-Performance Analysis*. *Journal Industrial Marketing Management*. Vol 33. Pp 271 -277.
- Mahapatra, S., Kumar, J., & Chauhan, A., 2010, *Customer Satisfaction, Dissatisfaction and Post-Purchase evaluation: An empirical study on small size passenger cars in India*. *International Journal of Business and Society*, 2 (2), 97-108.
- Mandasari, R. dan Nurcaya, N., 2012, Pengaruh Sikap Konsumen Dan Norma Subyektif Terhadap Niat Beli Mobil Toyota Agya Di Kota Denpasar, *jpmanajemen*, unud.
- Peter dan Olson., 1996, Perilaku Konsumen dan Strategi Pemasaran. D. Sihombing (penerjemah). *Consumer Behavior*. Gelora Aksara Pratama. Jakarta
- Rao, V. R., & Kumar, R. V., 2012, *Customer Satisfaction towards Tata Motors*. *South Asian Journal of Marketing and Management Research*, 2(4), 127-150.
- Sumarwan, U., 2003, Perilaku Konsumen, Teori, dan Penerapannya dalam Pemasaran. Edisi Pertama. Indonesia: Ghalia
- Schiffman, L.G. dan Kanuk, Lesley, L., 2010, *Consumer Behavior*, New Jersey: Perason Prestice Hall
- Tse, D.K. dan Wilton, P.C. 1988. Models of Consumer Satisfaction Formation: An Extension. *Journal of Marketing Research* 25 (May): 204-212
- Tjiptono, F., 2001, Strategi Pemasaran. Edisi Pertama, Andi Offset. Yogyakarta
- Tjiptono, F., 2005, Service Quality and Satisfaction, Andi Offset, Yogyakarta
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, 2013. Latar Belakang yang Mendasari Pengembangan Industri Komponen Otomotif serta Mobil Hemat Energi dan Harga Terjangkau Buatan Dalam Negeri. <http://www.kemenperin.go.id/artikel/7478/Latar-Belakang-yang-Mendasari-Pengembangan-Industri-Komponen-Otomotif-serta-Mobil-Hemat-Energi-dan-Harga-Terjangkau-Buatan-Dalam-Negeri> (online accessed: May 22<sup>th</sup>, 2014)

**USULAN PERBAIKAN STRATEGI BAURAN PEMASARAN BUKU PERSIAPAN  
UAN SMA DAN SNMPTN BERDASARKAN *CORRESPONDENCE ANALYSIS*  
DAN *IMPORTANCE PERFORMANCE ANALYSIS*  
(STUDI KASUS : PENERBIT CV. YRAMA WIDYA)**

Arif Suryadi<sup>1</sup>, Armando S. M. Saragih<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung  
e-mail :<sup>1</sup>arif8s@yahoo.com,<sup>2</sup> armando\_smsaragih@yahoo.com

**ABSTRACT**

*The study was conducted in 2012 at a book publisher, CV Widya Yrama, Bandung. The purpose of the research was to develop proposals for improvement in marketing mix strategy in order to increase the sales on UAN SMA test preparation and SMPTN test preparation book using Correspondence Analysis and Importance Performance Analysis. The research variables were developed from marketing mix variables (Product, Price, Place and Promotion). Data were collected using questionnaires which were distributed to 110 students at Padjajaran University Bandung and Institut Teknologi Bandung. Validity test showed that all data were valid. Reliability test showed that data were highly reliable with cronbrach's alpha 0,844 and 0,864. The result from Correspondence Analysis showed that there were 15 attributes in which the company's performance were superior when they were compared to its competitor and there were 21 attributes which the company were lagged behind. The 21 attributes were then grouped into priority groups using Importance Performance Analysis. The proposal for improvements were developed from 21 variables which had been grouped into four group of priorities. There were 10 attributes which entered as first priority to be improved, 6 attributes were entered as second priority, 2 attributes were entered as third priority and 3 attributes were entered as fourth priority.*

**Kata kunci :** *marketing strategy, marketing mix, Correspondence Analysis, Importance Performance Analysis*

**PENDAHULUAN**

Penelitian dilakukan di penerbit CV Yrama Widya. Perusahaan sudah berdiri dari tahun 1985. Selama ini perusahaan menerbitkan buku-buku persiapan ujian seperti persiapan UN dan US untuk tingkat SD, SMP dan SMA serta buku-buku pelajaran untuk tingkat SD, SMP, SMA dan SMK seperti buku-buku pelajaran Bahasa Inggris, Bahasa Indonesia, Matematika (edisi bahasa Indonesia dan edisi Bilingual), Fisika, Kimia dan buku pelajaran lainnya.

Masalah yang dihadapi oleh perusahaan adalah menurunnya penjualan buku persiapan UAN SMA dan SNMPTN sebesar 25,16% jika dilakukan perbandingan penjualan tahun 2010 dan 2011. Penelitian dilakukan untuk mencari atribut variabel bauran pemasaran yang telah dilakukan oleh CV Yrama Widya yang jika dibandingkan dengan pesaingnya masih tertinggal.

Variabel penelitian diambil dari bauran pemasaran Kotler (2009), dimana:

- Hal-hal yang termasuk kedalam variabel *product* diantaranya adalah: variasi produk, kualitas produk, desain produk, *features*, nama merek, kemasan produk, ukuran produk, jasa, garansi dan kebijakan pengembalian produk.
- Hal-hal yang termasuk kedalam variabel *price* diantaranya adalah: daftar harga, diskon, penyesuaian, lama pembayaran, syarat kredit.
- Hal-hal yang termasuk kedalam variabel *place* diantaranya adalah: saluran penjualan, daerah penjualan, *assortments*, lokasi penjualan, persediaan, dan transportasi.
- Hal-hal yang termasuk kedalam variabel *promotion* diantaranya adalah: promosi penjualan, iklan, tenaga penjual, *public relations*, *direct marketing*.

**METODE PENELITIAN**

Pengumpulan data diperoleh dari penyebaran kuesioner. Penyebaran kuesioner dilakukan dua kali: penyebaran pertama adalah penyebaran kuesioner pendahuluan untuk mengetahui buku dari penerbit mana sajakah yang sering dibeli oleh konsumen apabila membutuhkan buku persiapan ujian UAN dan SMPTN, penyebaran kedua adalah penyebaran kuesioner penelitian yang bertujuan untuk

melihat atribut bauran pemasaran mana saja yang dianggap penting oleh konsumen, seberapa besar kinerja CV Yrama Widya pada masing-masing atribut bauran pemasaran dan atribut bauran pemasaran mana sajakah yang CV. Yrama Widya masih tertinggal dari pesaingnya.

Hasil penyebaran kuesioner pendahuluan menunjukkan bahwa penerbit yang sering dibeli oleh konsumen untuk buku persiapan test UAN SMA dan SMPTN adalah: Erlangga, Grasindo dan Epsilon.

Kuesioner penelitian disusun dengan mengembangkan atribut dari masing-masing variabel bauran pemasaran. Terdapat 44 buah atribut yang berhasil dikembangkan, seperti tampak pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Atribut hasil pengembangan bauran pemasaran

Var	Atribut
1	Ringkasan materi pelajaran sesuai dengan materi soal
2	Ilustrasi gambar sesuai dengan materi soal
3	Sumber soal yang lengkap dari SMPTN beberapa tahun sebelumnya
4	Materi soal sesuai dengan perkembangan ilmu terbaru
5	Materi soal relevan dengan materi pelajaran di sekolah
6	Materi soal sesuai dengan kurikulum pendidikan yang berlaku saat ini
7	Materi soal yang muktahir
8	Prediksi soal yang akurat
9	Materi soal disusun berdasarkan tingkat kesulitan
10	Penyajian materi soal yang mudah dipelajari
11	Sistematika penyajian yang konsisten
12	Penyajian materi soal yang merangsang pola pikir kreatif
13	Kelengkapan kunci jawaban
14	Kunci jawaban dan pembahasan yang tepat
15	Kunci jawaban dan pembahasan yang mudah dimengerti
16	Kunci jawaban / rumus cepat yang tepat
17	Kunci jawaban / rumus alternatif yang tepat
18	Kelengkapan buku persiapan untuk berbagai mata pelajaran
19	Kelengkapan buku persiapan untuk berbagai penjuruan (IPA, IPS, IPC, Bahasa)
20	Penulis buku yang ternama dan berpengalaman
21	Minimnya kesalahan pengetikan
22	Penyajian <i>layout</i> buku yang menarik
23	<i>Design cover</i> yang menarik
24	Tulisan dalam buku yang mudah dibaca
25	Penyajian konten buku yang berwarna
26	Kualitas jenis kertas yang baik
27	Ukuran buku yang mudah dibawa
28	Bonus pembelian yang menarik
29	Tersedianya CD interaktif
30	Harga buku yang bersaing dengan buku-buku dari penerbit lain
31	Diskon yang ditawarkan menarik
32	Potongan harga untuk pembelian paket buku
33	Kesesuaian harga buku dengan tampilan fisik buku
34	Kesesuaian harga buku dengan <i>image</i> penerbit
35	Kesesuaian harga buku dengan <i>image</i> penulis
36	<i>Event</i> khusus di sekolah
37	<i>Event</i> promo di toko buku
38	Iklan yang menarik perhatian
39	Iklan di media cetak
40	Iklan di internet
41	Kesesuaian tampilan buku dengan iklan
42	Buku mudah diperoleh di toko-toko buku besar
43	Buku mudah diperoleh di toko-toko buku kecil
44	Buku dapat diperoleh secara online

Kuesioner yang disebarakan adalah sebanyak 110 buah yang disebarakan di Universitas Padjajaran Bandung dan Institut Teknologi Bandung dengan teknik *purposive sampling*.

**PEMBAHASAN**

Pengujian validitas dan reliabilitas menunjukkan bahwa semua data valid dengan tingkat reliabel yang tinggi, dimana nilai conbrach’s alpha 0,844 untuk tingkat kepentingan dan 0,864 untuk tingkat kinerja.

Hasil *Correspondence Analysis* (CA) menunjukkan dari 43 atribut yang diuji terdapat 21 atribut dimana penerbit CV. Yrama Widya tertinggal dibandingkan para pesaingnya, 8 atribut bersaing, dan 15 atribut unggul.

*Importance Performance Analysis* (IPA) digunakan untuk mengelompokan 42 atribut kedalam empat kelompok perbaikan, seperti tampak pada Gambar 2.



**Gambar 1** Kelompok Perbaikan dalam IPA

Hasil *Importance Performance Analysis* (IPA) menunjukkan terdapat 16 variabel berada pada kuadran 1, 19 variabel berada pada kuadran 2, 3 variabel berada pada kuadran 3 dan 6 variabel berada pada kuadran 4.

Penggabungan hasil pengolahan *Correspondence Analysis* dan *Importance Performance Analysis* adalah dengan menggunakan logika seperti yang tampak pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Logika Penggabungan CA dan IPA

Kelompok	Hasil CA	Hasil IPA	Prioritas perbaikan
1	Tertinggal	Kuadran 2	1
2	Tertinggal	Kuadran 1	2
3	Tertinggal	Kuadran 3	3
4	Tertinggal	Kuadran 4	4

Usulan perbaikan atribut bauran pemasaran diperoleh dengan menggabungkan hasil pengolahan *Correspondence Analysis* dengan hasil pengelompokan *Importance Performance Analysis* seperti tampak pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Kelompok Prioritas Perbaikan Berdasarkan Penggabungan CA dan IPA

Kelompok	Hasil CA	Hasil IPA	Var	Atribut
1	Tertinggal	Kuadran 2	7 16 20 21 24 26 35 36 37 38	Materi soal yang muktahir Kunci jawaban / rumus cepat yang tepat Penulis buku yang ternama dan berpengalaman Minimnya kesalahan pengetikan Tulisan dalam buku yang mudah dibaca (jenis dan ukuran font) Kualitas jenis kertas yang baik Kesesuaian harga buku dengan <i>image</i> penulis <i>Event</i> khusus di sekolah <i>Event</i> promo di toko buku Iklan yang menarik perhatian2
2	Tertinggal	Kuadran 1	8 17 19 22 23 42	Prediksi soal yang akurat Kunci jawaban / rumus alternatif yang tepat Kelengkapan buku untuk berbagai penjuruan (IPA, IPS, IPC, Bahasa) Penyajian <i>layout</i> yang menarik <i>Design cover</i> yang menarik Buku mudah diperoleh di toko-toko buku besar
3	Tertinggal	Kuadran 3	25 28	Penyajian konten buku yang berwarna Bonus pembelian yang menarik
4	Tertinggal	Kuadran 4	2 9 27	Ilustrasi gambar sesuai dengan materi soal Materi soal disusun berdasarkan tingkat kesulitan Ukuran buku yang mudah dibawa

## KESIMPULAN

- Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 10 atribut yang merupakan prioritas perbaikan pertama, 6 atribut prioritas perbaikan ke-dua, 2 atribut prioritas perbaikan ke-tiga dan 3 atribut prioritas perbaikan ke-empat.
- Atribut-atribut yang merupakan prioritas perbaikan pertama adalah:
  - Materi soal yang muktahir
  - Kunci jawaban / rumus cepat yang tepat
  - Penulis buku yang ternama dan berpengalaman
  - Minimnya kesalahan pengetikan
  - Tulisan yang mudah dibaca (jenis dan ukuran font)
  - Kualitas jenis kertas yang baik
  - Kesesuaian harga buku dengan *image* penulis
  - Event* khusus di sekolah
  - Event* promo di toko buku
  - Iklan yang menarik perhatian

## DAFTAR PUSTAKA

- Kotler, Keller. 2009. Manajemen Pemasaran, Edisi Tiga Belas. Erlangga.
- Saragih, Armando S.M. 2012. Analisis dan Usulan Strategi Pemasaran Berdasarkan Correspondence Analysis (CA) dan Importance Performance Analysis (IPA) (Studi Kasus: Penerbit CV. Yrama Widya. Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha.
- Sugiyono. 2006. Metode Penelitian Administrasi, CV. Alfabeta, Bandung.
- Supranto, J. 2001. Pengukuran Tingkat Kepuasan Pelanggan Untuk Meningkatkan Pangsa Pasar. PT Rineka Cipta, Jakarta.

## APLIKASI ERGONOMI PADA PERANCANGAN MEJA BATIK UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS DAN MENGURANGI KELUHAN PEMBATIK DI SENTRA INDUSTRI BATIK TULIS TEGAL

Siswiyanti<sup>1</sup>, Saufik Luthfianto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik industri, Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti Tegal  
e-mail :<sup>1</sup>siswiyanti@gmail.com,<sup>2</sup>saufik34@yahoo.com

### ABSTRACT

The purpose of the research is to produce an ergonomic batik table, to find the decline of musculoskeletal complaints, exhaustion and to find out the level of productivity. The research method used an experimental design with the same subject. Batik table (as an alternative gawangan) was designed by ergonomic. It considered the chair design and stove protector in order to be able to set its height, obliquity and It can be rotated to simplyfy the process of making batik. The result of musculoskeletal complaint after using gawangan shows that 20 workersa having complaint up to 60% getting pain at their upper necks and right arms, 50% getting pain at their left shoulders, backs and right hands, 55% getting pain at their right shoulders and upper left arms. In measuring exhaustion, we used questionnaires which consisted of 30 items. It was found some problems such as tiredness, less motivation and physic after working. From 20 workers felt tired with the level of complaints as follows : emasculation 57% ; less motivation 46% and weak of physic 59%. After using batik table, The result of musculoskeletal complaint shown that from 20 workers got pain with level of complaint : 25% getting pain of their lower necks ; 20% getting pain of their backs and buttocks; 30% getting pain at their right upper arms; 5% getting pain of their right elbows, and 15% getting pain of their right knees. In measuring exhaustion, we used questionnaires which consisted of 30 items. It was found some complaints such as tiredness, less motivation and physic after working. From 20 workers felt tired with the level of complaints as follows : emasculation 44%; less motivation 25% and the weak of physic 36%. The application of Ergonomic towards Batik Table Design proves the reduction of musculoskeletal level of complaint up to 20,83 %, extends The derivation of exhaustion complaint up to 20,18%, so there is an increase in batik productivity till 36,36%.

**Keywords:** the application of batik table, ergonomic, complaint, productivity

### PENDAHULUAN

Studi pendahuluan pada industri batik di Kalinyamat Wetan Kota Tegal terhadap 10 orang pembatik dengan posisi duduk di atas dingklik adalah : 50 % merasakan sakit pada leher bagian atas, pinggang, lengan bawah kiri, lutut kanan; 40 % merasakan sakit pada pantat, tangan kanan, paha kanan, lutut kiri dan betis kiri; 50 % agak sakit pada leher bagian bawah, lengan atas kanan, bokong, pantat, lengan bawah kanan, tangan kanan, paha kiri, kaki kiri. Hasil kelelahan secara umum penelitian pendahuluan terhadap 10 orang pembatik dengan posisi duduk di atas dingklik adalah : 69% disebabkan karena pelemahan kegiatan, 58% pelemahan motivasi dan 61 % pelemahan fisik.

Atas dasar hasil penelitian pendahuluan, maka peneliti mencoba untuk merancang peralatan (meja dan kursi) untuk melukis/nyanting (sebagai alat alternatif) menggunakan antropometri ergonomi. Peneliti berharap dengan rancangan gawangan baru akan menyebabkan posisi pekerja duduk di atas kursi sehingga mengurangi keluhan. Peneliti juga akan menguji terhadap tingkat Keluhan Musculoskeletal dan Kelelahan setelah dilakukan perancangan alat Alternatif tersebut. Suma'mur (1992) menyatakan bahwa penerapan ergonomi ke dalam sistem kerja telah terbukti mampu meningkatkan produktivitas, kesehatan, keselamatan dan kenyamanan kerja.

### Tujuan Penelitian

1. Untuk menghasilkan meja batik yang ergonomis
2. mengetahui tingkat penurunan keluhan *muskuskeletal* dan kelelahan setelah dilakukan perancangan meja batik secara Ergonomi
3. Untuk mengetahui tingkat produktivitas setelah dilakukan perancangan meja batik secara Ergonomi.

**Tinjauan Pustaka**

**Desain stasiun kerja dan sikap duduk**

Grandjean (1993) berpendapat bahwa bekerja dengan posisi duduk mempunyai keuntungan antara lain: pembebanan pada kaki, pemakaian energi dan keperluan untuk sirkulasi darah dapat dikurangi. Namun demikian kerja duduk terlalu lama dapat menyebabkan otot perut melemah dan tulang belakang akan melengkung sehingga cepat lelah. Sedangkan Clark (1996) menyatakan bahwa desain stasiun kerja dengan posisi duduk mempunyai derajat stabilitas tubuh yang tinggi, mengurangi kelelahan dan keluhan subjektif bila bekerja lebih dari 2 jam. Disamping itu tenaga kerja juga dapat mengendalikan kaki untuk melakukan gerakan. Pulat (1992) memberikan pertimbangan tentang pekerjaan yang paling baik dilakukan dengan posisi duduk adalah sebagai berikut: (1) pekerjaan yang memerlukan kontrol dengan teliti pada kaki, (2) pekerjaan utama adalah menulis atau memerlukan ketelitian pada tangan, (3) tidak diperlukan tenaga dorong yang besar, (4) objek yang dipegang tidak memerlukan tenaga bekerja pada ketinggian lebih dari 15 cm dari landasan kerja, (5) diperlukan tingkat kestabilan tubuh yang tinggi, (6) pekerjaan dilakukan pada waktu yang lama, (7) seluruh objek yang dikerjakan atau disuplai masih dalam jangkauan dengan posisi duduk.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pedoman pengukuran ergonomi data antropometri, yang diukur dari dimensi tubuh manusia (posisi duduk tegak dan posisi duduk samping). Pengukuran dimensi perancangan juga disesuaikan dengan alat dan bahan yang digunakan oleh pembatik pada posisi nyanting / melukis dengan cairan lilin. Subjek penelitian adalah 20 orang pembatik perempuan (dengan nama Kelompok Riski Ayu) yang ada di Kelurahan Kalinyamat Wetan RT 05/ Rw 01, Kecamatan Tegal Selatan, Kota Tegal, yang dipilih berdasarkan teknik random sampling sederhana (Nazir, 2009). Analisis deskriptif pada subjek dilakukan dengan menghitung rerata dan simpang baku untuk masing-masing kriteria yaitu usia, tinggi badan, berat badan, dan pengalaman kerja. Hasil dimensi tubuh dengan pengukuran antropometri akan dianalisis menggunakan: BMI (Body Mass Index), uji keseragaman data, standar deviasi, Uji Kecukupan data, Pengukuran Percentil, dan uji kenormalan data (Wignjosoebroto, S., 1992).

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen sama subjek, yaitu rancangan yang observasi variabel dilakukan beberapa kali, yang subyek kontrolnya sekaligus juga berlaku sebagai subyek eksperimen (Pratiknya, 1993). Bagan rancangan penelitian sebagai berikut :



**Gambar 1.** Rancangan Penelitian

Keterangan :

- O1 = Pengukuran kelelahan, keluhan muskuloskeletal, dan denyut nadi sebelum bekerja pada kelompok kontrol dengan menggunakan gawangan-dingklik
- O2 = Pengukuran kelelahan, keluhan muskuloskeletal, denyut nadi dan produktivitas setelah bekerja pada kelompok kontrol dengan menggunakan gawangan-dingklik
- WO = *Washing Out* (waktu istirahat untuk menghilangkan efek perlakuan sebelumnya agar tidak meninggalkan efek/respon) selama 1 hari.
- O3 = Pengukuran kelelahan, keluhan muskuloskeletal, dan denyut nadi sebelum bekerja pada kelompok eksperimen dengan menggunakan meja-kursi hasil perancangan ulang.
- O4 = Pengukuran kelelahan, keluhan muskuloskeletal, denyut nadi dan produktivitas sesudah bekerja pada kelompok eksperimen dengan menggunakan meja-kursi hasil perancangan ulang.

**Penentuan Jumlah sampel**

Perhitungan besar sampel untuk rancangan dengan subjek yang sama antara kelompok kontrol maupun kelompok eksperimen didasarkan pada rumus dari Sopiudin (2004) di bawah ini.

$$N_1 = \frac{2x\delta}{\mu_1 - \mu_2} f(\alpha, \beta) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

N = Jumlah Sampel

S = Standart Deviasi

$\mu_1$  = Rerata pada kelompok kontrol

$\mu_2$  = Rerata pada kelompok perlakuan

$\alpha$  = Konstanta (0,01)

$\beta$  = Konstanta (0,05)

F( $\alpha, \beta$ ) = 17,8

Hasil penelitian pendahuluan dengan subjek 10 orang diperoleh rerata untuk kuisioner tingkat keluhan muskuloskeletal sebesar 56 dan rerata untuk kuisioner kelelahan sebesar 66. Rerata tingkat keluhan muskuloskeletal setelah dilakukan perbaikan diharapkan menurun sebanyak 20% yaitu dari 56 menjadi 44,8. Sedangkan untuk kelelahan setelah dilakukan perbaikan diharapkan menurun sebanyak 20% yaitu dari 66 menjadi 52,8. Untuk  $\alpha = 0,05$  dan untuk  $\beta = 0,10$  maka besar sampel (n) untuk tingkat keluhan muskuloskeletal adalah sebanyak 11 orang dan untuk kuisioner kelelahan juga sebanyak 16 orang. Besarnya sampel ditambah 20% untuk menghindari terjadinya *drop out* subjek penelitian sehingga sampel ditetapkan menjadi 20 orang.

### Metode dan analisis data

Pengukuran keluhan Musculoskeletal dengan NIOSH Nordic Body Map Subjective Filling, pengukuran rasa lelah dengan 30 Item Self Rating Questionnaire Industrial Fatigue Research Committee dari Japan Association Of Industrial Health, pengukuran denyut nadi dengan bantuan stop watch, dan meteran logam untuk mengukur peralatan kerja. Data hasil kuesioner diolah dengan bantuan program *Statistical Program for Social Science* (SPSS) Versi 16 for windows. Analisis data dibagi dalam tiga bagian yaitu analisis deskriptif, uji normalitas, dan uji beda.

- Analisis kuantitatif menghitung rerata dan simpang baku untuk masing-masing kriteria yaitu usia, tinggi badan dan berat badan.
- Uji normalitas : menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov* (dengan tingkat kemaknaan  $\alpha = 0,05$ )
- Uji beda : menggunakan uji beda dua kelompok berpasangan dengan taraf signifikansi ( $\alpha=0,05$ ). Jika data berdistribusi normal, maka digunakan uji t berpasangan. Jika data tidak berdistribusi normal, maka digunakan uji Wilcoxon.

### PEMBAHASAN

#### Karakteristik Subjek

Subjek penelitian yaitu pembatik dengan jumlah 20 orang wanita. Diskripsi subjek ditunjukkan dalam Tabel 1 menyatakan bahwa usia subjek didapat rerata 37,55 th  $\pm$  9,10 th dengan rentangan 20-55 tahun. Tinggi badan subjek didapat rerata 1,51 m  $\pm$  0,08 m dengan rentangan 1,40-1,71 m. Berat badan subjek didapat rerata 54,25 kg  $\pm$  8,93 kg dengan rentangan 10-72 kg. Pengalaman kerja subjek didapat rerata 11,40 th  $\pm$  9,72 th dengan rentangan 2-40 tahun.

Tabel 1. Deskripsi Subjek

Aspek	Wanita		
	Rerata	Simpangan Baku	Rentangan
Usia (tahun)	37,55	9,10	20-55
Tinggi badan (m)	1,51	0,08	1,40-1,71
Berat Badan (kg)	54,25	8,93	10-72
Pengalama kerja (tahun)	11,40	9,72	2-40

#### Desain Kursi Batik

Perancangan kursi batik yang digunakan untuk aktivitas membatik (nyanting) menggunakan antropometri dimensi tubuh yang meliputi dimensi : TPO (tinggi popliteal atau tinggi lutut duduk), PP (pantat popliteal), LP ( lebar panggul), TBD (tinggi bahu pada posisi duduk, LB (lebar bahu), LS (lebar sandaran). Penerapan data antropometri dilakukan jika tersedia nilai mean (rata-rata) dan SD (standar deviasi) nya dari suatu distribusi normal. Adapun distribusi normal ditandai dengan adanya nilai mean (rata-rata) dan SD (standar deviasi). Sedangkan percentil adalah suatu nilai yang

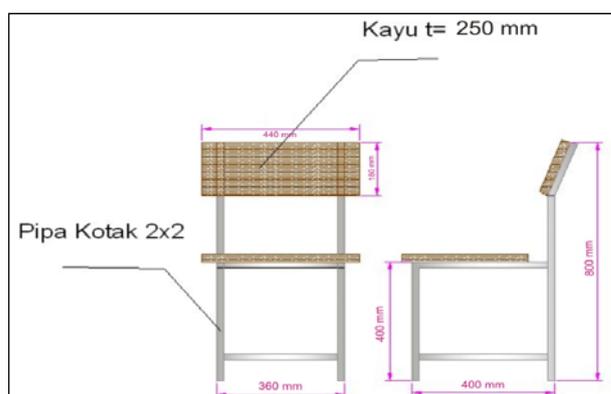
menyatakan bahwa persentas tertentu dari kelompok orang yang dimensinya sama dengan atau lebih rendah dari nilai tersebut (Nurmianto, Eko, 1996). Dibawah ini adalah Tabel 2 yang berisi hasil uji kecukupan data, uji keseragaman data serta Percentil untuk perancangan kursi.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Dimensi Tubuh untuk Uji Kecukupan Data , Uji Keseragaman Data dan Percentil pada Ukuran Perancangan Kursi (satuan cm).

No	Dimensi Tubuh (cm)	Rerata	SD	Kecukupan Data			Keseragaman Data			Nilai Persentil			all	Ukuran (cm) Perancangan
				N	N'	Ket	BKA	BKB	Ket	P5	P50	P95		
1	TPO : Tinggi kursi duduk	35,55	3,9132	20	19	cukup	43,3764	27,7236	seragam	29,1128	35,55	41,9872	4,45	40
2	PP : kedalaman tempat duduk	40	4,01314	20	19	cukup	48,0263	31,9737	seragam	33,3984	40	46,6016	40	40
3	LP : lebar kursi	38,3	2,38636	20	6	cukup	43,0727	33,5273	seragam	34,3744	38,3	42,2256	1,62557	36
4	TBD : tinggi sandaran	41,25	2,4252	20	6	cukup	46,1004	36,3996	seragam	37,2606	41,25	45,2394	2,73945	40
5	LB : panjang sandaran	40	3,04354	20	9	cukup	46,0871	33,9129	seragam	34,9934	40	45,0066	40	40
6	LS : lebar sandaran	18	1,71679	20	14	cukup	21,4336	14,5664	seragam	15,1759	18	20,8241	18	18

Dari nilai uji kecukupan data maka semua data antropometri dimensi tubuh manusia yang digunakan untuk merancang memiliki nilai uji kecukupan data memenuhi syarat ( $N' \leq N$ ), Sedangkan untuk keseragaman semua data dimensi tubuh sudah seragam atau masuk dalam batas kontrol bawah (BKB) dan batas kontrol atas (BKA). Nilai percentil yang digunakan pada perancangan tinggi kursi meliputi P5, P50 dan P95. Selanjutnya dari nilai percentil akan ditambahkan dengan nilai allowance (kelonggaran) sehingga menjadi dasar untuk pengukuran.

Hasil pengukuran menggunakan antropometri dimensi tubuh pembatik menunjukkan bahwa untuk merancang ketinggian kursi menggunakan dimensi tinggi popliteal (TPO) dengan percentil (P50) yaitu (40 cm). berdasarkan Prinsip-prinsip umum desain kursi menurut Pheasant (1987). Ukuran dan bentuk dasar dari beberapa kursi harus ditentukan dengan pertimbangan-pertimbangan ukuran Antropometri. Tinggi kursi harus tidak terlalu tinggi dari popliteal pemakai berdasarkan prinsip Pheasant (1987) , sedangkan untuk merancang kedalam tempat duduk dari dimensi (PP) percentile (P50) yaitu (40 cm). Lebar kursi (LB) yaitu percentile (P5) dengan nilai 36 cm, Tinggi sandaran duduk (TBD) percentile (P5) ukuran ( 40 cm), panjang sandaran (LB) persentil (P50) ukuran (40 cm) dan lebar sandaran dimensi (LS) percentile (P50) nilai (18 cm). Gambar 5.2 dibawah ini merupakan rancangan kursi batik sesuai dengan antropometri dimensi pembatik.



**Gambar 2.** Desain Kursi

### Uji Normalitas Terhadap Dimensi Tubuh

Uji Normalitas untuk menguji data dimensi tubuh dan bertujuan untuk mengetahui apakah sampel berasal dari populasi dengan sebaran distribusi normal. Uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov* ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Rerata, Simpang Baku Dan Uji Normalitas Terhadap Dimensi Tubuh Desain Kursi

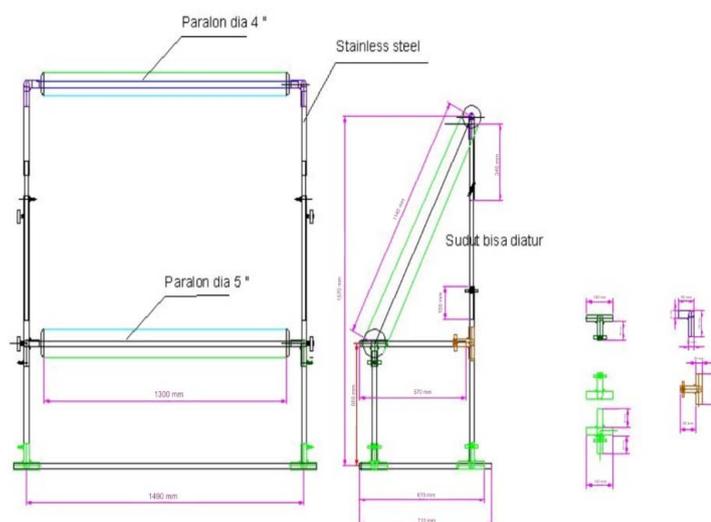
Aspek	Rerata (cm)	Simpang Baku	P
Tinggi Popliteal (TPO)	35,55	3,91	0,716
Pantat Popliteal (PP)	40,00	4,01	0,902
Lebar Pinggul (LP)	38,30	2,39	0,519
Tinggi Bahu Duduk (TBD)	41,25	2,43	0,068
Panjang sandaran (LB)	40,00	3,04	0,759
Lebar sandaran (LS)	18,00	1,72	0,400

$p$  = nilai probabilitas

Berdasarkan perhitungan, didapat nilai  $p$  pada seluruh aspek lebih besar dari pada 0.05 ( $p > 0,05$ ) dengan demikian semua data berdistribusi normal.

### Desain Meja Batik

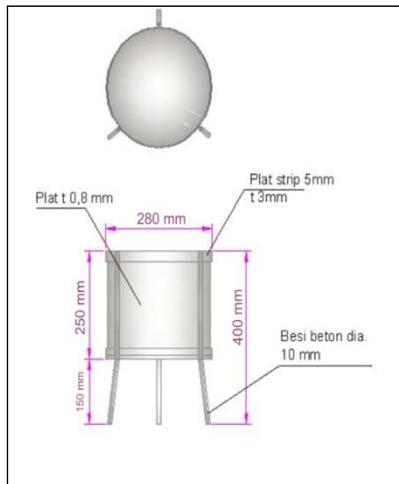
Suma'mur (1987) menyatakan bahwa tinggi dataran kerja sangat penting artinya, karena sikap tubuh ditentukan oleh dataran kerja. Tinggi meja ini harus disesuaikan dengan sifat pekerjaan, yaitu; Pada pekerjaan-pekerjaan yang lebih membutuhkan ketelitian, tinggi meja adalah 10-20 cm lebih tinggi dari tinggi siku. Dalam merancang tinggi meja mengacu pada ketinggian kursi sehingga meja dapat diatur ketinggiannya menyesuaikan dengan sikap/posisi kerja kegiatan nyanting. Meja yang dirancang memiliki sudut kemiringan yang bisa diatur dengan asumsi supaya gerakan tangan tidak terlalu jauh dalam menjangkau malam dan melukis / nyanting sehingga meja bisa diputar. Panjang meja mengacu pada lebar kain yaitu 130 cm, dan lebar meja menyesuaikan bisa diatur dengan dasar minimal ukuran 120 cm. pemilihan bahan / material meja untuk kerangka terbuat dari stainless steel dan agar meja mudah diputar menggunakan paralon diameter 4 inci dan 5 inci. Gambar 3 dibawah ini merupakan desain meja batik.



**Gambar 3.** Desain Meja Batik

**Desain Pelindung Kompor**

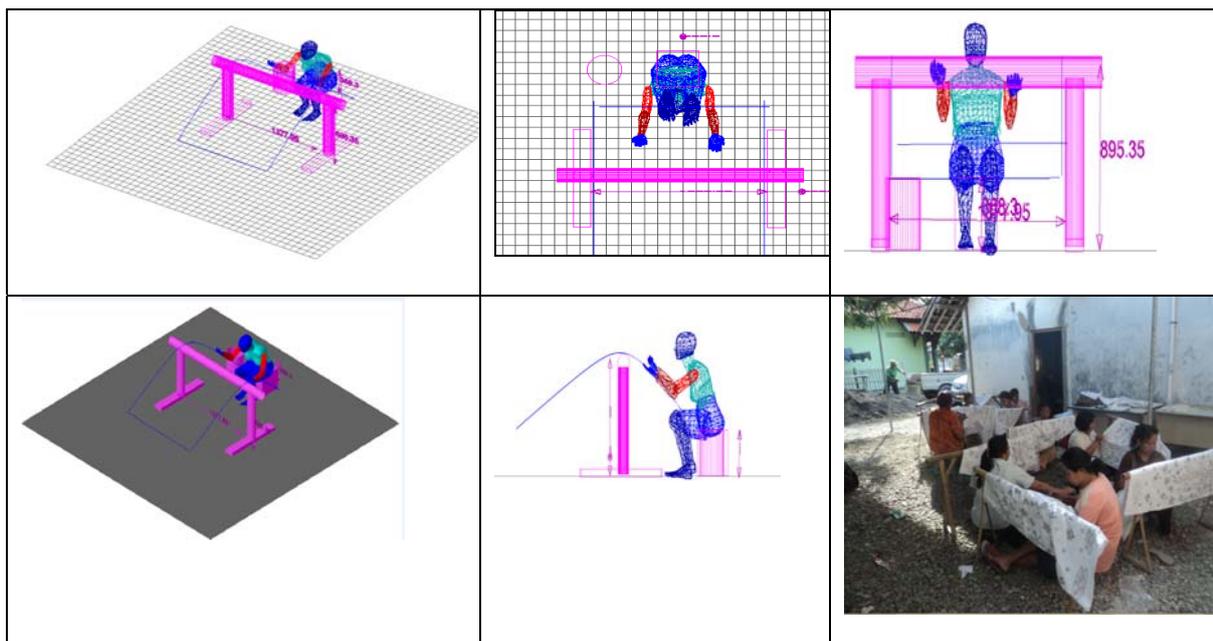
Rancangan pelindung kompor menyesuaikan ketinggian kursi dan tinggi kompor, sehingga diperoleh hasil rancangan pelindung kompor seperti pada gambar 4.



**Gambar 4.** Desain Pelindung Kompor

**Posisi / sikap kerja Pembatik menggunakan gawangan**

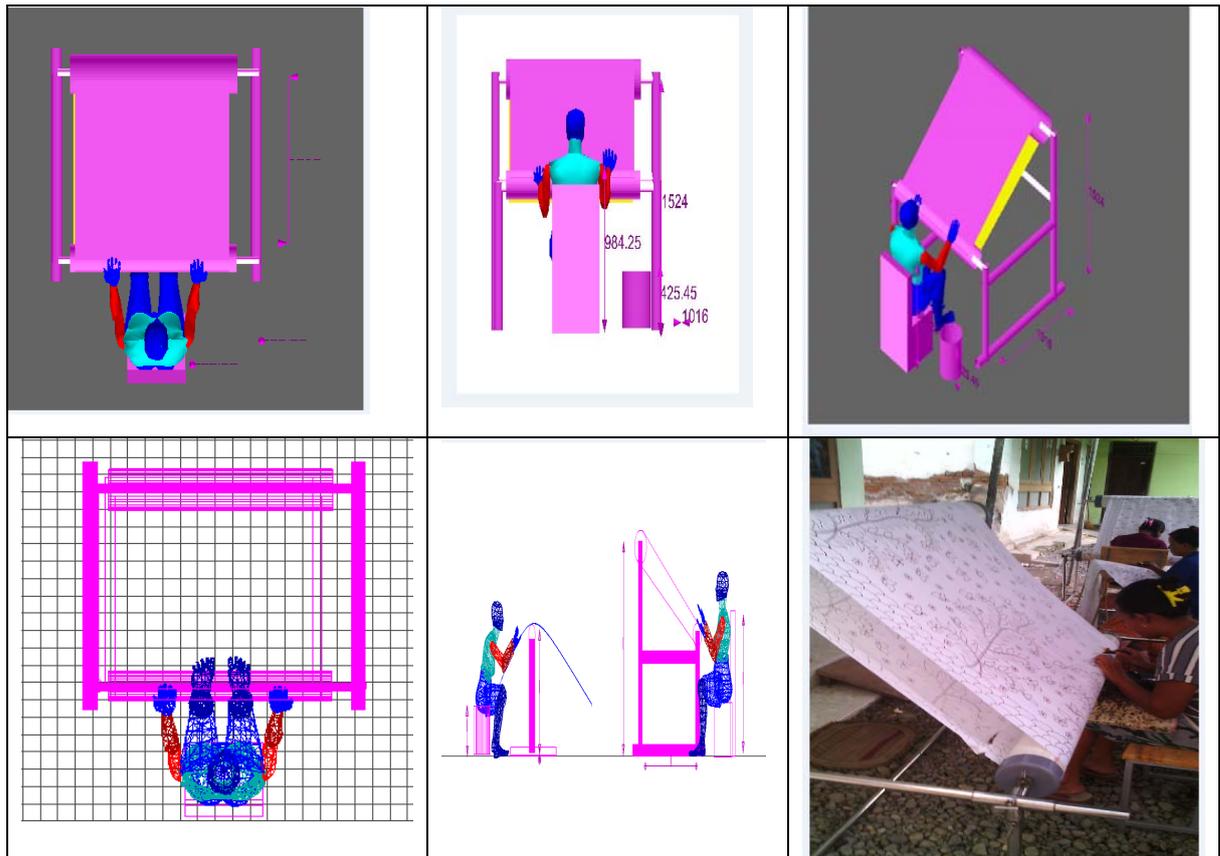
Pada Gambar 5. Tata letak peralatan untuk posisi membatik dengan duduk di atas dingklik memiliki ukuran rata-rata sebagai berikut : tinggi wajan 20 cm, jangkauan terhadap wajan 49 cm, tinggi gawangan 80 cm, panjang gawangan 111 cm dan ukuran dingklik rata-rata adalah 39 x 29 cm. Sikap kerja duduk di atas dingklik : adalah sikap atau posisi tubuh pada saat membatik dengan duduk di atas dingklik , bahan yang dikerjakannya diletakkan di depan tubuh, atau diletakkan di atas gawangan selanjutnya sikap tubuh pengrajin membungkuk menyesuaikan dengan bahan/alat yang dikerjakan. Posisi lutut (kaki) pembatik ditekuk dan kadang lurus ke depan (Siswiyanti, Luthfianto,S., 2011). Pada saat duduk tanpa menyandar, akan lebih baik jika tulang pinggul condong/miring ke depan untuk mendapatkan sikap tubuh yang netral sehingga mempertahankan sikap demikian akan memerlukan aktivitas otot (Tarwaka, 2013).



**Gambar 5.** Posisi / sikap kerja Pembatik menggunakan gawangan

**Posisi / sikap kerja Pembatik menggunakan meja batik**

Pada Gambar 6. Tata letak peralatan untuk posisi membuat dengan duduk di atas meja memiliki ukuran ketinggian meja yang dapat diatur, dan kemiringan meja bisa mencapai  $70^{\circ}$ . Jangkauan tangan saat mengambil cairan malam melalui kompor sudah disesuaikan dengan kedudukan kompor dan kursi. Meja dapat diputar sehingga memudahkan kain bisa dilukis dengan mudah. Tinggi kedalaman meja bagian bawah untuk memudahkan akses kaki. Kedalaman meja untuk kemudahan akses kursi adalah mempertimbangkan agar lutut tidak sampai membentur kedalaman meja. Posisi duduk dengan bersandar akan mengurangi tulang pinggul condong/miring ke depan (Tarwaka, 2013).



**Gambar 6.** Posisi / sikap kerja Pembatik menggunakan meja batik

### Uji Normalitas Terhadap Keluhan Muskuloskeletal, Kelelahan, dan Produktivitas

Uji Normalitas untuk menguji data kuisioner tingkat keluhan muskuloskeletal kelompok kontrol sebelum beraktivitas, tingkat keluhan muskuloskeletal kelompok eksperimen sebelum beraktivitas, tingkat keluhan muskuloskeletal kelompok kontrol setelah beraktivitas, tingkat keluhan muskuloskeletal kelompok eksperimen setelah beraktivitas, kelelahan kelompok kontrol sebelum beraktivitas, kelelahan kelompok eksperimen sebelum beraktivitas, kelelahan kelompok kontrol setelah beraktivitas, kelelahan kelompok eksperimen setelah beraktivitas, produktivitas kelompok kontrol sebelum beraktivitas, produktivitas kelompok eksperimen sebelum beraktivitas, produktivitas kelompok kontrol setelah beraktivitas, produktivitas kelompok eksperimen setelah beraktivitas. Uji normalitas ini bertujuan untuk mengetahui apakah sampel berasal dari populasi dengan sebaran distribusi normal. Uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smir*

**Tabel 4.** Rerata, Simpang Baku Dan Uji Normalitas Terhadap Tingkat Keluhan Muskuloskeletal, Kelelahan dan Produktivitas

Aspek	Rerata	Simpang Baku	P
Aspek keluhan muskuloskeletal kelompok kontrol	59,30	9,31	0,901
Aspek kelelahan kelompok kontrol	61,45	9,42	0,421
Aspek produktivitas kelompok kontrol	0,0046	0,0015	0,491
Aspek keluhan muskuloskeletal kelompok eksperimen	46,95	5,82	0,759
Aspek kelelahan kelompok eksperimen	49,05	8,38	0,983
Aspek produktivitas kelompok eksperimen	0,0063	0,00063	0,551

**p** = nilai probabilitas

Berdasarkan perhitungan, didapat nilai *p* pada seluruh aspek lebih besar daripada 0.05 ( $p > 0,05$ ) dengan demikian semua data berdistribusi normal.

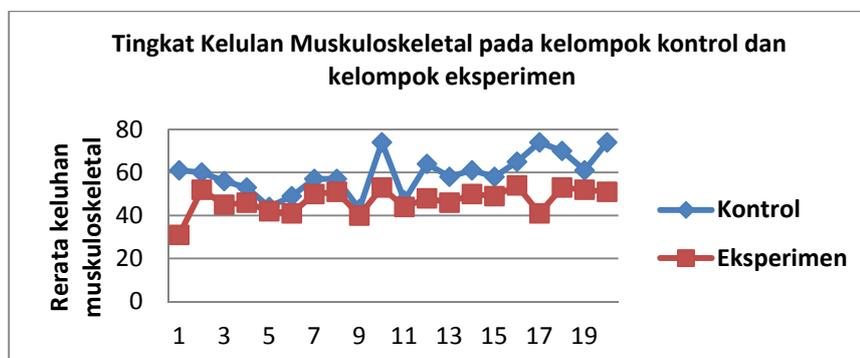
#### Uji T Terhadap Keluhan Muskuloskeletal, kelelahan, dan Produktivitas

Hasil uji Normalitas keseluruhan data berdistribusi normal, maka analisis yang digunakan adalah uji *compare mean* yaitu dengan menggunakan uji t berpasangan (*Paired sample T-Test*). Hasil uji t untuk subjek ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Rerata, Beda Rerata, dan Uji t Antara Kelompok Kontrol dan Kelompok Eksperimen

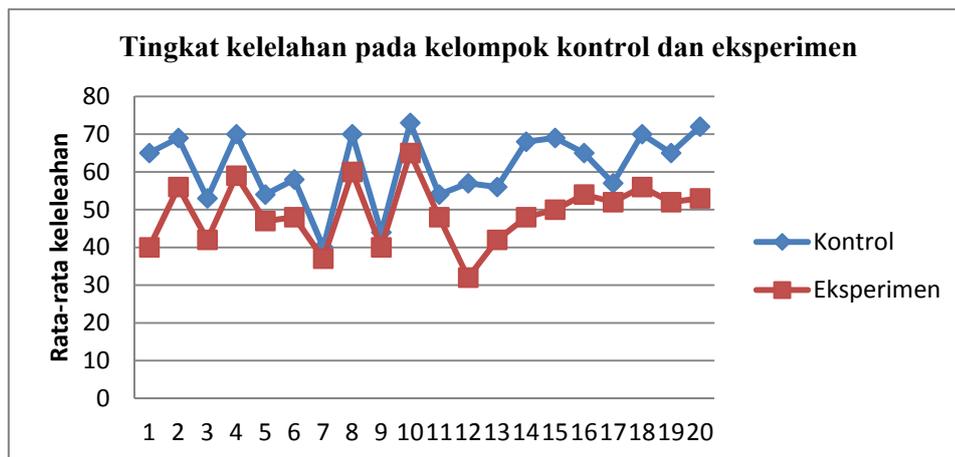
Variabel	Kelompok	Rerata	Simpangan Baku	Beda Rerata	t hitung	P
Keluhan Muskuloskeletal	Kontrol	59,3	9,31			
	Ekperimen	46,95	5,82	-12,35	4,385	0,000
Kelelahan	Kontrol	61,45	9,42			
	Ekperimen	49,05	8,38	-12,40	4,753	0,000
Produktivitas	Kontrol	0,0046	0,0015			
	Ekperimen	0,0063	0,0006	0,0017	-5,75	0,000

Tabel 5. menyatakan bahwa tingkat keluhan muskuloskeletal, kelelahan dan produktivitas pada sampel didapat nilai probabilitas masing-masing sebesar 0,000; 0,000; dan 0,000 ( $p < 0,05$ ). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa terdapat penurunan yang bermakna antara semua variabel pada kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Perbedaan tingkat keluhan muskuloskeletal, kelelahan dan peningkatan produktivitas antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dapat dilihat pada Gambar Grafik di bawah.



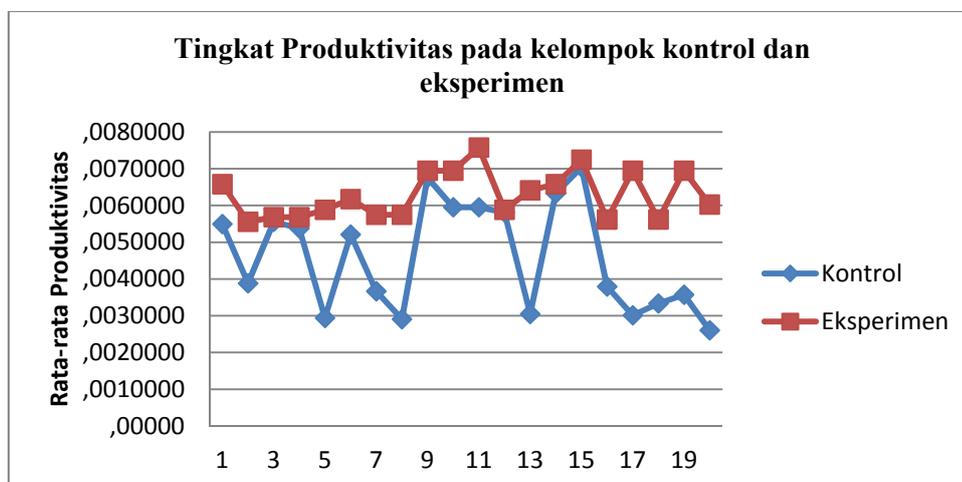
**Gambar 7.** Grafik Tingkat Keluhan Muskuloskeletal pada Kelompok kontrol dan Eksperimen

Gambar 7. menyatakan bahwa beda rerata tingkat keluhan muskuloskeletal antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sebesar 12,35 atau terjadi penurunan keluhan muskuloskeletal sebesar 20,83 %. Berdasarkan Gambar 7a. sebagian besar sampel mengalami penurunan tingkat keluhan muskuloskeletal. Dari hasil kuisioner tingkat keluhan muskuloskeletal, didapat penurunan pada keluhan subyektif yaitu sakit pada leher bagian atas dari 60 % menjadi 0 %, sakit pada leher bagian bawah dari 40 % menjadi 25 %, sakit pada punggung dari 50 % menjadi 20%, sakit pada lengan atas kanan dari 60% menjadi 30%, sakit pada bokong dari 45% menjadi 20%, sakit pada lutut kiri dari 30% menjadi 15%. Perbaikan sikap kerja atau posisi tubuh pembatik posisi duduk di atas meja dapat mengurangi keluhan system musculoskeletal pembatik tulis.



Gambar 8. Grafik Tingkat Kelelahan pada Kelompok kontrol dan Eksperimen

Gambar 8. menyatakan bahwa Beda rerata antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sebesar 12,40 atau terjadi penurunan kelelahan sebesar 20,18 %. Perbedaan tingkat kelelahan antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dapat dilihat pada Gambar 7b. Berdasarkan Gambar 7b sebagian besar sampel mengalami penurunan kelelahan. Dari hasil hasil kuisioner kelelahan, didapat penurunan pada kelelahan yaitu Penurunan pelemahan kegiatan dari 57 % menjadi 44 %, pelemahan motivasi dari 46 % menjadi 25 %, pelemahan fisik dari 59 % menjadi 36%. Perbaikan sikap kerja atau posisi tubuh pembatik dari posisi duduk di atas meja dapat mengurangi gangguan kelelahan kerja pembatik tulis.



Gambar 9. Grafik Tingkat Produktivitas pada Kelompok kontrol dan Eksperimen

Gambar 9. menyatakan bahwa Beda rerata antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen adalah sebesar 0,0017 atau terjadi peningkatan produktivitas sebesar 36,36 %. Gambar 7c menjelaskan bahwa sebagian besar sampel mengalami peningkatan tingkat produktivitas kerja antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Perbaikan sikap kerja atau posisi tubuh pembatik dari posisi duduk di meja dapat meningkatkan produktivitas kerja pembatik tulis. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan sikap kerja pembatik duduk di atas dingklik menjadi duduk di atas meja dapat mengurangi keluhan sistem muskuloskeletal, kelelahan kerja dan meningkatkan produktivitas kerja pembatik. Sesuai dengan pernyataan Suma'mur (1992) yang menyatakan bahwa penerapan ergonomi ke dalam sistem kerja telah terbukti mampu meningkatkan produktivitas, kesehatan, keselamatan dan kenyamanan kerja.

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sementara sebagai berikut:

1. Meja batik didesain secara ergonomi mempertimbangkan desain kursi dan pelindung kompor. Meja batik memiliki desain yang bisa diatur ketinggian dan kemiringannya mencapai 70<sup>0</sup> serta bisa diputar sehingga memudahkan dalam proses menyanting.
2. Aplikasi Ergonomi pada Perancangan Meja Batik memberikan penurunan tingkat keluhan muskuloskeletal sebesar 20,83 %, memberikan penurunan keluhan kelelahan sebesar 20,18 %.
3. Aplikasi Ergonomi pada Perancangan Meja Batik memberikan peningkatan produktivitas sebesar 36,36 %.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Dikti dan Kopertis Wilayah VI yang mendanai Penelitian Pemula, Bapak Saufik Luthfianto (anggota peneliti), mahasiswa yang mendampingi penelitian (mas Yainil dan Afan) serta pihak kelurahan dan pemilik home industri Rizki Ayu beserta para pembatik di Kelurahan Kalinyamat Wetan. Ucapan terimakasih tak lupa untuk keluarga tercinta. Smoga penelitian ini bermanfaat untuk menambah referensi kajian ilmu ergonomi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Clark, D.R. 1996. *Workstation Evaluation And Design*. Dalam : Battacharya, A. & McGlothlin, J.D.eds. Occupational Ergonomic. Marcel Dekker Inc.USA : 279-302.
- Grandjean, E. 1993. *Fitting the Task to the Man*. 4<sup>th</sup> ed. London : Taylor & Francis Ltd.
- Nazir, M. 2009. *Metode Penelitian*. Jakarta : Ghalia Indonesia.
- Nurmianto, E. 1996. *Ergonomi konsep dasar dan aplikasinya*. Jakarta : Guna Widya.
- Pratiknya, A. W. 1993. *Dasar-Dasar Metodologi Penelitian Kedokteran dan Kesehatan*. Jakarta : Raja Grafindo Persada.
- Pulat, BM. 1992. *Fundamental of Industrial Ergonomic*. New Jersey : Prectise Hall Englewood Cliffs.
- Siswiyanti dan Luthfianto, S. 2011. *Beban Kerja dan Keluhan Sistem Muskuloskeletal pada Pembatik Tulis di Kelurahan Kalinyamat Wetan Kota Tegal*. Universitas Pancasakti Tegal.
- Sopiyudin, D. 2004. *Statistika untuk Kedokteran dan Kesehatan, Uji Hipotesis dengan Menggunakan SPSS Seri I*. Jakarta : PT. Arkan.
- Suma'mur, 1987. *Hiperkes Keselamatan Kerja dan Ergonomi*. Jakarta : Dharma Bakti Muara Agung.
- Suma'mur, P.K. 1992. *Ergonomi ntuk Produktivitas Kerja*. Jakarta : Yayasan Swabhawa Karya.
- Tarwaka. 2013. *Ergonomi Industri*. Surakarta : Harapan Press.
- Wignjosubroto, S. 1992. *Teknik Tata Cara dan Pengukuran Kerja*. Jakarta :Penerbit Guna Widya.

## FAKTOR-FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI TERHADAP KETERLAMBATAN PROYEK KONSTRUKSI DI PT. NEWMONT NUSA TENGGARA

**Nugroho Adi**

*Program Studi Magister Manajemen Teknologi, Bidang Keahlian Manajemen Proyek  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia  
e-mail :nugroho.adi@nnt.co.id*

### **ABSTRACT**

*Delay in a project is a condition when a project could not be accomplished within the targeted time as planned. Construction project delay is one of critical issues in PT. Newmont Nusa Tenggara (PTNNT). Over than 67% of construction project performed by contractors at PTNNT were delayed. The objective of this study is to identify, analyze and determine the main contributing factors to construction projects delays at PTNNT from client and contractors perspective, and provide some advices to minimize the construction project delays issue.*

*The methodology used in this study is a quantitative approach conducted in four stages which are study literature, data collecting through a survey questionnaire, data analysis and conclusion. Survey questionnaire is designed based on delay factors that were identified from previous studies by setting six aspects of the study with forty five types of causes factors contribute to the projects delay. The data analysis is conducted quantitatively to the questionnaire response score by calculating the Frequency Index and Relative Importance Index number and using a Game Theory in Quantitative Management (QM) Analysis computer program software to determine the main factors causing project delays.*

*The result of the survey and data analysis of this study indicate that planning and scheduling is the most contributed aspects to the construction project delays and four main factors most contributed to construction project delays in PTNNT are additional work orders, inadequate technical and managerial qualification of the contractors, delays of equipment and material providing by client or project owner, and long-winded work permit approval. To minimize the loss as a result of project delays and potential production process disturbance, PTNNT and its contractors are required to improve their strategy in project management by putting more attention to the most contributed aspects and factors to the construction project delays as described in this study recommendation.*

**Key words:** *Construction Projects, Delays, Factor, PT. Newmont Nusa Tenggara*

### **PENDAHULUAN**

PT. Newmont Nusa Tenggara (PTNNT) adalah perusahaan pertambangan yang berlokasi di pulau Sumbawa dan telah beroperasi sejak tahun 2000 dengan hasil produk konsentrat tembaga dan emas. Berdasarkan data yang diperoleh dari Departemen Kontrak PTNNT, pada kurun waktu antara tahun 2010 sampai dengan 2013, ada sebanyak 411 proyek konstruksi dan sekitar 67,4% proyek konstruksi yang dikerjakan oleh kontraktor tersebut tidak dapat diselesaikan tepat waktu sebagaimana yang direncanakan.

Dalam penelitian terhadap proyek konstruksi di PTNNT ini, parameter waktu dipilih sebagai acuan data keterlambatan proyek, bukan biaya ataupun kualitas karena sejalan dengan tujuan penelitian untuk mencari faktor yang berkontribusi terhadap penambahan waktu atau perpanjangan waktu dari jadwal yang tertera di dalam kontrak. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan faktor-faktor yang paling berkontribusi terhadap keterlambatan proyek konstruksi di PT Newmont Nusa Tenggara (PTNNT) menurut persepsi pemilik proyek dan kontraktor pelaksana proyek, dan memberikan saran-saran alternatif solusi dalam upaya mengurangi terjadinya keterlambatan proyek konstruksi di PTNNT di waktu mendatang.

Lingkup kajian pada penelitian yang dilaksanakan ini dibatasi oleh beberapa hal yaitu :Data proyek yang dipergunakan sebagai acuan bersumber dari *database* Departemen Kontrak PTNNT mulai Januari 2010 sampai dengan Desember 2013. Responden kuesioner survey meliputi klien atau pemilik proyek di PTNNT yang terdiri dari manajer proyek dan tim inti proyek dan kontraktor di bidang konstruksi.

Salah satu bagian dalam tahapan penelitian ini adalah kajian pustaka yang berkaitan dengan keterlambatan proyek dan teori-teori yang menunjang. Berikut ini adalah beberapa uraian dari tinjauan pustaka tersebut. Bordatet *al.* (2004) menyatakan bahwa keterlambatan waktu pelaksanaan proyek adalah perbedaan antara pelaksanaan proyek pada saat perjanjian kontrak awal dan selang waktu penyelesaian proyek. Sementara dalam pengertian lain menurut Majid (2006), keterlambatan proyek dapat diidentifikasi sebagai adanya perbedaan waktu pelaksanaan pekerjaan dengan jadwal yang direncanakan pada dokumen kontrak, dan dapat dikategorikan sebagai tidak tepatnya waktu pelaksanaan proyek yang telah ditetapkan. Menurut Vidaliset *al.* dalam Al-Najjar (2008) mengatakan bahwa keterlambatan proyek konstruksi dipengaruhi oleh faktor eksternal

dan internal. Penyebab keterlambatan proyek internal berasal dari pemilik, perencana (*designer*), kontraktor atau konsultan. Penyebab keterlambatan proyek eksternal yaitu berasal dari luar proyek konstruksi.

Kraiem dan Dickman dalam Proboyo (2009) mengelompokkan penyebab keterlambatan waktu pelaksanaan proyek dalam 3 kategori besar yaitu :Keterlambatan yang layak mendapatkan ganti rugi (*compensable delay*), yakni keterlambatan yang disebabkan oleh tindakan, kelalaian atau kesalahan pemilik proyek. Keterlambatan yang tidak dapat dimaafkan (*non-excusable delay*), yakni keterlambatan yang disebabkan oleh tindakan, kelalaian atau kesalahan kontraktor. Keterlambatan yang dapat dimaafkan (*excusable delay*), adalah keterlambatan yang disebabkan oleh kejadian-kejadian di luar kendali baik pemilik maupun kontraktor.

Proboyo (2009) dan Ibrinke (2013) mengklasifikasikan penyebab keterlambatan proyek berdasarkan aspek manajemen yang diambil sesuai definisi manajemen proyek, manajemen konstruksi dan dokumen kontrak. Penyebab - penyebab keterlambatan proyek yang diklasifikasikan keberadaannya dalam 6 aspek kajian yaitu :

1. Aspek Perencanaan dan Penjadwalan Pekerjaan
2. Aspek lingkup dan dokumen pekerjaan (kontrak)
3. Aspek sistem organisasi, koordinasi dan komunikasi
4. Aspek kesiapan/penyiapan sumber daya
5. Aspek sistem inspeksi, kontrol dan evaluasi pekerjaan
6. Aspek lain-lain

Dalam penelitian ini, klasifikasi penyebab keterlambatan proyek yang ditinjau dari 6 aspek manajemen pelaksanaan seperti di atas dipergunakan sebagai acuan dalam pembuatan kuesioner dengan skala *Likert*. Skala *Likert* merupakan metode *summated rating* dan diaplikasikan untuk mengukur sikap seseorang terhadap sekumpulan pertanyaan yang berkaitan dengan variabel tertentu. Skala *Likert* dirancang untuk mengukur apakah sikap itu berada pada jenjang yang negatif atau positif kemudian diberi skor secara berjenjang. Skala *Likert* penting untuk mengetahui pendapat responden atau sikap tentang sesuatu, di mana responden harus mengidentifikasi lebih dekat pengalaman dan pendapat yang cocok sesuai dengan pertanyaan di dalam sebuah *rating scale*. Setiawan (2005)

Assaf (2006) menjelaskan bahwa *frequency index* merupakan suatu formula yang dipergunakan untuk meranking penyebab keterlambatan proyek berdasarkan frekuensi atau kekerapan dari kejadian yang diidentifikasi oleh responden. *Frequency Index* (F.I.) dalam satuan persen (%) dihitung dengan formula  $\frac{\sum a(n/N)}{4} * 100$  di mana a adalah konstanta pembobotan yang diberikan untuk masing-masing tanggapan dengan rentang antara 1 untuk kategori jarang dan 4 untuk kategori selalu, n adalah frekuensi dari tanggapan dan N adalah jumlah total dari tanggapan.

Untuk menentukan Peringkat dari faktor penyebab keterlambatan proyek yang berbeda-beda dari beberapa kontraktor dan konsultan, Odeh (2002) menggunakan pengukuran *relative importance index* yang dihitung berdasarkan persepsi tingkat kepentingan dari masing-masing responden, menggunakan skala 1 sampai dengan 5 di mana 1 mewakili kategori tidak penting dan 5 mewakili kategori sangat penting, menggunakan formula  $\frac{\sum W_i X_i}{\sum X_i}$  di mana i adalah kategori tanggapan tingkat kepentingan dengan skala angka 1,2,3,4 dan 5,  $W_i$  adalah bobot yang diberikan untuk masing-masing tingkat kepentingan dan  $X_i$  adalah frekuensi dari tanggapan ke-i yang diberikan dalam prosentase dari total tanggapan untuk masing-masing faktor penyebab.

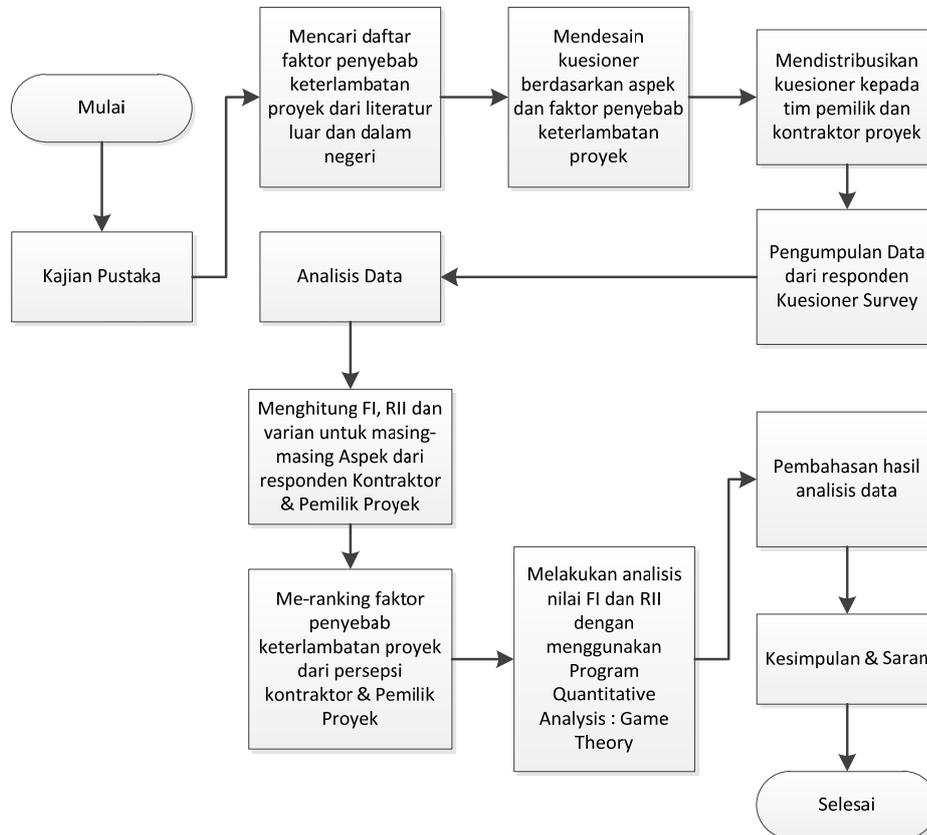
Teori permainan (*Game Theory*) merupakan bagian dari ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan pembuatan keputusan pada saat dua pihak atau lebih berada dalam kondisi persaingan atau konflik. Pihak-pihak yang bersaing ini diasumsikan bersifat rasional dan cerdas, artinya masing-masing pihak akan melakukan strategi tindakan yang rasional untuk memenangkan persaingan itu, dan masing-masing pihak juga mengetahui strategi pihak lawannya. Selanjutnya pihak-pihak ini disebut sebagai pemain (*player*). *Game Theory* juga dikenal sebagai studi atau kajian tentang seberapa optimal strategi-strategi diformulasikan di dalam konflik. Kajian mengenai teori permainan pertama kali diperkenalkan pada tahun 1944 oleh John von Neumann dan Oscar Morgenstern melalui buku yang diterbitkan dengan judul *Theory of Games and Economic Behavior*. Sejak saat itu teori permainan dipergunakan lebih luas di militer dalam strategi perang dan berbagai kalangan bisnis untuk menentukan strategi-strategi terbaik dalam lingkungan bisnis yang kompetitif. Model-model teori permainan diklasifikasikan dalam beberapa cara, bergantung pada faktor banyaknya jumlah pemain (*number of players*), jumlah dari hasil keuntungan dan kerugian (*sum of all payoffs*), dan banyaknya strategi yang dilakukan (*number of strategies employed*).

Dalam penelitian ini, model analisis yang dipergunakan adalah model teori permainan dengan dua jumlah pemain dan dengan jumlah kerugian dan keuntungan dari permainannya adalah nol, yang disebut sebagai permainan berjumlah nol atau permainan berjumlah konstan (*zero-sum games*). Hal ini mengingat dalam penelitian ini terdapat dua pihak yang menjadi obyek penelitian yaitu kontraktor dan pemilik proyek. Selain itu ditinjau dari kelompok strategi permainan dapat dibandingkan faktor-faktor penyebab keterlambatan proyek sebagai satu kelompok strategi dari pemain pertama, dan kelompok pemberi respon kuesioner yaitu kontraktor

dan pemilik proyek sebagai strategi permainan dari kelompok pemain kedua.

### METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif yang dilakukan dalam empat tahapan yaitu studi literatur, pengumpulan data melalui survey, analisis data dan kesimpulan. Skema bagan alir tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Skema Bagan Alir Tahapan Penelitian

Untuk menyusun peringkat penyebab keterlambatan proyek dari kriteria frekuensi kejadian, digunakan metoda analisis data dengan menghitung Indeks Frekuensi (1). Skala penilaian tingkat kekerapan atau frekuensi terjadinya faktor penyebab keterlambatan diberikan sebanyak 4 jenjang (Assaf, 2005) yaitu Skala 1 : Rendah (R), artinya jarang terjadi, hanya pada kondisi tertentu. Skala 2 : Sedang (S) artinya kadang terjadi atau terjadi pada kondisi tertentu. Skala 3 : Tinggi (T) artinya sering terjadi. Skala 4 : Sangat Tinggi (ST) dengan pengertian selalu terjadi pada setiap kondisi.

Untuk menyusun peringkat penyebab keterlambatan proyek dari kriteria tingkat kepentingan atau dampak yang dapat ditimbulkan, digunakan metoda analisis data dengan menghitung *Relative Important Index* (2). Skala penilaian penegasan tingkat kepentingan faktor penyebab keterlambatan diberikan sebanyak 4 jenjang yaitu Skala 1 : Sangat Tidak Menentukan (STM), artinya sangat tidak berdampak pada keterlambatan proyek. Skala 2 : Tidak Menentukan (T-M) artinya tidak berdampak pada keterlambatan proyek. Skala 3 : Menentukan (M) artinya memberikan dampak kepada keterlambatan proyek. Skala 4 : Sangat Menentukan (SM) dengan pengertian faktor tersebut diyakini sangat memberikan dampak yang signifikan terhadap terjadinya keterlambatan suatu proyek. Untuk menyusun peringkat penyebab keterlambatan proyek dari kriteria tingkat kepentingan, data perolehan jumlah responden selanjutnya diolah dengan memberikan bobot pada masing-masing skala sebesar -100, -50, +50, +100 untuk skala STM, TM, M dan SM sehingga dapat dihitung nilai indeks kepentingan relative RII (*Relative Importance Index*) yang merupakan bobot rata-rata masing-masing pernyataan.

Perhitungan nilai indeks untuk keseluruhan jenis penyebab akan menghasilkan formasi peringkat dari penyebab-penyebab, nilai indeks tinggi memberikan peringkat lebih atas dan seterusnya. Penentuan peringkat jenis penyebab keterlambatan secara keseluruhan berdasarkan indeks ini akan dilihat dalam 2 kelompok menurut kategori responden, yaitu responden pemilik proyek, dan responden kontraktor.

$$\text{Frequency Index (F.I) (\%)} = \sum a(n/N) \times 100/4 \quad (1)$$

di mana :

a = konstanta bobot diberikan untuk masing-masing tanggapan

(dengan rentang 1 untuk jarang sampai 4 untuk selalu terjadi)

n = frekuensi tanggapan

N = Jumlah total respon.

$$\text{Relative Important Index RII (Xm)} = \frac{\sum_{i=1}^{i=4} (n_i \times \text{bobot}_i)}{n} \quad (2)$$

di mana :

X = Kode aspek (A, B, ..., F)

m = Nomer urut jenis penyebab dalam aspek X (1, 2, 3, ...)

$n_i$  = Frekuensi pada skala i (i = 1, 2, ..., 4)

$\text{bobot}_i$  = Bobot pada skala i

$$n = \text{Jumlah total responden} = \sum_{i=1}^{i=4} n_i$$

Dari nilai *frequency index* dan *relative importance index* yang diperoleh untuk masing-masing faktor dan kelompok aspek, dengan menggunakan *software* program *Quantitative Management (QM) Analysis for Windows version 3.1* khususnya modul *Game Theory*, maka akan didapatkan kelompok aspek dan faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap keterlambatan proyek konstruksi yang merupakan hasil perpaduan dari kelompok responden kontraktor dan responden pemilik proyek. Dalam analisis menggunakan *Game Theory* ini, dipilih model permainan dengan jumlah 2 pemain dan dengan jumlah *payoffs* dari permainannya adalah nol atau konstan. Kelompok pemain yang mewakili pemain baris (*row player*) adalah jenis aspek atau faktor keterlambatan proyek dengan jumlah strategi sebanyak jumlah aspek atau sebanyak jumlah faktor yang akan dianalisis, dan pemain kolom (*column player*) adalah kelompok responden dengan 2 strategi yaitu strategi kontraktor dan strategi pemilik proyek.

Dengan memasukkan semua nilai *frequency index* atau *relative importance index* pada tabel *game theory* sesuai dengan hasil perolehan untuk masing-masing aspek atau masing-masing faktor dari responden kontraktor sebagai strategi ke-1 dan dari responden pemilik sebagai strategi ke-2, maka akan diperoleh solusi *game theory* yang memberikan nilai *Row Mix* dan nilai *Column Mix*. Dalam hal penentuan aspek atau faktor yang paling berkontribusi atau yang paling dominan terhadap keterlambatan proyek, maka nilai yang dicari atau diperhatikan adalah nilai *Row Mix* yang tidak sama dengan nol. Nilai ini menunjukkan angka persentase dimana strategi tersebut sebaiknya dipilih atau dimainkan sepanjang permainan untuk menghasilkan nilai permainan (*game value to row*) yang paling optimal. Jika nilai *Row Mix* adalah nol, hal ini mengindikasikan bahwa strategi tersebut sebaiknya tidak dimainkan karena memberikan kerugian pada salah satu atau kedua pihak pemain.

## PEMBAHASAN

Berdasarkan 31 jawaban kuesioner yang berasal dari responden kontraktor dan 32 jawaban kuesioner yang berasal dari responden pemilik proyek, dari setiap pilihan jawaban untuk masing-masing pertanyaan dalam kuesioner, setelah ditabulasikan dan dilakukan perhitungan nilai indeks frekuensi dan indeks kepentingan relatif maka diperoleh hasil seperti yang dapat dilihat dalam Tabel 1. FI(K) adalah nilai indeks frekuensi dari responden kontraktor, FI(P) adalah nilai indeks frekuensi dari responden pemilik proyek. RII(K) adalah nilai *Relative Importance Index* dari responden kontraktor dan RII(P) adalah nilai *Relative Importance Index* dari responden pemilik proyek.

Analisis data dengan memasukkan nilai indeks dari hasil pengolahan data ke dalam *software* program *Quantitative Management Analysis* khususnya modul *Game Theory* memberikan hasil analisis dengan tampilan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2 untuk analisis berdasarkan Indeks Frekuensi (FI) dan Gambar 3 untuk analisis berdasarkan RII.

Dalam Gambar 2, dapat dilihat bahwa hanya ada satu aspek dengan nilai *row mix* yang tidak sama dengan nol, dan dalam hal ini ditunjukkan dengan nilai 1. Dalam *game theory*, nilai 1 tersebut artinya adalah 100% dari waktu permainan, strategi atau aspek tersebut harus dimainkan untuk memenangkan permainan, karena strategi itulah yang memberikan keuntungan yang optimal. Dalam analisis aspek keterlambatan proyek, aspek tersebut dianalogikan sebagai aspek yang paling dominan untuk menjadi perhatian karena merupakan aspek yang memberikan nilai optimal dari keseluruhan strategi pemain baris (*row player*) yang dalam hal ini

merupakan perpaduan dari keseluruhan strategi jika dihadapkan dengan strategi dari pemain kolom (*column player*) yang dalam hal ini adalah perpaduan strategi dari kelompok responden kontraktor dan responden pemilik proyek.

**Tabel 1.** Nilai Indeks Frekuensi dan RII dari Setiap Sub Variabel

No.	Tinjauan Aspek dan Sebab Keterlambatan	FI (K)	Rerata	FI(P)	Rerata	RII (K)	Rerata	RII (P)	Rerata
<b>A</b>	<b>Aspek Perencanaan &amp; Penjadwalan</b>								
1	Penetapan jadwal proyek yang amat ketat oleh pemilik	60.83	51.81	68.33	56.39	26.67	32.78	60.00	50.56
2	Tidak lengkapnya identifikasi jenis pekerjaan yang harus ada	46.67		52.50		8.33		48.33	
3	Rencana urutan kerja yang tidak tersusun dengan baik/terpadu	45.83		55.83		16.67		56.67	
4	Penentuan durasi waktu kerja yang tidak seksama	55.83		58.33		61.67		51.67	
5	Rencana kerja pemilik yang sering berubah-ubah	58.33		60.00		58.33		43.33	
6	Metode konstruksi/pelaksanaan kerja yang salah atau tidak tepat	43.33		43.33		25.00		43.33	
<b>B</b>	<b>Aspek Lingkup dan Dokumen Pekerjaan (kontrak)</b>								
1	Perencanaan (gambar/spesifikasi) yang salah/tidak lengkap	50.83	49.79	50.00	51.25	51.67	37.08	55.00	34.38
2	Perubahan disain/detail pekerjaan pada waktu pelaksanaan	48.33		53.33		41.67		58.33	
3	Perubahan lingkup pekerjaan pada waktu pelaksanaan	50.83		54.17		48.33		31.67	
4	Kesalahan dan perbedaan di dalam dokumen kontrak	40.83		41.67		-15.00		11.67	
5	Perselisihan hukum / teknis antara pemilik dan kontraktor	32.50		33.33		-18.33		-8.33	
6	Informasi yang tidak jelas dan kurang terperinci di dalam gambar	56.67		50.83		46.67		51.67	
7	Adanya banyak (sering) pekerjaan tambah	64.17		71.67		76.67		50.00	
8	Adanya permintaan perubahan atas pekerjaan yang telah selesai	54.17		55.00		65.00		25.00	
<b>C</b>	<b>Aspek Sistim Organisasi, Koordinasi dan Komunikasi</b>								
1	Keterbatasan wewenang personil pemilik dalam pengambilan keputusan	44.17	45.93	57.50	53.33	-20.00	4.26	41.67	37.59
2	Kualifikasi personil/pemilik yang tidak profesional di bidangnya	45.00		45.83		3.33		28.33	
3	Cara inspeksi dan kontrol pekerjaan yang birokratis oleh pemilik	50.83		53.33		-13.33		18.33	
4	Kegagalan pemilik mengkoordinasi pekerjaan dari banyak kontraktor/sub kont	55.83		53.33		48.33		45.00	
5	Konflik antara kontraktor dan pihak konsultan atau pemilik	37.50		37.50		-18.33		-13.33	
6	Kelalaian/Keterlambatan oleh sub kontraktor pekerjaan	53.33		68.33		21.67		51.67	
7	Kualifikasi teknis dan manajerial yang buruk dari personil-personil dalam organisasi kerja kontraktor	44.17		67.50		-11.67		71.67	
8	Koordinasi dan komunikasi yang buruk antar bagian-bagian dalam organisasi kerja kontraktor	46.67		65.00		-1.67		50.00	
9	Terjadinya kecelakaan kerja	35.83		31.67		30.00		45.00	
<b>D</b>	<b>Aspek Kesiapan/Penyiapan Sumber Daya</b>								
1	Mobilisasi Sumber Daya (bahan, alat, tenaga kerja) yang lambat	60.83	48.54	61.67	52.29	55.00	27.50	50.00	35.42
2	Kurangnya keahlian dan ketrampilan serta motivasi kerja para pekerja-pekerja langsung di lokasi proyek	49.17		63.33		38.33		51.67	
3	Jumlah pekerja yang kurang memadai/sesuai dengan aktivitas pekerjaan yang ada	45.00		59.17		18.33		56.67	
4	Tidak tersedianya bahan secara cukup pasti/layak sesuai kebutuhan	51.67		51.67		43.33		40.00	
5	Tidak tersedianya alat/peralatan kerja yang cukup memadai/sesuai kebutuhan	50.83		55.00		40.00		38.33	
6	Kelambatan penyediaan alat / bahan dll yang disediakan pemilik	61.67		51.67		63.33		53.33	
7	Pendanaan kegiatan proyek yang tidak terencana dengan baik (kesulitan pendanaan di kontraktor)	35.83		45.00		-15.00		16.67	
8	Tidak terbayarnya kontraktor secara layak sesuai haknya (kesulitan pembayaran oleh pemilik)	33.33		30.83		-23.33		-23.33	
<b>E</b>	<b>Aspek Sistim Inspeksi, Kontrol dan Evaluasi Pekerjaan</b>								
1	Respon yang lambat dari pemilik	52.50	47.98	44.17	55.48	23.33	6.43	11.67	34.76
2	Respon yang lambat dan inspeksi yang tidak memadai dari kontraktor	41.67		52.50		-10.00		21.67	
3	Manajemen kualitas dan supervisi yang tidak memadai dari kontraktor	40.83		65.00		-11.67		45.00	
4	Proses persetujuan ijin kerja yang bertele-tele	66.67		63.33		38.33		38.33	
5	Kegagalan kontraktor melaksanakan pekerjaan	38.33		47.50		-20.00		43.33	
6	Hasil pekerjaan yang harus diperbaiki/diulang karena cacat/tidak benar	47.50		54.17		28.33		43.33	
7	Proses dan tata cara evaluasi kemajuan pekerjaan yang lama dan lewat jadwal yang disepakati	48.33		61.67		-3.33		40.00	
<b>F</b>	<b>Aspek Lain-Lain (Aspek diluar kemampuan Pemilik dan Kontraktor)</b>								
1	Kondisi cuaca yang kurang baik	43.33	37.26	50.83	37.62	-8.33	3.10	25.00	4.29
2	Transportasi ke lokasi proyek yang sulit	40.83		35.00		-20.00		-5.00	
3	Terjadinya hal-hal tak terduga seperti kebakaran, banjir, badai/angin ribut, gempa bumi, tanah longsor, cacat amat buruk	30.00		30.83		-6.67		1.67	
4	Adanya pemogokan buruh	34.17		40.00		-6.67		8.33	
5	Adanya huru-hara/kerusuhan, perang	26.67		29.17		-38.33		-11.67	
6	Terjadinya kerusakan/pengrusakan akibat kelalaian atau perbuatan pihak ketiga	41.67		36.67		38.33		-5.00	
7	Perubahan situasi atau kebijaksanaan politik/ekonomi pemerintah	44.17		40.83		63.33		16.67	

Dengan kata lain, menurut responden kontraktor dan responden pemilik proyek, dari sisi frekuensi kejadian maka aspek perencanaan & penjadwalan adalah aspek yang paling berkontribusi terhadap keterlambatan proyek konstruksi. Sementara itu *value of game* dan nilai *column mix* tidak perlu diperhatikan karena hal tersebut hanya mengindikasikan besaran nilai optimal dari keseluruhan permainan dan strategi yang harus dipilih dari pemain kolom.

	FI (K)	FI (P)	Row Mix
A. Aspek Perencanaan	51.81	56.39	1
B. Aspek Lingkup	49.79	51.25	0
C. Aspek Organisasi	45.93	53.33	0
D. Aspek Sumber Daya	48.54	52.29	0
E. Aspek Sistem Kontrol	47.98	55.48	0
F. Aspek Lain-lain	37.26	37.26	0
Column Mix-->	1	0	
Value of game (to row)	51.81		

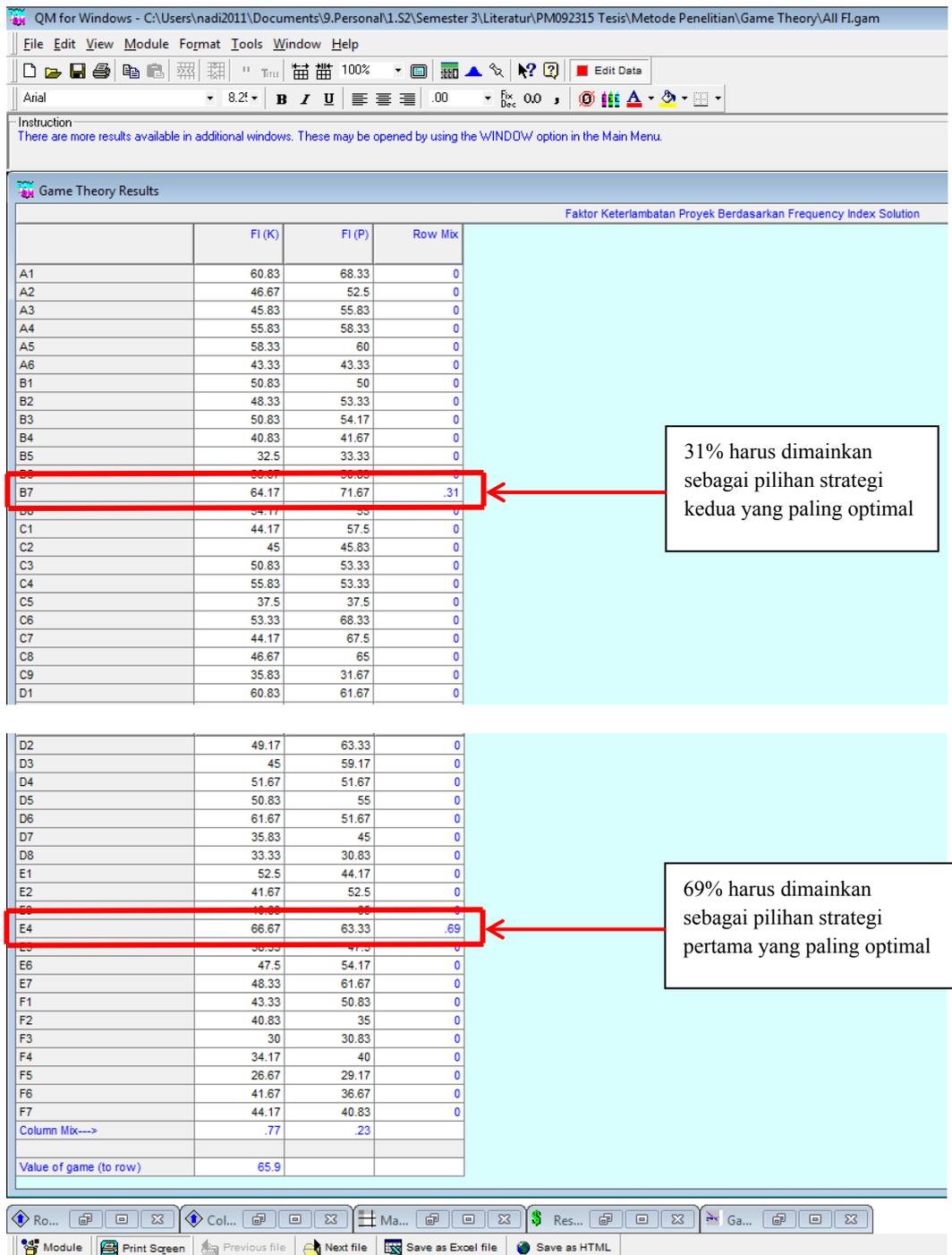
**Gambar 2.** Aspek yang Paling Berkontribusi Berdasarkan Nilai Indeks Frekuensi dan Analisis Game Theory

Serupa dengan analisis *game theory* berdasarkan nilai rerata indeks frekuensi, analisis dengan menggunakan *game theory* berdasarkan nilai rerata indeks kepentingan relatif yang ditampilkan dalam Gambar 3. dapat dilihat bahwa hanya ada satu aspek dengan nilai *row mix* yang tidak sama dengan nol, dan dalam hal ini ditunjukkan dengan nilai 1. Dengan demikian, berdasarkan analisis dengan menggunakan *game theory*, baik dari tingkat kekerapan kejadian maupun tingkat kepentingan relatif, menurut persepsi responden kontraktor dan responden pemilik proyek, aspek perencanaan dan penjadwalan merupakan aspek yang paling berkontribusi terhadap keterlambatan proyek konstruksi di PT. Newmont Nusa Tenggara (PTNNT).

	RII (K)	RII (P)	Row Mix
A. Aspek Perencanaan	37.28	50.56	1
B. Aspek Lingkup	37.08	34.38	0
C. Aspek Organisasi	4.26	37.59	0
D. Aspek Sumber Daya	27.5	35.42	0
E. Aspek Sistem Kontrol	6.43	34.76	0
F. Aspek Lain-lain	3.1	4.29	0
Column Mix-->	1	0	
Value of game (to row)	37.28		

**Gambar 3.** Aspek yang Paling Berkontribusi Berdasarkan Nilai RII dan Analisis Game Theory

Untuk mengetahui lebih jauh faktor-faktor yang dominan atau paling berpengaruh terhadap keterlambatan proyek konstruksi di antara semua faktor dari semua aspek tinjauan yang merupakan sub variabel dalam penelitian ini, berdasarkan indeks frekuensi dan berdasarkan indeks kepentingan relatif dari kedua kelompok responden, maka dilakukan juga analisis data dengan memasukkan nilai indeks dari hasil pengolahan data tersebut ke dalam *software* program *Quantitative Management Analysis-Game Theory*. Analisis tersebut memberikan hasil dengan tampilan sebagaimana dapat di lihatpada Gambar 4. untuk analisis berdasarkan Indeks Frekuensi (FI) dan Gambar 5. untuk analisis berdasarkan RII.



Gambar 4. Tampilan Cetak Layar Solusi Tabel Game Theory Keterlambatan Proyek Berdasarkan Nilai FI

Dari hasil analisis yang diperoleh melalui model *game theory* sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 4. yang menyajikan nilai solusi *game theory* dapat dilihat adanya dua sub variabel atau faktor penyebab keterlambatan dengan nilai *row mix* yang tidak sama dengan nol, yaitu faktor B7 dengan nilai *row mix* 0.31 dan faktor E4 dengan nilai *row mix* 0.69. Dalam *game theory*, nilai-nilai tersebut artinya adalah bahwa untuk mendapatkan hasil yang paling optimal (*game value*) dari permainan ini maka 31% dari waktu permainan sebaiknya memainkan strategi B7 dan 69% dari waktu permainan memainkan strategi E4. Selain daripada itu tidak dianjurkan untuk memainkan strategi yang lain karena tidak memberikan keuntungan yang optimal.

Dalam analisis faktor penyebab keterlambatan proyek dengan menggunakan *game theory*, strategi B7 dan E4 tersebut dianalogikan sebagai faktor yang paling dominan untuk menjadi perhatian karena merupakan faktor yang memberikan nilai optimal dari keseluruhan startegi pemain baris (*row player*) yang dalam hal ini

merupakan perpaduan dari keseluruhan strategi jika dihadapkan dengan strategi dari *column player* yang dalam hal ini adalah perpaduan strategi dari kelompok responden kontraktor dan pemilik proyek. Dengan kata lain, menurut responden kontraktor dan responden pemilik proyek, dari sisi frekuensi kejadian maka faktor E4 (Proses persetujuan ijin kerja yang berbelit-belit) adalah faktor yang paling berkontribusi terhadap keterlambatan proyek dan faktor yang paling berkontribusi kedua adalah B7 yaitu “adanya banyak (sering) pekerjaan tambahan”.

	RII (K)	RII (P)	Row Mix
A1	26.68	60.0	0
A2	8.33	48.33	0
A3	16.67	56.67	0
A4	61.67	51.67	0
A5	58.33	43.33	0
A6	25	43.33	0
B1	51.67	55.01	0
B2	41.67	58.33	0
B3	48.33	31.67	0
B4	-15	11.67	0
B5	-18.33	-8.33	0
B6	46.67	51.67	0
B7	76.67	50	0
B8	65	25	0
C1	-20.0	41.67	0
C2	3.33	28.33	0
C3	-13.33	18.33	0
C4	48.33	45	0
C5	-18.33	-13.33	0
C6	21.67	21.67	0
C7	-11.67	71.67	.11
C8	-1.67	50	0
C9	30	45	0
D1	55.0	50.01	0
D2	38.33	51.67	0
D3	18.33	56.67	0
D4	43.33	40	0
D5	40	30.33	0
D6	63.33	53.33	.89
D7	-15	16.67	0
D8	-23.33	-23.33	0
E1	23.33	11.67	0
E2	-10	21.67	0
E3	-11.67	45	0
E4	38.33	38.33	0
E5	-20	43.33	0
E6	28.33	43.33	0
E7	-3.33	40	0
F1	-8.33	25	0
F2	-20	-5	0
F3	-6.67	1.67	0
F4	-6.67	8.33	0
F5	-38.33	-11.67	0
F6	38.33	-5	0
F7	63.33	16.67	0
Column Mix-->	.2	.8	
Value of game (to row)	55.29		

Gambar 5. Tampilan Cetak Layar Solusi Tabel Game Theory Keterlambatan Proyek Berdasarkan Nilai RII

Dari hasil analisis yang diperoleh melalui model *game theory* sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 5 yang menyajikan nilai solusi *game theory* dapat dilihat adanya dua sub variabel atau faktor penyebab keterlambatan dengan nilai *row mix* yang tidak sama dengan nol, yaitu faktor C7 dengan nilai *row mix* 0.11 dan faktor D6 dengan nilai *row mix* 0.89. Dalam *game theory*, nilai-nilai tersebut artinya adalah bahwa untuk mendapatkan hasil yang paling optimal (*game value*) dari permainan ini maka 11% dari waktu permainan sebaiknya memainkan strategi C7 dan 89% dari waktu permainan memainkan strategi D6. Selain daripada itu

tidak dianjurkan untuk memainkan strategi yang lain karena tidak memberikan keuntungan yang optimal.,

Dari hasil analisis yang ditampilkan melalui tabel Game Theory dalam Gambar 7. di atas dapat ditarik pengertian bahwa menurut responden kontraktor dan responden pemilik proyek, dari sisi tingkat kepentingan relatif maka faktor D6 (Kelambatan penyediaan alat / bahan yang disediakan pemilik) adalah faktor yang paling berkontribusi terhadap keterlambatan proyek dan faktor yang paling berkontribusi kedua adalah C7 yaitu "Kualifikasi teknis dan manajerial yang buruk dari personil-personil dalam organisasi kerja kontraktor". *Value of game* dan nilai *column mix* tidak perlu diperhatikan karena hal tersebut hanya mengindikasikan besaran nilai optimal dari keseluruhan permainan dan strategi yang harus dipilih dari pemain kolom.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari data yang terkumpul melalui kuesioner, setelah melalui proses pengolahan data, analisis dan pembahasan, dapat ditarik suatu kesimpulan dari penelitian mengenai faktor-faktor yang berkontribusi terhadap keterlambatan proyek konstruksi di PT. Newmont Nusa Tenggara yaitu :

1. Dari 6 variabel penelitian yang merupakan aspek tinjauan terhadap keterlambatan proyek, aspek perencanaan dan penjadwalan adalah aspek yang paling berkontribusi terhadap keterlambatan proyek konstruksi di PT. Newmont Nusa Tenggara.
2. Dari 45 sub variabel penelitian yang merupakan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap keterlambatan proyek, berdasarkan tingkat kekerapan kejadian keterlambatan, faktor-faktor yang paling berkontribusi terhadap keterlambatan proyek konstruksi di PT. Newmont Nusa Tenggara adalah sub variabel E4 (Proses persetujuan ijin kerja yang bertele-tele) dan sub variabel B7 (Adanya banyak / sering pekerjaan tambahan), sementara berdasarkan tingkat kepentingan relatif yang berdampak pada keterlambatan proyek, faktor-faktor yang paling berkontribusi terhadap keterlambatan proyek konstruksi di PT. Newmont Nusa Tenggara adalah sub variabel D6 (Kelambatan penyediaan alat / bahan yang disediakan oleh pemilik) dan sub variabel C7 (Kualifikasi teknis dan manajerial yang buruk dari personil-personil dalam organisasi kerja kontraktor).

Beberapa hal di bawah ini adalah saran-saran bagi berbagai pihak untuk meminimalkan dan menghindari keterlambatan di dalam proyek-proyek konstruksi di PT. Newmont Nusa Tenggara. Pemilik proyek sebaiknya memberikan perhatian yang khusus terhadap aspek perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi dan memperhatikan beberapa faktor yaitu :

1. Tidak memberikan pekerjaan-pekerjaan tambahan di luar lingkup yang sudah disepakati ketika proyek sedang berlangsung maupun pada saat proyek sudah selesai.
2. Secara tepat waktu menyediakan peralatan dan bahan-bahan yang diperlukan di dalam proyek konstruksi.
3. Memberikan proses persetujuan ijin kerja yang lebih efisien dan tidak bertele-tele tanpa mengurangi esensi dari pentingnya faktor keselamatan kerja.

Perusahaan kontraktor, sejalan dengan pemilik proyek harus memberikan perhatian yang khusus terhadap pentingnya aspek perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi dan secara terus-menerus mengupayakan perbaikan sumberdaya yang terlibat dalam proyek konstruksi di wilayah kerja PT. Newmont Nusa Tenggara, terutama dalam kualifikasi teknis dan manajerial dari personil-personil dalam organisasi kerjanya.

Beberapa saran untuk penelitian-penelitian sejenis selanjutnya, akan lebih baik lagi apabila memasukkan lebih banyak variabel dan sub variabel faktor penyebab keterlambatan proyek konstruksi. Dengan melihat tren dan iklim usaha pertambangan di Indonesia di mana banyak kasus gangguan operasional yang terkait dengan program CSR (*Corporate Social Responsibility*) atau tuntutan masyarakat sekitar lokasi pertambangan, salah satu contoh sub variabel faktor penyebab keterlambatan proyek yang perlu ditambahkan di dalam penelitian-penelitian mendatang, khususnya pada variabel lain-lain (eksternal) di luar kendali pemilik proyek dan kontraktor adalah "adanya gangguan dan permasalahan terkait tuntutan masyarakat sekitar". Dengan menambahkan sub variabel tersebut dan menemukan lebih banyak variabel dan sub variabel yang lain, maka diharapkan model analisis faktor yang dihasilkan akan menjadi lebih baik.

Untuk lebih baik dan lebih teliti mengetahui faktor penyebab atau faktor yang dominan berkontribusi terhadap keterlambatan proyek konstruksi pada suatu usaha pertambangan yang lebih luas di Indonesia, maka sebaiknya dilakukan penelitian pada beberapa daerah usaha pertambangan mineral atau batu bara sehingga bisa diketahui hubungan dan perbandingan antara beberapa daerah usaha pertambangan tersebut. Penelitian bisa dilakukan dengan lebih mendalam dengan memasukkan variabel dampak keterlambatan proyek konstruksi dari perspektif kerugian secara finansial, bukan hanya keterlambatan proyek dari perspektif waktu penyelesaian proyek, dengan demikian hasil yang diperoleh bisa benar-benar bermanfaat untuk meminimalkan potensi kerugian yang besar dari segi finansial akibat keterlambatan proyek konstruksi. Karena proyek konstruksi pada kegiatan usaha pertambangan memiliki cakupan yang cukup luas, maka penelitian terhadap faktor penyebab keterlambatan proyek konstruksi akan memberikan manfaat yang lebih apabila dilakukan pada proyek-proyek konstruksi dengan tipe yang lebih spesifik, misalnya dikelompokkan pada jenis proyek konstruksi

pengembangan sumur tambang dan fasilitas pengelolaan air tambang (*pit construction, dam and water tunnel*), konstruksi fasilitas pengolahan, konstruksi sarana penunjang umum (*jetty, loading port, power plant*) dan lain-lain.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterimakasih kepada Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, MSc dan Ir. Aditya Susantio, MMT selaku sponsor dalam penelitian ini, kepada manager dan staff Departemen Kontrak PTNNT atas bantuan dalam pemberian data proyek dan data kontraktor, kepada manajemen PTNNT yang telah menyediakan berbagai fasilitas untuk melakukan penelitian ini, dan kepada semua responden kuesioner.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. M., Azhar, S., Castilo, M., & Kappagantula, P. (2011). *Construction Delays in Florida : An Empirical Study*. Miami: Florida International University.
- Ali, A. S., Smith, A., Pitt, M., & Choon, C. H. (2011). *Contractors' Perception of Factors Contributing to Project Delay : Case Study of Commercial Projects in Klang Valley, Malaysia*. University of Malaya, Malaysia, Kuala Lumpur.
- Al-Najjar, J. (2008). *Factors Influencing Time and Cost Overruns on Construction Projects in Gaza Strip*. Gaza: Master Thesis, Islamic University.
- Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). "Cause of Delay in Large Construction Projects". *International Journal of Project Management*, Vol. 24, hal. 349-357.
- Bordat, C., McCullough, B. G., Labi, S., & Sinha, K. C. (2004). *An Analysis of Cost Overruns and Time Delays of INDOT Projects*. West Lafayette, Indiana: Publication FHWA/IN/JTRP-2004/07, Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University.
- Hamzah, N., Khoiry, M. A., Arshad, I., Badaruzzaman, W. H., & Tawil, N. M. (2012). "Identification of The Causes of Construction Delay in Malaysia". *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 72, hal. 614-619.
- Ibironke, O. T., Oladinrin, T. O., Adeniyi, O., & Eboreime, I. V. (2013). "Analysis of Non-Excusable Delay Factors Influencing Contractors' Performance in Lagos State, Nigeria". *Journal of Construction in Developing Countries*, Edisi Early View.
- Le-Hoai, L., Lee, Y. D., & Lee, J. Y. (2008). "Delay and Cost Overruns in Vietnam Large Construction Projects : A Comparison with Other Selected Countries". *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 12, No. 6, hal. 367-377.
- Majid, I. A. (2006). *Causes and Effects of Delays in Aceh Construction Industry*. Kuala Lumpur: Universiti Teknologi Malaysia.
- Odeh, A. M., & Battaineh, H. T. (2002). "Causes of Construction Delay : Traditional Contracts". *International Journal of Project Management*, Vol. 20, hal. 67-73.
- Proboyo, B. (1999). "Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Proyek : Klasifikasi dan Peringkat dari Penyebab-Penyebabnya". *Dimensi Teknik Sipil*, Vol. 1, No.1, hal. 49-58.
- Ramanathan, C., Narayanan, S. P., & Idrus, A. B. (2012). "Construction Delays Causing Risk on Time and Cost - a Critical Review". *Australasian Journal of Construction Economic and Building*, Vol. 12, No. 1, hal. 37-57.
- Render, B., Stair, R. M., & Hanna, M. E. (2012). *Quantitative Analysis For Management*. New Jersey: Prentice Hall.
- Setiawan, N. (2005). *Statistika Nonparametrik Untuk Penelitian Sosial Ekonomi Peternakan*. Bandung: Universitas Padjadjaran.
- Suita, D. (2012). *Analisis Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Konstruksi Jembatan di Wilayah Sumatera Utara dan Aceh*. Tesis Pascasarjana, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Tumi, S. A., Omran, A., & Pakir, A. H. (2009). "Causes of Delay in Construction Industry in Libya". *The International Conference on Administration and Business*, hal. 265-272.
- Turocy, T. L., & Stengel, B. v. (2001). *Game Theory CDAM Research Report*. Texas: Encyclopedia of Information Systems, Academic Press.
- Weiss, H. J. (2005). *POM - QM for Windows version 3*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

## MODEL PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT PADA INDUSTRI GALANGAN KAPAL SUB KLASTER SURABAYA

Minto Basuki<sup>1</sup>, A.A Wacana Putra<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Mineral dan Kelautan, ITATS, Surabaya  
e-mail : <sup>1</sup>mintobasuki@yahoo.co.id, <sup>2</sup>arwapu@yahoo.com

### ABSTRACT

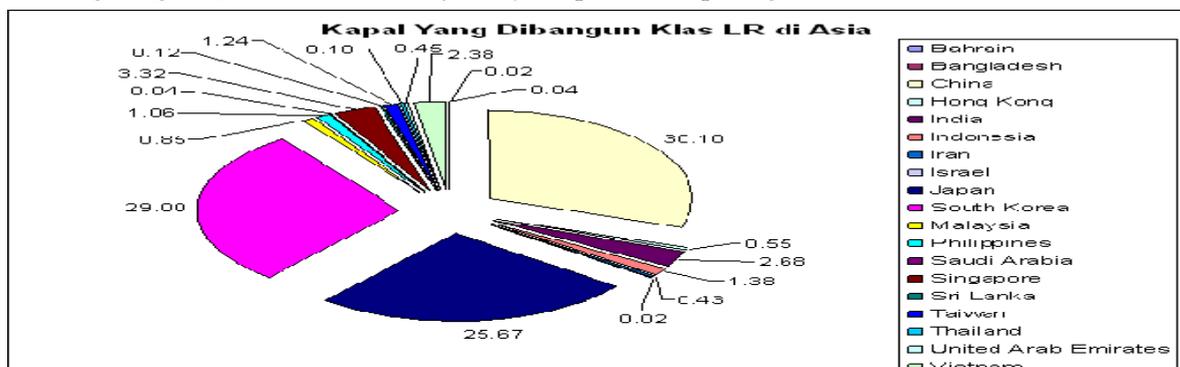
The research aims to assessment the risk of ship building industry in Indonesia. In this paper conducted a risk assessment on the ship building industry in the sub-cluster Surabaya. Samples of data obtained in the process of new building a type tanker vessel owned PT. Pertamina, which was built in the PT. Dumas (3,500 DWT), PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (6.500 DWT) and in the PT. PAL Indonesia Surabaya(17,500 DWT). Analysis were performed using probability theory approach and multiplication principle, each are on the main models, design models, material models and production models in the process of new building. From the analysis result, the probability of delay on the design group is 0.017, the probability of delay on the material group is 0.217, the probability of the production group is 0.1. In the design model, the probability of the biggest delays in the activity yard plan that is 0.001, the greatest probability to the model material is 0.013 on hull out fitting and machinery out fitting activities. Activity hull construction is the biggest cause of delays in the production model with probability 0,004.

**Key words:** Shipyard, Outfitting, Probabilistic, Risk Assessment

### PENDAHULUAN

Industri galangan kapal dunia akan menjadi perhatian internasional seiring dengan pertumbuhan ekonomi China sejak tahun 2003. Industri galangan kapal Korea juga salah satu yang menikmati, hal ini salah satunya dapat dilihat dari pertumbuhan order sampai 236% pada industri galangan kapal selama lima tahun terakhir, dan setelah tahun 2003 order tumbuh 5,2% pertahun. Pada tahun 2006, 496 juta CGT order baru dimenangkan Korea 38,3%, China 29,6% dan Jepang 13,9% (Lee et al. 2007). Menurut Suryohadiprojo (2004), Industri galangan Indonesia, dengan perputaran uang untuk transportasi laut sebesar 50,7 triliun rupiah pertahunnya, seharusnya menjadi galangan kapal yang tangguh, modern dan sumber devisa Indonesia. Di sisi lain, saat ini Jepang dan Korea menguasai lebih dari 80% *share market* dunia. Industri galangan kapal Indonesia hanya menyerap 0,5% *share market* galangan kapal dunia. Akibat dari kesulitan pergerakan aktifitas galangan kapal Indonesia, industri pendukung seperti industri baja, industri permesinan, industri kelistrikan, industri kimia mengalami penurunan produktifitas dan banyak yang bangkrut.

Menurut data yang dikeluarkan versi *Lloyd Register – fairplay tahun 2006* (dalam Basuki dkk, 2010), jumlah kapal yang dibangun oleh galangan – galangan kapal di dunia dengan klasifikasi *Lloyd Register* berjumlah 6.716 unit dengan berbagai tipe kapal. Pada benua Asia, Negara yang paling aktif dalam pembangunan kapal adalah Negara China tercatat membangun 1.480 unit sama dengan 30,1 %, Korea Selatan tercatat membangun 1.426 unit sama dengan 29%, Jepang tercatat membangun 1.262 unit sama dengan 25,67% dan Indonesia tercatat membangun 68 unit atau sebanding dengan 1,38%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



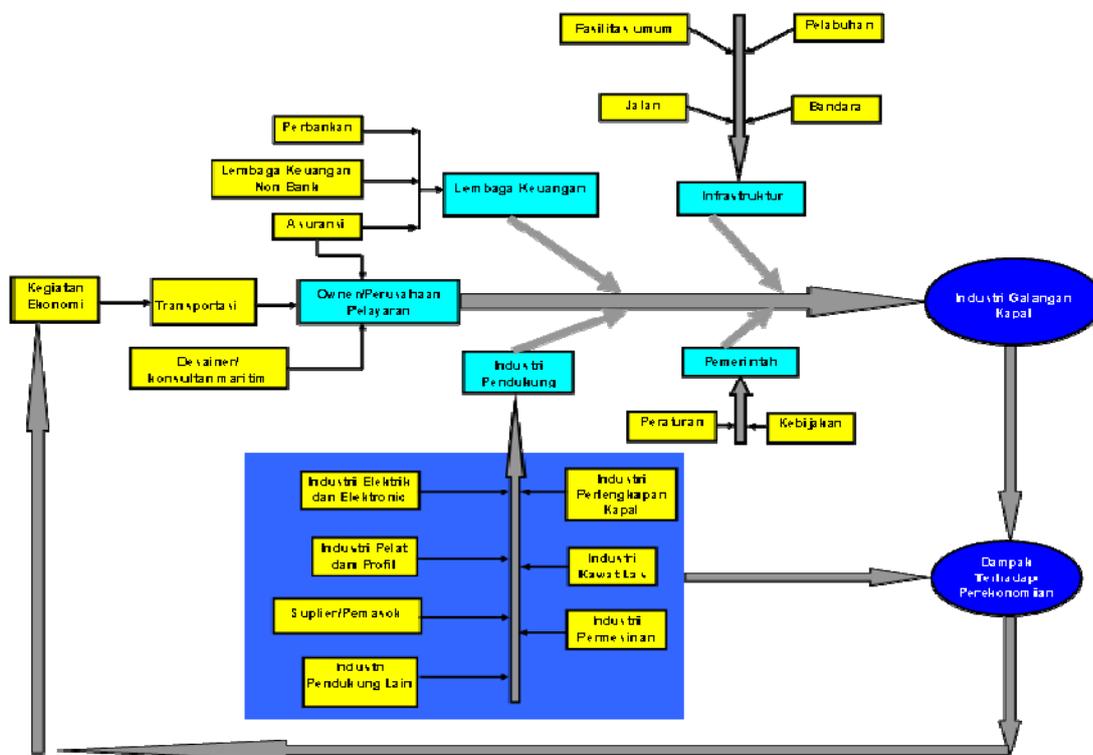
Sumber: *Lloyd Register – fairplay tahun 2006*, diolah.

Gambar 1. Prosentase Negara Asia Pembangunan Kapal Klas LR

Melihat gambar diatas, menandakan bahwa betapa kecilnya *share market* yang bisa direbut oleh galangan kapal nasional dan ini juga menandakan betapa tertinggalnya industri galangan kapal di Indonesia. Disamping itu juga bisa diartikan bahwa galangan kapal nasional masih belum banyak diminati oleh pemilik kapal. Seharusnya kondisi ini tidak boleh terjadi, mengingat Indonesia adalah negara maritim. Ketertinggalan ini akan membawa dampak tidak berkembangnya industri pendukung, karena industry perkapalan dari hulu sampai hilir banyak tergantung pada industri lain.

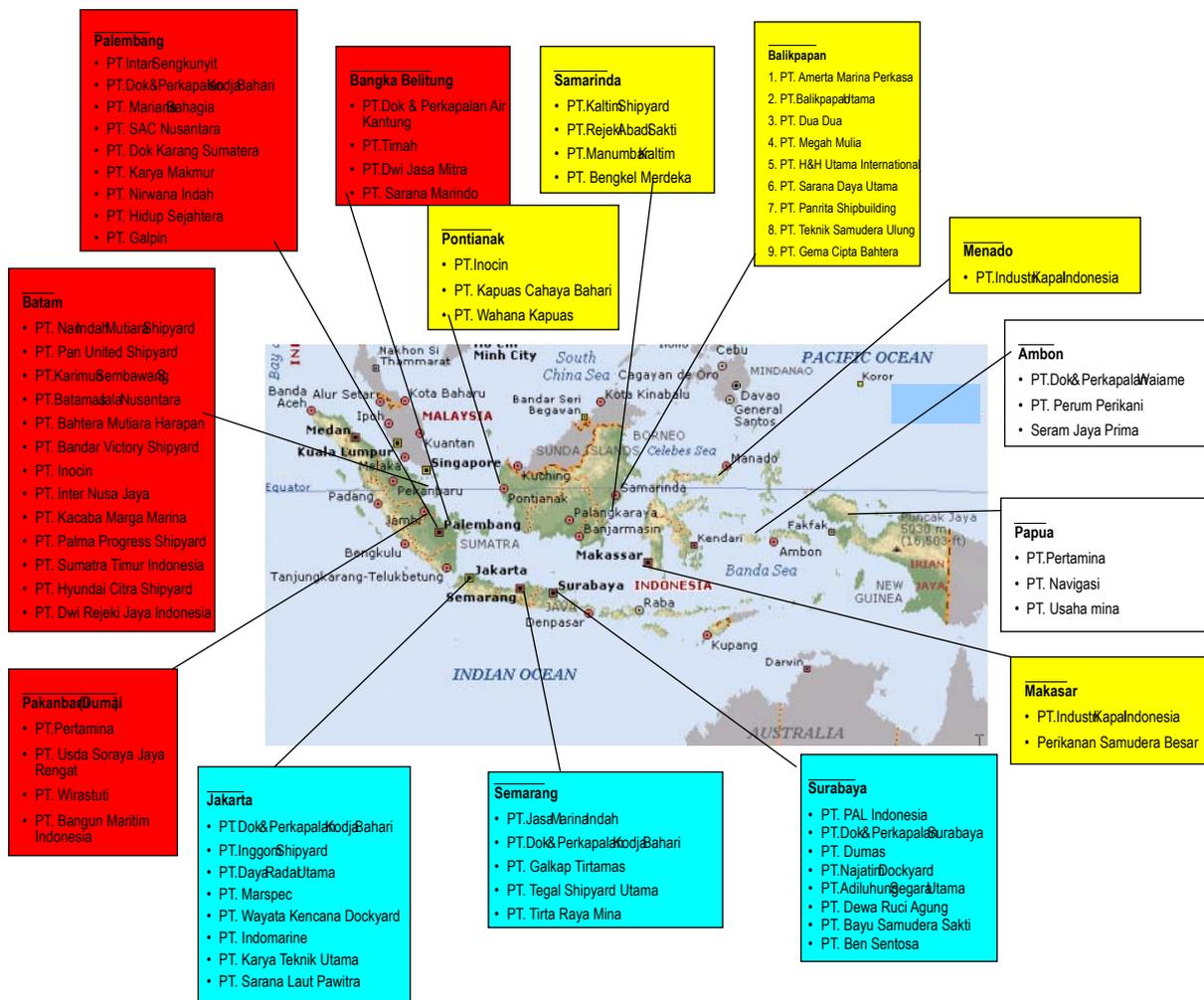
Menurut Basuki dan Widjaja (2008), ada beberapa alasan mengapa industri galangan kapal harus dikembangkan, antara lain: nilai ekonomis industri galangan kapal, berkembangnya industri ini akan turut mengembangkan industri lain yang akan memberikan *multiplier-effect* yang besar kepada proses industrialisasi dalam suatu negara. Disamping itu industri galangan merupakan industri padat karya yang mampu menciptakan lapangan kerja cukup besar dengan nilai tambah yang cukup tinggi. Dengan berkembangnya industri ini, maka kemandirian sektor pertahanan dengan pembuatan alat pertahanan di dalam negeri akan dapat dicapai

Seperti dijelaskan pada paragraph diatas, industri galangan kapal sangat tergantung pada industri lain dari hulu sampai hilir. Ketergantungan ini akan menentukan kelangsungan dan tingkat risiko yang dihadapi oleh industri galangan kapal (Basuki dkk, 2010). Hal ini dapat dilihat seperti Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Skema Hubungan Galangan Kapal

Melihat gambar 2 diatas, tidak bisa dipungkiri bahwa pengembangan industri galangan kapal suatu negara, khususnya di Indonesia perlu segera dibenahi. Pengembangan industri galangan kapal yang baik dan memenuhi harapan segala pihak akan bisa memberikan dampak terhadap pertumbuhan ekonomi. Pengembangan industri galangan perlu dilakukan, mengingat Indonesia adalah negara maritim dan mempunyai lebih 300 industri galangan yang tersebar, seperti pada gambar 3 berikut:



Sumber: Departemen Perindustrian (Deperindag, 2010)

Gambar 3. Penyebaran Industri Galangan Kapal

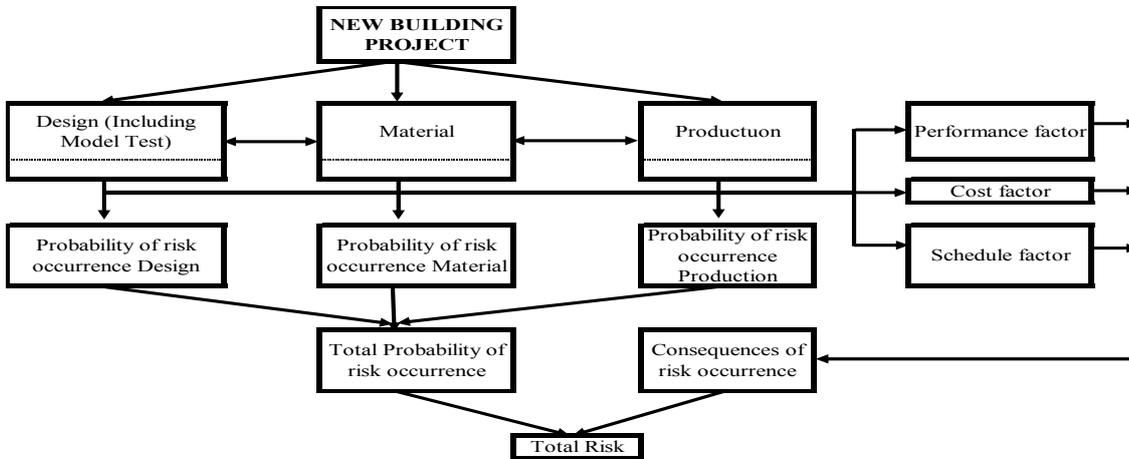
Industri perkapalan di Indonesia masih kalah bersaing dengan industri galangan luar negeri seperti Singapura, Hongkong, dan Malaysia, apalagi persaingan dengan negara Korea Selatan dan Jepang. Dari keadaan tersebut, perlu adanya pengkajian dari segi produktivitas dan efisiensi kerja. Untuk mendukung peningkatan produktivitas pada pembangunan kapal baru perlu dikembangkan suatu sistem yang disesuaikan dengan kondisi galangan. Salah satu usaha peningkatan produktivitas galangan adalah dengan kemampuan membangun kapal sesuai standar mutu yang ditentukan oleh pihak pemesan. Pesanan kapal dapat dilakukan tepat waktu, harga bersaing serta mutu yang memadai (Basuki dan Choirunisa, 2012).

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dengan menggunakan terminologi *Risk = Probability of risk occurrence X Consequences of risk occurrence* (Basuki dan Suardi, 2012). Analisis ditekankan pada *Probability of risk occurrence* dengan menggunakan pendekatan statistik (azas perkalian, teori peluang, Bayesian). Proses bangunan baru dibagi menjadi 3 bagian besar, yaitu desain, material dan produksi. Masing-masing bagian tersebut dilakukan penilaian *Probability of risk occurrence* pada titik simpul pada jejaringnya (*Value at Risk/VaR*).

Langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut: (i) Identifikasi hazard (list semua skenario kejadian yang relevan dengan faktor penyebab dan dampak yang potensial) pada proses pembangunan kapal baru, yaitu pada kegiatan desain, pengadaan material dan proses produksi. (ii) Penilaian risiko (evaluasi faktor-faktor risiko); Fokus pada skenario yang penting, Ukur risiko pada setiap scenario, Analisa darimana risiko datang, fokus perhatian pada penyebab, Identifikasi faktor yang berhubungan yang mempengaruhi tingkatan risiko, dan Evaluasi risiko dan tingkat risiko dengan pendekatan *value*

at risk dengan menggunakan metode statistik. Kerangka dasar yang dikembangkan dalam metode penelitian seperti pada gambar 4 berikut



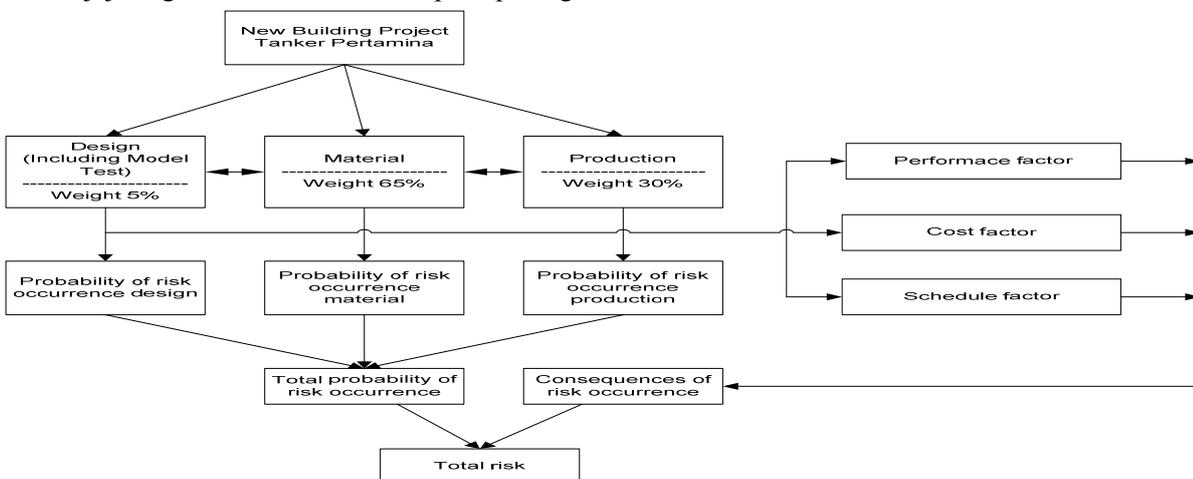
Gambar 4. Kerangka Kerja Penelitian Risk Assessment Bangunan Baru

**PEMBAHASAN**

Untuk mensederhanakan penyelesaian dan berdasarkan data lapangan yang diperoleh, bahwa pada dasarnya proses pembangunan kapal dibagi menjadi tiga bagian besar, yaitu: proses desain, proses pengadaan material dan proses produksi. Pada masing-masing proses tersebut juga ada subproses yang dijalankan. Proses desain, proses pengadaan material dan proses produksi beserta sub prosesnya akan memunculkan risiko yang berbeda. Keterkaitan antar proses dan subproses dianalisis hazard potensial yang muncul untuk dipetakan besaran nilai probabilitas serta dampak yang ada, dalam bentuk jejaring untuk mengetahui hubungan antar titik simpul. Model jejaring dikembangkan, karena pekerjaan bangunan baru, antara satu proses dengan proses yang lainnya sangat berhubungan sekali, bahkan antara subproses satu dengan subproses yang lainnya juga sangat berhubungan. Antara subproses dengan proses juga memiliki keterkaitan serta hubungan. Apabila satu proses atau satu subproses terhambat dan terlambat, maka akan berpengaruh terhadap proses yang lainnya. Model jejaring yang dikembangkan dibagi menjadi model jejaring utama dan model jejaring untuk masing-masing proses serta subprosesnya.

**Model Jejaring Utama**

Model jejaring utama dirumuskan seperti pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Model Jejaring Utama

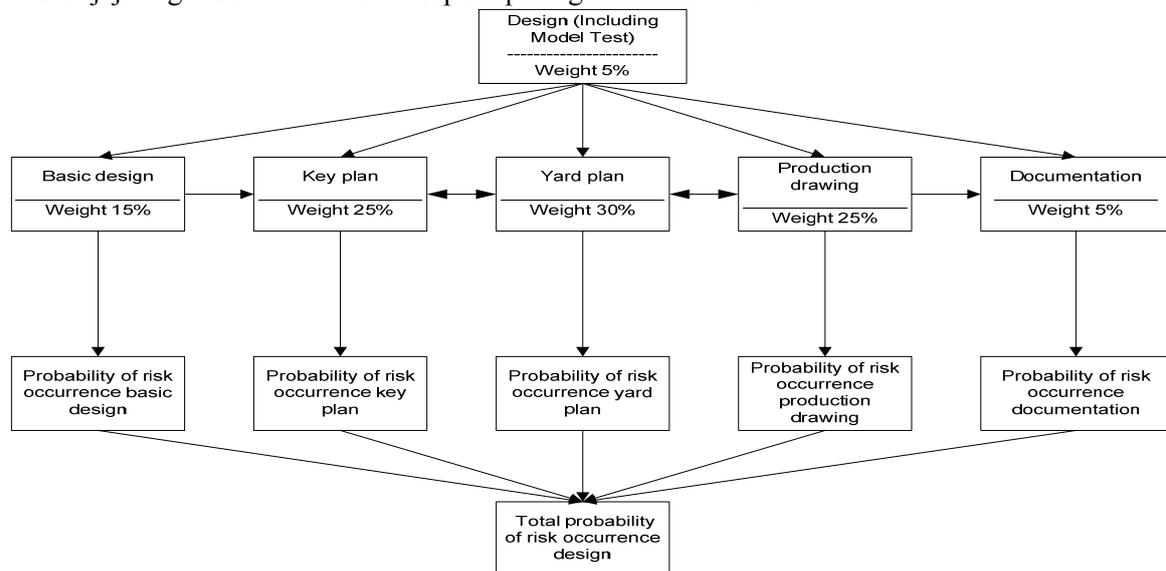
Nilai *probability of risk occurrence* dihitung berdasarkan probabilitas untuk masing-masing titik simpul *Value at Risk* (VaR) dan disusun dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Nilai Probabilitas VaR Jejaring Utama

Komponen	Probabilitas VaR
Desain (termasuk tes model kapal)	0,017
Material	0,217
Produksi	0,100
<b>Total</b>	<b>0,334</b>

### Model Jejaring Desain

Model jejaring desain dirumuskan seperti pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Model Jejaring Desain

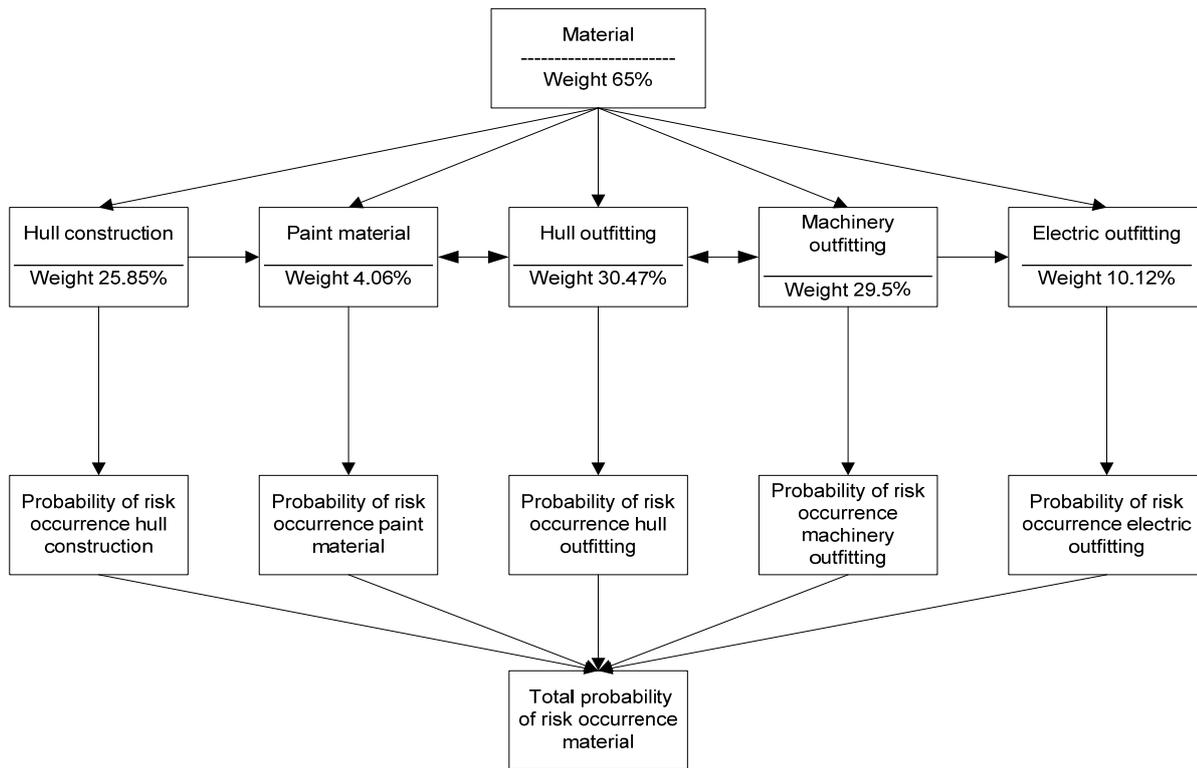
Nilai *probability of risk occurrence* dihitung berdasarkan probabilitas untuk masing-masing titik simpul *Value at Risk* (VaR) dan disusun dalam tabel berikut:

Tabel 2. Nilai Probabilitas VaR Jejaring Desain

Komponen	Probabilitas VaR
<i>Basic design</i>	0,0005
<i>Key plan</i>	0,0008
<i>Yard plan</i>	0,0010
<i>Production drawing</i>	0,0008
<i>Documentation</i>	0,0002
<b>Total</b>	<b>0,0033</b>

### Model Jejaring Material

Model jejaring material dirumuskan seperti pada gambar 7 berikut:



Gambar 7. Model Jejaring Material

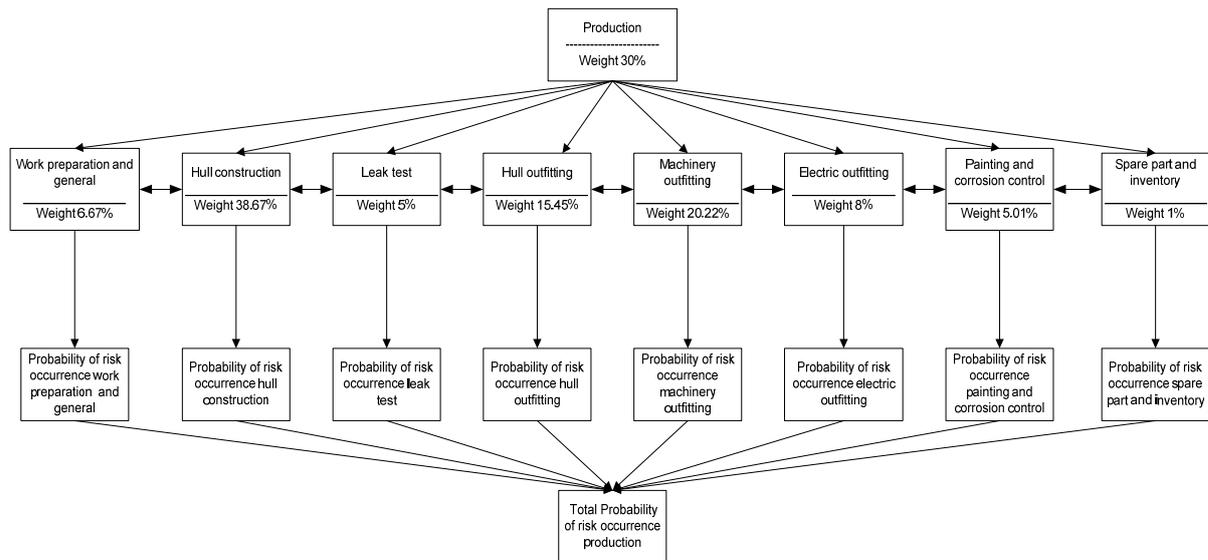
Nilai *probability of risk occurrence* dihitung berdasarkan probabilitas untuk masing-masing titik simpul *Value at Risk* (VaR) dan disusun dalam tabel berikut:

Tabel 3. Nilai Probabilitas VaR Jejaring Material

Komponen	Probabilitas VaR
<i>Hull construction</i>	0,0110
<i>Paint material</i>	0,0020
<i>Hull outfitting</i>	0,0130
<i>Machinery outfitting</i>	0,0130
<i>Electric outfitting</i>	0,0040
<b>Total</b>	<b>0,0430</b>

**Model Jejaring Produksi**

Model jejaring produksi dirumuskan seperti pada gambar 8 berikut:



Gambar 8. Model Jejaring Produksi

Nilai *probability of risk occurrence* dihitung berdasarkan probabilitas untuk masing-masing titik simpul *Value at Risk* (VaR) dan disusun dalam tabel berikut:

Tabel 4. Nilai Probabilitas VaR Jejaring Produksi

Komponen	Probabilitas VaR
<i>Work preparation</i>	0,0008
<i>Hull construction</i>	0,0048
<i>Leak test</i>	0,0006
<i>Hull outfitting</i>	0,0019
<i>Machinery system</i>	0,0025
<i>Electric outfitting</i>	0,0010
<i>Painting and corrosion control</i>	0,0006
<i>Spare part and inventory</i>	0,0001
<b>Total</b>	<b>0,0130</b>

### KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut: pada model utama probabilitas terbesar penyebab keterlambatan adalah kegiatan produksi. Kegiatan *yard plan* adalah penyebab terbesar keterlambatan proses bangunan baru pada model desain. Pada model material, probabilitas terbesar penyebab keterlambatan adalah kegiatan *hull outfitting* dan *machinery outfitting*. Pada model produksi, kegiatan *hull construction* mempunyai probabilitas terbesar penyebab keterlambatan bangunan baru. Aktifitas pengadaan material harus mendapat perhatian, karena mempunyai risiko besar penyebab keterlambatan bangunan baru kapal tanker yang dikerjakan pada 3 galangan kapal pada klaster Surabaya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini adalah bagian dari laporan penelitian Fundamental. Terima kasih kepada Direktur DP2M atas bantuan pembiayaan, sehingga penelitian ini bisa terselenggara. Terima kasih juga diucapkan pada para mitra bestari internal dan eksternal yang telah banyak memberikan masukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, M dan Widjaja, S, 2008, *Studi Pengembangan Model Manajemen Risiko Usaha Bangunan Baru Pada Industri Galangan Kapal*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Produksi, Jurusan Teknik Perkapalan, FTMK ITATS.
- Basuki, M., Artana, I.K.B., Nugroho, S., dan Dinariyana, A.A.B., 2010, *Probabilistic Risk Assessment Pada Industri Galangan Kapal*, Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan (SENTA) 2010, FTK, ITS.
- Basuki, M dan Suardi, A.T, 2012, *Analisis Risiko Proses Bangunan Baru Pada Industri Galangan Kapal Skala Besar*, Jurnal Saintek, Volume 9, Nomor 1, Juni 2012, pp. 44-47, Kopertis VII Surabaya.
- Basuki, M. dan Choirunisa, B, 2012, *Analisa Risiko Proses Pembangunan Kapal Baru 3.500 LTDW White Product Oil Tanker – Pertamina di PT. Dumas Tanjung Perak Surabaya*, Jurnal Neptunus, Volume 18, Nomor 2, pp. 97-109, Edisi Juli 2012, Fakultas Teknik UHT.
- Deperindag Jawa Timur, 2010, Laporan Akhir Kajian Industri Perkapalan di Jawa Timur.
- Lee, E., Shin, J.G. and Park, Y, 2007, *A Statistical Analysis of Engineering Project Risk in the Korean Shipbuilding Industry*, Journal Ship Production, Volume 23, Number 4, pp. 223-230.
- Suryohadiprojo, A, 2004, *Prospek Pengembangan Industri Galangan Kapal*, Majalah BKI, Jakarta.

## RANCANGAN MODEL PENINGKATAN INDUSTRI PARIWISATA BERBASIS KUALITAS LAYANAN: STUDI KASUS PARIWISATA DI JAWA TENGAH

Novi Marlyana<sup>1</sup>, Nuzulia Khoiriyah<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, UNISSULA Semarang  
e-mail : <sup>1</sup>novi.unissula@gmail.com, <sup>2</sup>nuzuliakhoiriyah@gmail.com

### ABSTRACT

Central Java has the potential tourist areas are quite numerous and interesting, but has not been able to be optimally utilized so as to generate income is also optimal for the citizens and for the community or region. Data BPS Province of Central Java noted that in 2011 there were as many as 284 tourist object / recreational park in Central Java. This was an increase of 6.77 percent compared to the previous year. In the same situation in 2011, the number of foreign tourists who visit attractions rose by 20.05 percent, while the number of domestic tourists decreased by 1.96 percent. The data in 2012, the number of foreign tourists also decreased by approximately 10% from the previous year.

There are some previous studies that found factors or dimensions that affect the quality of tourism services and measures the perceived level of tourists as consumers. But among these studies have not been able to develop a practical model of a system as simple overview of the tourism industry by involving various factors / dimensions that influence.

This study makes a model of the service quality improvement of the tourism industry in the Province of Central Java. The method used is Tourservqual. Service Quality methods applied in the field of tourism which gave birth to the concept of Tourservqual.

**Kata kunci :** model, tourism, service, quality, Central Java

### PENDAHULUAN

Dalam rangka Visit Jawa Tengah 2013, Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Provinsi Jawa Tengah terus melakukan upaya secara simultan agar Provinsi Jawa Tengah benar-benar siap untuk menyambut tahun kunjungan wisata tersebut. Beberapa hal yang disiapkan antara lain dengan membenahan berbagai sarana dan penyiapan masyarakat dalam menyongsong tahun tersebut. Tahun kunjungan wisata 2013 merupakan sebuah gerakan untuk meningkatkan kepedulian semua pihak untuk menyadari bahwa Jawa Tengah memiliki potensi luar biasa, namun belum dimanfaatkan untuk menghasilkan pendapatan bagi warga masyarakat secara luas.

Menurut data dari Badan Pusat Statistik Jawa Tengah, jumlah wisatawan mancanegara yang berkunjung ke provinsi Jawa Tengah melalui pintu masuk Bandara Adi Sumarmo selama 2012 menurun 9,31 persen dibanding 2011. Jumlah wisatawan mancanegara (wisman) yang berkunjung ke Jateng secara kumulatif (Januari-Desember) selama tahun 2011 sebanyak 23.830 orang dan turun menjadi 21.612 orang pada tahun 2012 ([www.antarajateng.com](http://www.antarajateng.com)). Target subjek wisatawan juga mencakup bagi wisatawan nusantara (wisnus). Kenali Negerimu, Cintai Negerimu menjadi slogan bagi pengembangan pariwisata Indonesia khususnya bagi wisnus.

Jika melihat pada bentuk proses maupun produk yang dihasilkan, industri pariwisata tergolong dalam industri jasa. Purwanto (2004) dalam Liangi et al (2010) menyatakan bahwa pariwisata seperti layaknya suatu industri yang menghasilkan produk, produk wisata berbentuk jasa, dimana pariwisata merupakan sekumpulan atribut yang mencakup atraksi, paket, harga, prestige serta pelayanan yang mungkin diterima pengunjung sebagai sesuatu yang dapat memuaskan kebutuhan dan keinginan dalam memperoleh pengalaman.

Sebagai salah satu sektor penunjang ekonomi masyarakat dan juga penyumbang devisa negara, maka peningkatan layanan kualitas di bidang pariwisata mutlak harus dilakukan. Intensitas kedatangan para wisatawan dipengaruhi oleh kepuasan konsumen akan kualitas layanan pariwisata. Atilgan, et. al. (2003) menyatakan bahwa kualitas di bidang pariwisata merupakan faktor penting dan pada akhirnya menentukan keberhasilan usaha pariwisata. Tian-Cole & Crompton (2003) dalam Haghkhah, et. al. (2011) menyatakan bahwa manajer dalam industri pariwisata berusaha untuk meningkatkan kualitas layanan dan tingkat kepuasan pelanggan, dengan maksud bahwa upaya ini akan membuat pengunjung setia. Pengunjung yang setia akan kembali dan merekomendasikan layanan yang telah didapat pada orang lain.

World Tourism Organization(2003)mendefinisikan kualitas layanan di bidang pariwisata adalah sebagai berikut :“...hasil dari suatu proses yang menyiratkan kepuasan dari semua produk yang

sah dan kebutuhan akan pelayanan, persyaratan dan harapan pelanggan, dengan harga yang dapat diterima, sesuai dengan penentu kualitas yang mendasari seperti keselamatan dan keamanan, kebersihan, aksesibilitas, transparansi, keaslian, dan harmonisasi dari kegiatan pariwisata yang peduli dengan lingkungan manusia dan alam”.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas tentang kualitas layanan di bidang pariwisata atau yang dikenal dengan istilah asingnya adalah *tourism service quality (tour servqual)*. Para penulis tersebut antara lain: Atilgan, et.al. (2003), Martin-Cejas (2006), Eraqi (2006), Prabaharan, et. al. (2008), Sulistiyani (2010), dan Haghkhah et al. (2011). Merujuk pada penelitian-penelitian tersebut maka banyak faktor yang berpengaruh terhadap kualitas layanan suatu industri/usaha pariwisata. Namun faktor-faktor tersebut hanya sebatas digunakan dalam mengukur tingkat kualitas layanan dan belum mampu membuat suatu model kualitas layanan ideal yang dibutuhkan dari suatu industri pariwisata. Mempelajari sistem, termasuk sistem industri pariwisata, akan lebih mudah bila kita membangun model dari sistem tersebut. Sedangkan pengertian model adalah gambaran atau proyeksi dari suatu obyek atas sistem yang sebenarnya.

Dalam penelitian ini akan disusun suatu model konseptual kualitas layanan industri pariwisata di Propinsi Jawa Tengah. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat diketahui model yang tepat bagi kualitas layanan dari industri pariwisata di Propinsi Jawa Tengah sehingga dapat menghasilkan peningkatan kualitas layanan tersebut. Tujuan akhirnya adalah dapat meningkatkan jumlah wisatawan yang berkunjung dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi daerah yang akan pula meningkatkan ekonomi nasional.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan berdasarkan studi literatur dari berbagai literatur yang membahas tentang kualitas layanan di bidang pariwisata, dimensi-dimensi yang mempengaruhi kualitas layanan, hingga faktor-faktor guna mengukur daya saing wisata guna mencapai kepuasan wisatawan.

Dasar pengukuran kualitas layanan pariwisata awalnya masih mengacu pada dimensi kualitas layanan *Service Quality (ServQual)* milik Parasuraman. Faktor dan atribut yang digunakan dalam model merupakan alat ukur dalam menilai kepuasan wisatawan berdasarkan konsep utama dari ServQual tersebut. TourServqual juga disusun berdasarkan 5 dimensi jasa seperti pada ServQual, yaitu: *Reliability, Assurance, Tangible, Emphaty, dan Responsiveness*.

Yu (2005) yang mengadopsi empat dimensi kualitas layanan (*responsiveness, reliability, assurance dan tangible*) milik Parasuraman dalam penelitiannya. Namun untuk melengkapi penelitiannya, Yu menambahkan satu dimensi lain di luar ServQual yaitu *participant* dalam penelitiannya yang berjudul “*Service Quality : A Case Study of the 2011 Study Tour of Taiwan*”. Terdapat penelitian lainnya yang juga menggunakan dasar dimensi kualitas ServQual sebagai referensi, yaitu Zhang (2009). Penelitian Zhang, yaitu: “*An Investigation Into the Guests’ Perceived Service Quality of the Bed-And-Breakfast and Guest House Market Industry in the Nelson Mandela Bay Area*”. Zhang menggunakan 4 dimensi kualitas layanan dalam penelitiannya. Keempat dimensi tersebut antara lain : *responsiveness, reliability, assurance, tangible*.

Berbeda dengan Yu (2005) dan Zhang (2009) yang masih menggunakan dimensi kualitas milik Parasuraman. Eraqi (2006) membuat penelitian yang dipublikasikan di Jurnal Emerald yang berjudul “*Tourism Service Quality (TourServQual) in Egypt*”. Dalam penelitiannya tersebut Eraqi ingin melihat sudut pandang pelanggan dalam hal ini adalah para wisatawan terhadap layanan kualitas di Egypt. Eraqi menggunakan *dimensi* pengukuran yang dikeluarkan oleh WTO yaitu: *safety and security, hygiene, accessibility, transparency, authenticity, harmony*.

Selain penelitian yang bertujuan untuk menguji kualitas layanan pariwisata di suatu daerah, ada penelitian lain yang mencoba untuk membuat patokan skala pengukuran ServQual (SQ) ada juga yang mencoba untuk membuat model kualitas layanan pariwisata. Narayan et al (2008) melakukan penelitian yang berjudul “*Scales to measure and benchmark service quality in tourism industry: A second-order factor approach*”. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengembangkan dan memvalidasi skala untuk mengukur kualitas pelayanan dan patokan (SQ) dalam industri pariwisata. Instrumen yang digunakan oleh Narayan et al dalam penelitiannya adalah: *safety and security, hospitality, hygiene, information, food*. Instrumen penelitian yang digunakan berbeda dengan 5 dimensi kualitas jasa milik Parasuraman.

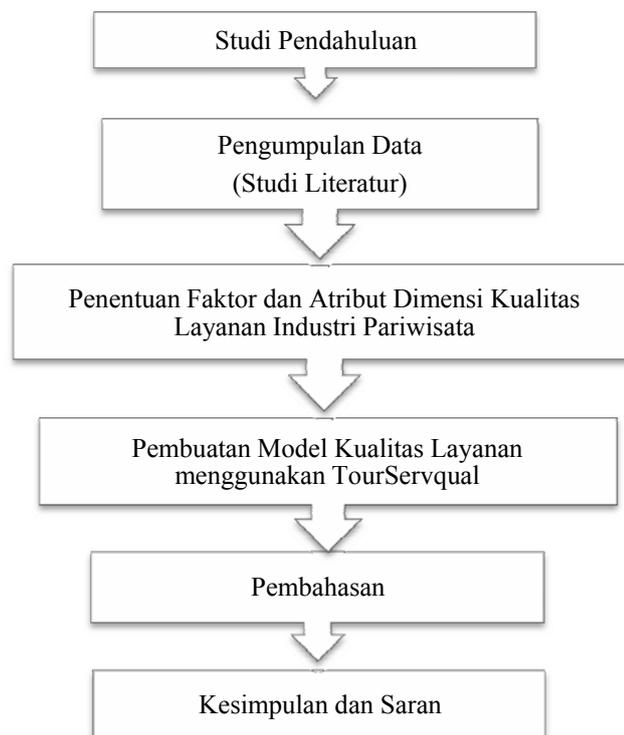
Selain beberapa peneliti di atas, terdapat Moon, et al (2011) yang membuat penelitian berjudul: “*The influence of consumer’s event quality perception on destination image*”. Moon membuat model untuk mengukur keterkaitan antara *event quality* dengan *destination image*. Dalam penelitiannya Moon

menggunakan dimensi ServQual dan beberapa dimensi tambahan lainnya. Dimensi yang digunakan antara lain: *responsiveness, reliability, safety and security, communication, hospitality*.

Berdasarkan beberapa referensi tersebut, maka dalam membuat model kualitas layanan pariwisata Jawa Tengah menggabungkan semua dimensi tersebut, hingga terdapat 16 dimensi yang digunakan. Kemudian untuk mengukur dimensi kepuasan pelanggan kami mengacu pada penelitian Kangogo (2013). Kangogo menggunakan indikator : *length of stay, customer loyalty, repeat sales, referrals, handling customer complain dan guest retention* sebagai indikator customer satisfaction pada model.

Kepuasan wisatawan merupakan indikator yang mempengaruhi daya saing dari tujuan wisata. Selanjutnya kami menggunakan penelitian milik Crouch (2007) untuk mengukur destination competitiveness dari lokasi wisata. Menurut Crouch (2007), daya saing tujuan wisata dapat diukur melalui 36 faktor.

Berikut adalah alur metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini:



**Gambar 1.** Flowchart metode penelitian

## PEMBAHASAN

Hubungan yang dibangun dalam model diawali oleh keterkaitan antara kepuasan konsumen (wisatawan) yang akan mempengaruhi daya saing tujuan (destinasi) wisata.



**Gambar 2.** Hubungan antara kepuasan konsumen dan daya saing tujuan wisata

## Dimensi dan faktor yang digunakan dalam model

Terdapat 16 dimensi yang akan mempengaruhi kepuasan konsumen. Keenam belas dimensi tersebut dirangkum berdasarkan referensi yang digali dari berbagai literatur terkait kepuasan wisatawan dalam penilaian kualitas layanan pariwisata. Dimensi-dimensi tersebut adalah:

1. *Responsiveness* (Daya Tanggap)
2. *Reliability* (Kehandalan)

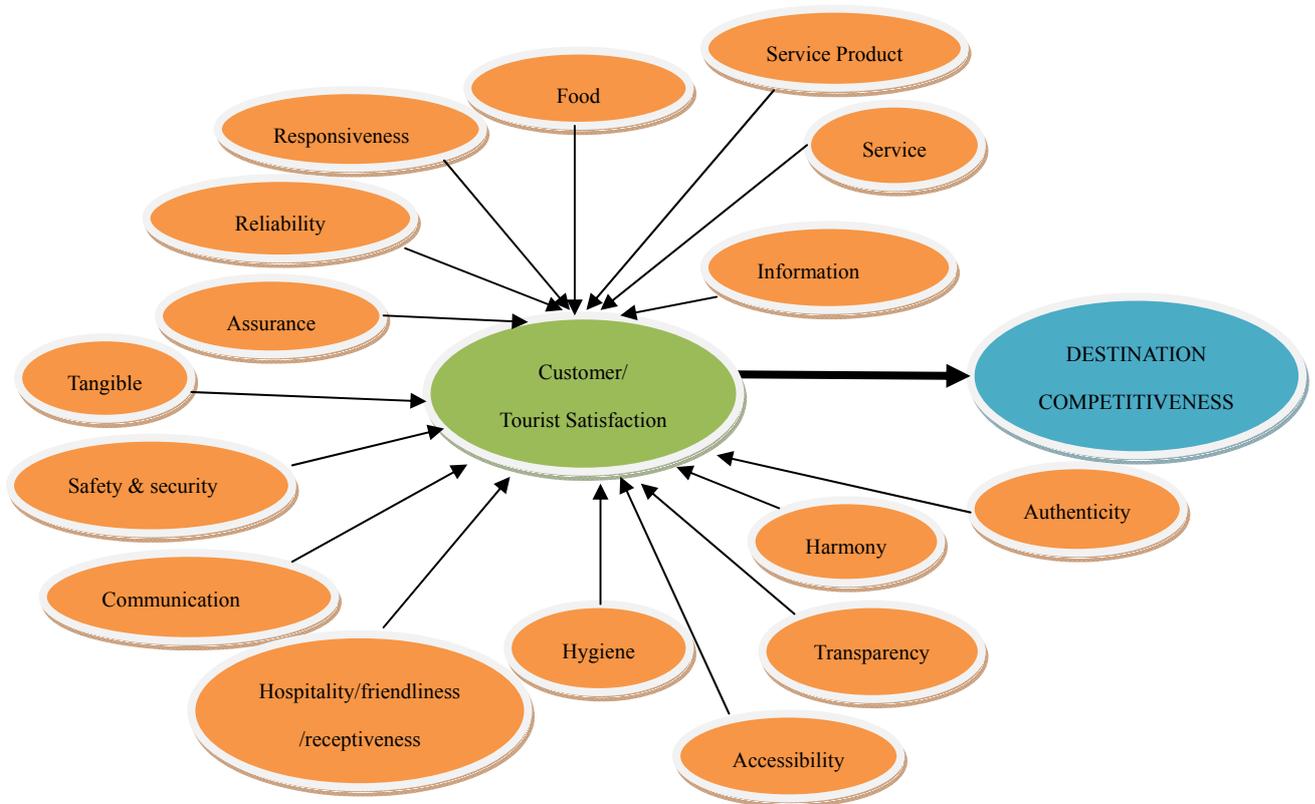
3. *Assurance* (Jaminan) Assurance (Jaminan)
4. *Tangible* (Bukti Fisik)
5. *Safety & Security* (keselamatan dan Keamanan)
6. *Communication* (Komunikasi)
7. *Hospitality/ Friendliness* (Keramah tamahan)
8. *Hygiene* (Kesehatan)
9. *Accessibility* (kemudahan untuk diakses)
10. *Transparency* (Transparansi)
11. *Authenticity* (Keaslian)
12. *Harmony* (Keserasian /keselarasan)
13. *Information* (Informasi)
14. *Service responsibility* (tanggung jawab layanan)
15. *Service product* (produk layanan)
16. *Food* (Makanan)

Kemudian menurut Crouch (2007) terdapat 36 faktor yang mempengaruhi daya saing tujuan wisata, yaitu:

- Sumber dan daya tarik utama
  - 1) Acara khusus
  - 2) Fisiografi dan iklim
  - 3) Budaya dan sejarah
  - 4) Ragam aktivitas
  - 5) Hiburan
  - 6) Superstruktur
  - 7) Hubungan pasar
- Faktor dan Sumber Pendukung
  - 8) Infrastruktur
  - 9) Aksesibilitas
  - 10) Sumber daya pendukung
  - 11) Keramahan
  - 12) Perusahaan/firma
  - 13) Kebijakan politik
- Kebijakan, perencanaan dan pengembangan destinasi
  - 14) Definisi sistem
  - 15) Filosofi/nilai
  - 16) Visi
  - 17) Posisi/merk
  - 18) Pengembangan
  - 19) Analisis kompetitif/kolaborasi
  - 20) Monitoring dan evaluasi
  - 21) Audit
- Manajemen destinasi
  - 22) Organisasi
  - 23) Pemasaran
  - 24) Kualitas jasa/pengalaman
  - 25) Informasi/penelitian
  - 26) Pengembangan sumber daya manusia
  - 27) Pembiayaan dan modal usaha
  - 28) Manajemen tamu
  - 29) Manajemen krisis
  - 30) Pelayanan sumber daya
- Persyaratan dan penjelasan faktor penentu
  - 31) Lokasi
  - 32) Keselamatan/keamanan
  - 33) Biaya/nilai
  - 34) Ketergantungan
  - 35) Kesadaran/gambaran
  - 36) Kapasitas bawaan

**Model Konseptual Penelitian**

Berikut ini disusun suatu model konseptual berdasarkan uraian sebelumnya:



**Gambar 3.** Model Konseptual Peningkatan Kualitas Layanan Wisata

**Indikator Penelitian**

Dibawah ini diuraikan indikator penelitian yang terkait dengan 16 dimensi yang mempengaruhi kepuasan wisatawan dan 36 faktor yang digunakan dalam mengukur daya saing tujuan wisata:

**Tabel 1.** Indikator Penelitian

Variabel Laten	Indikator	Sumber
Responsiveness (Daya Tanggap)	D1 Petugas bersungguh-sungguh dalam memecahkan masalah	Prabaharan [11],
	D2 Respon yang cepat terhadap keinginan wisatawan	Moon, et al [8], Yu
	D3 Kesiediaan untuk membantu wisatawan, dan menyarankan bagaimana menggunakan waktu luang	[14], Zhang [15]
	D4 Permasalahan dapat dipecahkan secepatnya	
	D5 Petugas merespon permintaan secepatnya.	
	D6 Petugas bersedia menjawab pertanyaan wisatawan.	
	D7 Daya tanggap petugas di tempat menginap untuk menangani keluhan	
	D8 Daya tanggap penduduk di luar tempat menginap untuk membantu	
	D9 Sikap dan perilaku petugas	
Reliability (Kehandalan)	H1 Melakukan pelayanan Dengan Benar sejak pertama kali	Prabaharan [11], Moon
	H2 Tepat janji	et al [8], Yu [14],
	H3 Memenuhi jadwal tur	Zhang [15]
	H4 Tidak ada kenaikan biaya tur secara mendadak	
	H5 Informasi disediakan secara tepat dan akurat	
	H6 Apa yang dijanjikan itu yang diberikan	

	H7	Kegiatan/program dimulai tepat waktu	
	H8	Peralatan yang disediakan bagi program tsb harus terkini (up-to-date)	
	H9	Penyelenggara/pemilik harus memperhatikan pengendalian kualitas	
	H10	Pemesanan tempat (reservasi) ditangani secara efisien.	
	H11	Ruang/kamar siap sesuai yang dijanjikan	
	H12	Peralatan mekanis bekerja dengan tepat/baik (seperti TV)	
	H13	Saya dapatkan apa yang telah saya bayarkan	
<i>Assurance</i> (Jaminan)	A1	Dilayani oleh petugas yang tepat	Prabaharan [11], Yu [14], Zhang [15]
	A2	Penguatan kepercayaan wisatawan	
	A3	Pendampingan jasa tur dan hotel yang kompeten dan berpengalaman	
	A4	Petugas harus dapat dipercaya	
	A5	Petugas yang dapat dipercaya di tempat menginap	
	A6	Penduduk yang dapat dipercaya diluar tempat menginap	
	A7	Petugas harus sopan	
	A8	Petugas harus kompeten	
	A9	Petugas harus memahami kebutuhan saya	
	A10	Petugas harus mengerjakan tugas mereka dengan baik secara konsisten	
	A11	Petugas membuat kita merasa seperti ini kepunyaan kita	
	A12	Petugas harus bersemangat	
<i>Tangible</i> (Bukti Fisik)	F1	Kendaraan yang modern dan relevan secara teknologi	Prabaharan [11], Yu [14], Zhang [15]
	F2	Fasilitas akomodasi yang menarik	
	F3	Ketersediaan dokumen informasi dan buku catatan	
	F4	Tampilan fisik dari tim pendamping jasa tur dan hotel (kerapian, dsb)	
	F5	Fasilitas harus nyaman	
	F6	Fasilitas harus tampil menarik dan estetik	
	F7	Petugas tampil bersih dengan seragam yang rapi	
	F8	Eksterior ruangan terawat dengan baik	
	F9	Interior ruangan terawat dengan baik	
	F10	Ruangan bersih	
<i>Safety &amp; Security</i> (keselamatan dan Keamanan)	X1	Produk atau layanan wisata tidak membahayakan nyawa, merusak kesehatan, serta integritas konsumen	Moon et al (2011), WTO dalam Eraqi (2006), Narayan e al (2008)
	X2	Keamanan di tempat menginap	
	X3	Keamanan turis di tempat yang dikunjungi	
	X4	Keselamatan perjalanan domestik (pesawat, kereta, bis, taksi)	
	X5	Kemungkinan gangguan dari pengemis	
	X6	Kemungkinan gangguan dari pedagang	
<i>Communication</i> (Komunikasi)	K1	Biaya/harga yang dibayarkan dijelaskan dengan baik	Moon et al (2011), Zhang (2009)
	K2	Saya menerima perhatian yang tidak berbeda dibanding pengunjung lainnya	
	K3	Petugas mencari tahu kebutuhan khusus saya	
	K4	Petugas mengantisipasi kebutuhan saya	
	K5	Komunikasi yang lancar dan mudah dipahami dengan wisatawan	
	K6	Kemudahan berkomunikasi dengan penduduk dalam bahasa yang bisa difahami oleh turis (asing) dengan penduduk setempat (misal: bahasa Inggris)	
<i>Hospitality/ Friendliness</i> (Keramah tamahan)	R1	Kesopanan petugas di pintu masuk	Moon, et al [8], Narayan, et al [9]
	R2	Kesopanan petugas di tempat menginap	
	R3	Keramahtamahan penduduk diluar tempat menginap	
<i>Hygiene</i> (Kesehatan)	S1	Fasilitas akomodasi aman dan bersih	Narayan et al [9], WTO dalam Eraqi [3]
	S2	Standar keamanan makanan	

	S3	Kebersihan dan kesehatan di fasilitas kedatangan (stasiun, terminal, bandara)	
	S4	Kebersihan dan kesehatan di tempat menginap	
	S5	Kebersihan dan kesehatan di lokasi kunjungan wisata	
	S6	Kebersihan dan kesehatan restoran diluar tempat menginap	
	S6	Kebersihan dan kesehatan kondisi/keadaan jalan	
	S8	Tingkat kesehatan dari makanan.	
<i>Accessibility</i> (kemudahan untuk diakses)	C1	Layanan, komunikasi, dan bentuk fisik harus dapat digunakan oleh wisatawan, tanpa perbedaan, termasuk orang cacat	WTO dalam Eraqi [3]
<i>Transparency</i> (Transparansi)	T1	Penyediaan informasi jujur tentang karakteristik produk dan harganya	WTO dalam Eraqi [3]
<i>Authenticity</i> (Keaslian)	O1	Produk berbeda dengan produk lain yang sejenis	WTO dalam Eraqi [3]
<i>Harmony</i> (Keseserasian /keselarasan)	L1	Keselarasn antara menjaga kualitas produk bagi wisatawan dan lingkungan alam serta sosial-ekonomi	WTO dalam Eraqi [3]
Informasi	I1	Ketersediaan pusat informasi turis di pos kedatangan (stasiun, terminal, bandara)	Narayan et al [9]

## KESIMPULAN

Dari proses pembuatan model dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model konseptual terdiri dari enam belas (16) dimensi kualitas layanan pariwisata yang akan mempengaruhi atau memiliki hubungan yang positif dengan kepuasan pelanggan (wisatawan atau turis).
2. Kepuasan pelanggan memiliki pengaruh yang positif terhadap keunggulan daerah wisata (destination competitiveness).
3. Untuk mengukur daya saing (keunggulan) daerah wisata menggunakan 36 indikator.
4. Model konseptual ini nantinya diharapkan dapat mengukur kepuasan wisatawan diantara daerah wisata yang menjadi objek, juga mengukur tingkat daya saing masing-masing objek tersebut, sekaligus mengetahui faktor apa yang paling berpengaruh terhadap daya saing tujuan wisata. Faktor-faktor yang paling berpengaruh itu akan menjadi fokus perhatian ke depan dalam rangka peningkatan kualitas layanan daerah wisata. Untuk mendapatkan semua tolok ukur tersebut maka perlu adanya pengambilan data, bisa melalui wawancara maupun penyebaran kuesioner, kepada wisatawan selaku kosumen.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Hibah Bersaing Ditjen Dikti pada tahun anggaran 2014.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atilgan E., Akinci S., Aksoy S., 2003, Mapping Service Quality in Tourism Industry, *Managing Service Quality*, Vol. 13 Number 5, Emerald, p. 412-422
- Crouch, Geoffrey I., 2007, Modelling destination competitiveness: a survey and analysis of the impact of competitiveness attributes, *National Library of Australia Cataloguing in Publication Data*
- Eraqi Mohammed I., 2006, Tourism Service Quality (Tourservqual) in Egypt : The Viewpoints of External and Internal Customers, *Benchmarking : An International Journal*, Emerald Vol. 13 No. 4 pp. 469 - 492
- Haghhkah Azam., Nosratpour Mehdi, Ebrahimpour Alireza, Hamid Abu bakar Abd., 2011, The Impact Of Service Quality On Tourism Industry, *2nd International Conference on Business and Economic Research Proceeding*
- Kangogo Everlyne J, Musiega, Manyasi J., 2013, Effect Of Customer Satisfaction On Performance Of The Hotel Industry In The Western Tourism, *European Journal Of Business And Management* Vol. 5 No. 14 pp 87 - 99
- Liangi Shintia Natalia, Susanto Debora, 2010, Analisa Pengaruh Kepuasan Atas Atribut Destinasi Wisata Rohani Terhadap Re-Visiting Commitment Pengunjung Di Pertapaan Putri Karmel Tumpang Malang, Tugas Akhir, Universitas Kristen Petra, Surabaya
- Martin-Cejas, Roberto R., 2006, Tourism Service Quality Begins at the Airport, *Tourism Management* 27, Elsevier, p. 874-877

- Moon K. S. Et al, 2011, The Influence of Consumer's Event Quality Perception on Destination Image, *Managing Service Quality*, Vol. 21 Number 3, Emerald, p. 287-303
- Narayan, et.al., 2008, Scales to measure and benchmark service quality in tourism industry: A second-order factor approach, *Benchmarking: An International Journal* vol 15 no 4, pp 469-493
- Parasuraman, Zeithaml VA, Berry L, 1990, *Delivering Quality Service – Balancing Customer Perceptions and Expectations*, New York: The Free Press
- Prabaharan, B., Arulraj, A., Rajapagal, V., 2008, *Service Quality on Tourism : Application of SEM*, Conference on Tourism in India – Challenges Ahead
- Sulistiyani Endang, 2010, *Membangun Loyalitas Wisatawan Melalui Peningkatan Kualitas Objek Wisata, Promosi Kepuasan Wisatawan di Kawasan Wisata Tawangmangu Karanganyar*, *Jurnal Pengembangan Humaniora* Vol 10. No. 3
- WTO, 2003, *Quality standards*, WTO Tourism Quality, World Tourism Organisation, available at: [www.world-tourism.org](http://www.world-tourism.org)
- Yu, A. Hung-Chih, Morais, D., Chick, G., 2005, *Service Quality in Tourism: A case study of the 2001 study tour of Taiwan*, *Proceedings of the 2005 Northeastern Recreation Research Symposium*
- Zhang, Jin, 2009, *An Investigation into the Guests' Perceived Service Quality of the Bed-and-Breakfast and Guest House Market Industry in the Nelson Mandela Bay Area*, Dissertation, Nelson Mandela Metropolitan University
- <http://www.antarajateng.com/detail/index.php?id=73597#.UWHsTa6X9bw> diakses 8 April 2013

## IMPLEMENTASI SIXSIGMA PADA INDUSTRI JASA UNTUK PENINGKATAN KEPUASAN PELANGGAN KOPERASI SIMPAN PINJAM

Endang Widuri Asih

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta

Email: endang.akprind@gmail.com

### ABSTRAK

*Cooperative XX is one of the co-operative company engaged in the savings and loan and banking services. In order to compete with corporate banking, Cooperative XX must know people's desire to make his choice to use banking services. Based on preliminary surveys through interviews with 15 customers, there are complaints from 3 subscribers. This shows that 20% are not satisfied with the services of Cooperative XX.*

*In an effort to improve the service quality of customer satisfaction, companies need to measure the quality of their level from time to time. one of them by applying Six Sigma methods with DMAIC phases ((Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Six Sigma is a structured methodology for improving business processes focused on reducing process variation as well defect (products / services that are out of specification) with using statistical and problem solving tools intensively.*

*The results of the study with a questionnaire distributed to 100 respondents, showed that the attributes most dissatisfied customers are cooperative XX slow speed of service. From the calculation of DPMO perusahaan capability is 190,000 with a value of 2.12. To improve customer satisfaction at the speed of service, the cooperative must improve the skills of employees, number of employees, the update tool and method of service.*

**Keywords:** Six Sigma, the service industry, customer satisfaction

### PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi untuk segala bidang, kualitas dan efisiensi proses, produk ataupun jasa sekarang telah menjadi pemikiran utama perusahaan yang sadar akan adanya persaingan ketat dalam dunia industri (Ngatilah, 2006). Kualitas menjadi faktor keputusan konsumen dalam menentukan produk dan jasa yang diinginkan. Kualitas adalah faktor kunci yang membawa keberhasilan bisnis, pertumbuhan dan peningkatan posisi bersaing. Untuk itu diperlukannya suatu strategi yang dapat menjamin kualitas. Strategi yang dapat menjamin kualitas adalah strategi yang dapat menjaga kestabilan proses, sehingga variasi proses dapat dikendalikan dengan tujuan untuk dapat meningkatkan kualitas produk ataupun kepuasan konsumen.

Bank merupakan suatu perusahaan yang bergerak di bidang jasa, sehingga kinerja perusahaan harus diukur pada aspek non finansial seperti perilaku karyawan, kemampuan karyawan, kepuasan pelanggan. Kinerja perusahaan dapat ditentukan oleh kombinasi faktor internal dan eksternal perusahaan. Faktor-faktor internal yang dimiliki perusahaan harus dikombinasikan dengan faktor-faktor eksternal yang dimiliki perusahaan.

Koperasi XX adalah salah satu perusahaan koperasi perbankan. Guna menghadapi persaingan ini, Koperasi XX harus mengetahui keinginan masyarakat dalam menentukan pilihannya menggunakan jasa pelayanan perbankan. Adapun jasa pelayanan yang ada di bank tersebut adalah simpan pinjam dan menabung. Berdasarkan survey pendahuluan dengan melakukan wawancara terhadap 15 pelanggan, terdapat keluhan dari 6 pelanggan. Hal ini menunjukkan bahwa 40% tidak puas terhadap pelayanan jasa Koperasi XX. Adapun keadaan ini pihak bank belum merasa puas dengan sistem pelayanan yang ada, sehingga pihak bank ingin mengevaluasi lagi sistem pelayanannya agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Beranekaragam pelayanan yang diberikan oleh pihak bank didukung dengan pelayanan yang baik dari karyawan akan mampu meningkatkan kepuasan pelanggan. Kepuasan konsumen adalah faktor terpenting dalam mengembangkan proses dan membangun hubungan dengan konsumen. Kepuasan konsumen sangat di pengaruhi oleh bagaimana pihak *front liner* dalam memberikan pelayanannya (Tjiptono, 2005).

Dalam upaya peningkatan kualitas jasa pelayanan yaitu kepuasan konsumen, perusahaan perlu mengukur tingkat kualitas dari waktu ke waktu. salah satunya dengan menerapkan metoda Six Sigma. Six Sigma merupakan sebuah metodologi terstruktur untuk memperbaiki proses yang difokuskan pada usaha mengurangi variasi proses (process variances) sekaligus mengurangi cacat (produk/jasa yang diluar spesifikasi) dengan menggunakan statistik dan problem solving tools secara intensif. Untuk itu pada penelitian ini diterapkan metode six sigma di Koperasi XX dengan, melalui tahapan metodologinya

yaitu DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*). Dan berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu: Endang WA (2009) dengan judul “Perancangan Alat Pemecah Kedelai yang Ergonomis dengan Pendekatan Integrasi Model kano dan Quality Function Deployment”. Fokus penelitian ini membahas tentang perancangan alat pemecah kedelai guna memenuhi kepuasan penggunaannya dengan model Kano dan Quality Function Deployment. Supriyanto Harry (2004) dengan judul “Proses Pembuatan Tow dengan Pendekatan Six Sigma”. Fokus penelitian ini membahas tentang peningkatan kualitas pada proses pembuatan Tow dengan pendekatan SixSigma. Pada penelitian ini menjelaskan penerapan pendekatan sixsigma untuk industri manufaktur. Penelitian yang akan dilakukan merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian tersebut diatas. Fokus penelitian ini mengenai tentang penerapan sixsigma di industri jasa guna meningkatkan kepuasan pelanggan.

### **Konsep Six Sigma**

Pada dasarnya pelanggan akan puas apabila menerima nilai sebagaimana yang diharapkan. Apabila produk (barang / jasa) diproses pada tingkat kualitas *six sigma*, perusahaan boleh mengharapkan 3,4 kegagalan persatu juta kesempatan (*Defect per Million Opportunity*), atau mengharapkan bahwa 99,99966 persen dari apa yang diharapkan pelanggan akan ada dalam produk tersebut. Dengan demikian *Six Sigma* dapat dijadikan ukuran target kinerja sistem industri tentang bagaimana baiknya suatu proses transaksi produk antara pemasok (industri) dan pelanggan (pasar). Semakin tinggi target Sigma yang dicapai, kinerja sistem industri semakin baik *Six Sigma* juga dapat dipandang sebagai pengendalian proses industri yang berfokus pada pelanggan, melalui penekanan pada kemampuan proses (*process capability*) (Gaspersz, 2002). Keberhasilan implementasi program peningkatan kualitas *Six Sigma* ditunjukkan melalui peningkatan kapabilitas proses dalam menghasilkan produk menuju tingkat kegagalan nol (*zero defect*). Oleh karena itu, konsep perhitungan kapabilitas proses menjadi sangat penting untuk dipahami dalam implementasi proses *Six Sigma*.

### **Six Sigma Di Perusahaan Jasa**

Six sigmadikembangkan di sektor manufaktur dan kebanyakan publisitas berputar disekitar perusahaan seperti Motorola dan GE, kebanyakan orang di sektor jasa mengira bahwa six sigmatidak dapat diterapkan di perusahaan mereka. Ini sama sekali tidak benar. Semua proyek six sigma memiliki tiga karakter utama:

1. Terdapat **masalah untuk dipecahkan**.
2. Terdapat **proses** tempat masalah berada.
3. Terdapat satu atau lebih cara pengukuran untuk mengukur jarak yang perlu dijembatani dan dapat digunakan untuk memonitor kemajuan.

Karakter-karakter ini terdapat pada semua jenis proses bisnis dengan demikian six sigma dapat dengan mudah diaplikasikan ke berbagai jenis wilayah transaksi, administrasi dan jasa. Pada kenyataannya secara umum disetujui bahwa 50 % atau lebih kesempatan untuk melakukan penghematan di dalam sebuah perusahaan terjadi di luar wilayah produksi. Dalam sektor jasa six sigma mulai biasa dikenal dengan istilah six sigma transaksional (Transactional Six Sigma). Six sigma dapat diterapkan dengan baik di bidang jasa, benar adanya bahwa bidang jasa memiliki beberapa sifat unik dibandingkan proses manufaktur. Pertama sektor ini memiliki karakter yang tidak terlalu ilmiah dan pekerja jasa tidak terbiasa berpikir dalam konteks proses, pengukuran dan data. Proses yang ada pada sektor ini seringkali tidak kasat mata, kompleks dan tidak terdefinisikan ataupun terdokumentasi dengan baik. Selain itu pekerjaan yang berkenaan dengan sektor ini melibatkan banyak campur tangan manusia misalnya interaksi dengan pelanggan, atau pengambilan keputusan, maupun pelaporan secara manual. Perbedaan ini membuat banyak kesempatan untuk melakukan perbaikan sulit dilihat, dan kebanyakan proyek sulit untuk didefinisikan, dan terlebih lagi aktifitas jasa yang serupa sering kali dilakukan dengan cara yang berbeda (Yezmizaerti Muchtar, Nooviarsi, Riswendi, 2010).

Kebanyakan proses jasa melibatkan manusia, sering kali tidak terdapat sistem pengukuran atau jika ada maka sistem pengukuran itu tidak terdefinisikan dengan baik karena banyak orang beranggapan bahwa kesalahan tidak dapat diukur. Dengan demikian kita harus membuat sistem pengukuran sebelum pengumpulan data apa pun. Penerapan six sigma ke sektor jasa mengharuskan pengkajian empat tolak ukur penting dalam pengukuran kinerja

- a. Keakuratan, yang diukur melalui angka finansial yang tepat, informasi yang lengkap atau tidak adanya kesalahan data.
- b. Masa siklus, yang mengukur berapa lama waktu yang diperlukan untuk melakukan sesuatu, misalnya membayar tagihan.

- c. Biaya, yaitu biaya internal untuk melakukan aktifitas proses (pada kebanyakan kasus biaya biasanya ditentukan oleh keakuratan dan atau masa siklus proses. Semakin panjang waktu yang diperlukan dan lebih banyak kesalahan yang harus dibenahi maka semakin tinggi pula biaya yang diperlukan).
- d. Kepuasan pelanggan, yang biasanya merupakan cara pengukuran kesuksesan yang utama.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Koperasi XX. Objek penelitiannya adalah peningkatan kepuasan pelanggan dengan penerapan six sigma. Data-data yang dibutuhkan adalah data dari hasil kuesioner tentang kepuasan pelayanan yang ada di Kopersai XX Cabang Yogyakarta. Kuesioner teragi dalam 2 bagian yaitu bagian pertama tentang identitas responden dan bagian kedua tentang kepuasan pelanggan terhadap pelayanan koperasi XX. Kuesioner disebarakan ke 100 responden. Responden adalah anggota koperasi yang melakukan simpan pinjam di koperasi XX. Setelah didapat hasil kuesioner kemudian dilakukan pengolahan data dengan tahapan sixsigma yaitu:

1. Define

Dengan melakukan identifikasi masalah terhadap pelanggan dengan kuesioner, dapat diketahui apa yang menjadi masalah utama yang dihadapi oleh perusahaan. Permasalah tersebut diidentifikasi dengan membuatkan *chek List dan* kemudian dari cek List tersebut digambarkan ke diagram pareto.

2. Measure

Pada tahap ini pengukuran dilakukan untuk menilai kondisi yang ada. Penerapan karakteristik kualitas (CTQ) berdasarkan diagram Pareto, hal ini dapat diidentifikasi jenis komplain yang terbesar untuk mendapatkan CTQ. Penentuan CTQ dilakukan dengan cara mengolah suara pelanggan (*voice of customer*) menjadi bahasa kualitas yang dapat merepresentasikan karakter produk utama yang diinginkan oleh pelanggan. Alat yang dipakai untuk menentukan karakter CTQ adalah CTQ tree, yang dapat didapatkan karakteristik kualitas (CTQ) penyebab yang terjadi.

3. Analyze

Dalam six sigma kriteria karakteristik kualitas yang memiliki potensi untuk menimbulkan kegagalan disebut dengan CTQ potensial yang menimbulkan kegagalan (cacat). Baseline kinerja dalam proyek six sigma biasanya ditetapkan dengan menggunakan satuan pengukuran DPMO ( Defect Per Million Opportunities) dan atau tingkat kapabilitas sigma (sigma level). Kemudian dengan mengkonversikan nilai DPMO ke dalam nilai sigma, rincian perhitungan seperti pada tabel 1. Adapun rumus perhitungan DPMO adalah :

$$\frac{\text{Banyak pengguna layanan yang melakukan kompl}}{\text{Banyak pengguna layanan x CTQ Potensial}} \times 1.000.000 \dots\dots\dots(1)$$

Tabel 1. Contoh Perhitungan Kapabilitas Sigma

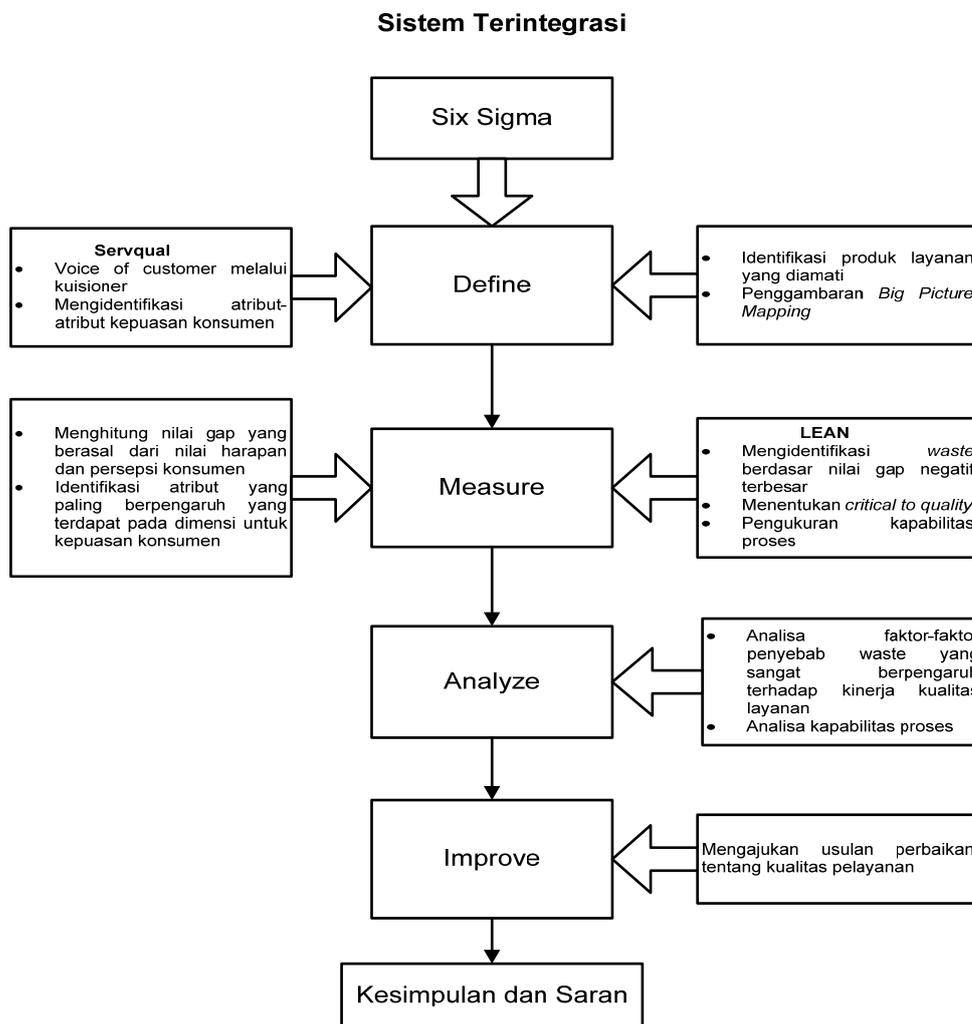
Langkah	Aktivitas	Persamaan	Hasil
1	Proses apa yang ingin diketahui kualitasnya?	-	layanan keberangkatan
2	Berapa banyak pelanggan yang dilayani	-	100
3	Berapa banyak keluhan/klaim perbaikan dari pelanggan yang diterima	-	4
4	Hitung tingkat keluhan berdasarkan pada langkah 3!	=(langkah 3)/(langkah 2)	0,04
5	Tentukan banyaknya CTQ potensial yang dapat mengakibatkan keluhan atau kegagalan!	=banyaknya karakteristik CTQ	2
6	Hitung Peluang singkat keluhan per karakteristik CTQ!	=(langkah 4)/(langkah 5)	0,02
7	Hitung kemungkinan keluhan per satu juta kesempatan (DPMO)	=(Langkah 6) x 1.000.000	20.000
8	Konversi DPMO (langkah 7) ke dalam nilai sigma	-	3,567
9	Kesimpulan	-	Kapabilitas sigma 3,567

#### 4.Improve

Sumber dari akar penyebab masalah diidentifikasi dan dianalisis dengan menggunakan teknik 5W + 1H. Dari analisis dengan menggunakan teknik 5W +1H dapat dilihat deskripsi dan pernyataan yang berhubungan langsung dengan masalah kecepatan akses internet seperti yang menjadi masalah utama, yang menjadi penyebab masalah, waktu terjadinya, tempat terjadinya, siapa yang melakukan dan bagaimana mengatasi permasalahan ini. Dari analisa ini maka diperoleh suatu rencana tindakan perbaikan yang lebih baik.

#### 5.Control

Tahap kontrol merupakan tahap terakhir yang dilakukan dalam implementasi six sigma untuk memperbaiki proses sebelumnya, pada tahap ini dilakukan pengontrolan terhadap perbaikan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya dengan memberikan pengetahuan yang jelas akan penggunaan layanan kepada pelanggan. Sehingga nantinya kepuasan para pelanggan dapat terpenuhi.



Gambar .1 SistemTerintegrasi  
(Sumber :Sulistiyowati, 2007)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan tahapan six sigma yaitu DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) maka tahapan yang pertama adalah Define. Tahapan Define ini adalah mengidentifikasi permasalahan. Identifikasi permasalahan dihasilkan dari hasil kuesioner. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelanggan koperasi XX di wilayah DIY yang tersebar di daerah Sleman, Bantul, Kulonprogo dan gunung kidul . Dalam penelitian ini dilakukan kuesioer dengan mengambil sampel responden

sebanyak 100 pelanggan. Dari hasil kuesioner yang terdiri dari 17 atribut, didapatkan ada enam atribut yang menunjukkan ketidakpuasan pelanggan terhadap koperasi XX yaitu atribut kecepatan pelayanan ke pelanggan lambat, Koperasi dalam menangani keluhan pelanggan memerlukan waktu cukup lama, Pelayanan koperasi masih menggunakan cara tradisional, Peralatan yang digunakan dalam pelayanan ke pelanggan masih sederhana, Waktu Penyelesaian sertifikat tabungan lama, dan Bunga pinjaman cukup tinggi. Adapun jumlah pelanggan yang tidak puas dapat dilihat pada tabel 2.

Tahapan ke dua dalam six Sigma adalah Measure, pada tahap ini pengukuran dilakukan untuk menilai kondisi yang ada yaitu untuk menentukan karakteristik kualitas (CTQ). Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa urutan keluhan yang paling tinggi sebanyak 25 pelanggan adalah kecepatan pelayanan ke pelanggan kurang, urutan ke dua adalah sebanyak 18 pelanggan menyatakan bahwa Koperasi dalam menangani keluhan pelanggan memerlukan waktu cukup lama. Jenis keluhan tidak puas dari pelanggan berdasarkan ranking untuk selengkapnya pada tabel 3.

Pada keluhan yang paling besar yaitu kecepatan pelayanan ke pelanggan lambat, hal ini akan diperbaiki untuk itu dicari faktor penyebabnya. Faktor-faktor penyebab permasalahan kecepatan pelayanan ke pelanggan kurang, dikarenakan faktor atau karakteristik kualitas (CTQ) adalah ketrampilan karyawan kurang, jumlah pegawai koperasi yang melayani kurang, Cara yang digunakan masih tradisional, alat yang digunakan masih sederhana, lokasi antara kantor pelayanan dengan pelanggan jauh.

Tabel. 2. Jenis Keluhan dan jumlah pelanggan terhadap pelayanan Koperasi XX

No	Jenis Komplain	Jumlah pelanggan
1.	Kecepatan pelayanan ke pelanggan lambat	25
2.	Koperasi dalam menangani keluhan pelanggan memerlukan waktu cukup lama	18
3.	Pelayanan koperasi masih menggunakan cara semi tradisional	15
4.	Peralatan yang digunakan dalam pelayanan ke pelanggan masih sederhana.	14
5.	Waktu Penyelesaian sertifikat tabungan lama	12
6.	Bunga pinjaman cukup tinggi	11
	Jumlah	95

Tabel. 3. Prosentasi jenis Keluhan dan jumlah pelanggan terhadap pelayanan Koperasi XX

No	Jenis Komplain	Jumlah pelanggan	Pros (%)	Prost Kumatif (%)
1	Kecepatan pelayanan ke pelanggan kurang	25	26,32	26,32
2.	Koperasi dalam menangani keluhan pelanggan memerlukan waktu cukup lama	18	18,95	45,27
3.	Pelayanan koperasi masih menggunakan cara semi tradisional	15	15,79	61,01
4	Peralatan yang digunakan dalam pelayanan ke pelanggan masih sederhana.	14	14,74	75,8
5	Waktu Penyelesaian sertifikat tabungan lama	12	12,62	88,42
6	Bunga pinjaman cukup tinggi	11	11,58	100
	Jumlah	95		

Setelah CTQ diketahui selanjutnya tahapan ke tiga yaitu tahapan Analyze. pada tahapan ini mengukur baseline kinerja. Dalam six sigma kriteria karakteristik kualitas yang memiliki potensi untuk menimbulkan kegagalan disebut dengan CTQ potensial yang menimbulkan kegagalan (cacat). Baseline kinerja dalam proyek six sigma biasanya ditetapkan dengan menggunakan satuan pengukuran DPMO (Defect Per Million Opportunities) dan atau tingkat kapabilitas sigma (sigma

level) dan kemudian dengan mengkonversikan nilai DPMO ke dalam nilai sigma. Berdasarkan rumus nomor 1, pada penelitian ini didapatkan hasil DPMO sebesar 190.000. Nilai DPMO kemudian dikonversi ke nilai six sigma untuk mendapatkan nilai kapabilitas sigma, dari hasil konversi menunjukkan bahwa nilai kapabilitas sigma sebesar 2,12, langkah perhitungan dapat dilihat ditabel 4. Hal ini menunjukkan bahwa dari sejuta kesempatan yang ada terdapat 190.000 kemungkinan bahwa jumlah pelanggan menyatakan ketidakpuasan koperasi XX dengan berbagai macam ketidakpuasan yang mereka ajukan. Nilai sigma sebesar 2,12 merupakan sepertiga dari nilai six sigma yang kemampuan proses mendekati zero defect. Untuk itu perlu peningkatan terus-menerus agar dapat mencapai nilai 6 sigma ( $6\sigma$ ) yaitu terdapat 3,4 kemungkinan *defect* (tidak memenuhi keinginan konsumen) dari sejuta kesempatan yang ada..

Tabel 4. Perhitungan Kapabilitas Sigma

Langkah	Aktivitas	Persamaan	Hasil
1	Proses apa yang ingin diketahui kualitasnya?	-	Kecepatan Pelayanan
2	Berapa banyak pelanggan yang dilayani	-	100
3	Berapa banyak keluhan/klaim perbaikan dari pelanggan yang diterima	-	95
4	Hitung tingkat keluhan berdasarkan pada langkah 3!	$=(\text{langkah 3})/(\text{langkah 2})$	0,95
5	Tentukan banyaknya CTQ potensial yang dapat mengakibatkan keluhan atau kegagalan!	$=\text{banyaknya karakteristik CTQ}$	5
6	Hitung Peluang singkat keluhan per karakteristik CTQ!	$=(\text{langkah 4})/(\text{langkah 5})$	0,19
7	Hitung kemungkinan keluhan per satu juta kesempatan (DPMO)	$=(\text{Langkah 6}) \times 1.000.000$	190.000
8	Konversi DPMO (langkah 7) ke dalam nilai sigma	-	2,12
9	Kesimpulan	-	Kapabilitas sigma 2,12

Tahap yang keempat adalah Improve, tahapan ini adalah memberikan usulan perbaikan (*improve*) dengan mendiskusikan ide-ide dalam memperbaiki sistem kerja pelayanan berdasarkan hasil analisis terdahulu, yang menjadi prioritas dalam perbaikan ini adalah kecepatan pelayanan. Perbaikan atau inovasi harus sesuai dengan visi dan misi perusahaan, sesuai pula dengan Voice of Customer, juga harus realistis. Sumber dari akar penyebab masalah diidentifikasi dan dianalisis dengan menggunakan teknik 5W + 1H.

Dari analisis dengan menggunakan teknik 5W + 1H dapat dilihat deskripsi dan pernyataan yang berhubungan langsung dengan masalah kecepatan pelayanan seperti yang menjadi masalah utama, yang menjadi penyebab masalah, waktu terjadinya, tempat terjadinya, siapa yang melakukan dan bagaimana mengatasi permasalahan ini. Dari analisa ini maka diperoleh suatu rencana tindakan perbaikan yang lebih baik.

1. *Why* ? pertanyaan ini menanyakan tentang pentingnya perbaikan masalah.  
Perbaikan harus dilakukan karena pelayanan yang diberikan belum bisa memenuhi harapan atau keinginan konsumen. Perbaikan terus-menerus dilakukan untuk mencapai nilai kapabilitas 6-sigma.
2. *What* (apa)?  
Apa tujuan perbaikan itu?  
Perbaikan dilakukan untuk meningkatkan kualitas layanan, kualitas layanan harus dapat memenuhi ekpektasi/kepuasan pelanggan. Keberhasilan dari suatu industri jasa sangat tergantung dari penilaian konsumen, maka merupakan hal yang sangat penting untuk memperhatikan kepuasan dari konsumen (Schnaars, 1991).
3. *Where* (dimana)? Dimana rencana perbaikan itu dilaksanakan?

Rencana perbaikan dilaksanakan pada proses layanan keberangkatan berdasarkan atribut dengan gap tertinggi.

4. When (kapan). Kapan perbaikan dilakukan?  
Perbaikan dilaksanakan setiap periode dan terus-menerus, diharapkan para karyawan akan semakin terampil dalam melakukan pelayanan.
5. Who (siapa). Siapa yang akan mengerjakan aktifitas rencana perbaikan?  
Rencana perbaikan dilakukan oleh manajemen perusahaan dengan melibatkan seluruh karyawan dan dilaksanakan secara bersama-sama.
6. How (bagaimana)? Pertanyaan ini tentang bagaimana cara perbaikan dilakukan.

Tindakan perbaikan yang perlu dilakukan oleh koperasi terhadap permasalahan kecepatan pelayanan adalah sebagai berikut:

- Perlu pengadaan dan pelaksanaan Standart Operation Prosedur (SOP), dengan adanya SOP karyawan akan lebih paham dalam pelaksanaan kerjanya sehingga karyawan lebih cepat dan sigap dalam pelayanan ke pelanggan.
- Peningkatan ketrampilan karyawan dengan mengadakan pelatihan kerja misalnya tentang komunikasi, public relation, seminar kepuasan pelanggan.
- *Brainstorming* berkala untuk mencari strategi memberikan layanan yang berkualitas dengan melibatkan semua karyawan dan manajemen.
- Penambahan jumlah karyawan lapangan agar semua pelanggan dapat terjangkau seluruh wilayah DIY.
- Pembaruan alat administrasi pelayanan seperti komputer, sehingga tidak lagi menggunakan mesin ketik. Hal ini guna meningkatkan kecepatan pelayanan ke pelanggan.
- Perlu ada pembaruan cara dalam proses pelayanan, seperti pengadaan website koperasi dengan menu yang lengkap, sehingga jika ada pelanggan yang akan meminjam atau menabung pelanggan bisa form isian dari internet, tidak lagi mengisi saat di koperasi atau menunggu form dari karyawan lapangan. Dan juga pelanggan yang mau pinjam atau simpan bisa memprediksi jumlah uang pinjaman atau simpanannya.
- Perlu dipertimbangkan pembukaan cabang baru di setiap daerah kabupaten. Pembukaan cabang baru di setiap daerah kabupaten bisa memperdekat jangkauan dan hubungan dengan pelanggan sehingga kecepatan pelayanan lebih cepat.

Tahap selanjutnya adalah tahap Control, tahap kontrol merupakan tahap terakhir yang dilakukan dalam implementasi six sigma untuk memperbaiki proses sebelumnya, pada tahap ini dilakukan pengontrolan terhadap perbaikan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya dengan memberikan pengetahuan yang jelas akan proses layanan kepada karyawan dan pelanggan. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan pelayanan kepada pelanggan sehingga kepuasan pelanggan terpenuhi.

## KESIMPULAN

1. Pada tahap define dari hasil Kuesioner menunjukkan pelanggan tidak puas/keluhan terhadap pelayanan koperasi yang paling tinggi adalah kecepatan pelayanan lambat sebesar 26,32%, urutan ke dua adalah pelanggan menyatakan bahwa Koperasi dalam menangani keluhan pelanggan memerlukan waktu cukup lama sebesar 18,95.
2. Terdapat 5 CTQ potensial pada permasalahan kecepatan pelayanan lambat yaitu ketrampilan karyawan kurang, jumlah pegawai koperasi yang melayani kurang, Cara yang digunakan masih tradisional, alat yang digunakan masih sederhana, lokasi antara kantor pelayanan dengan pelanggan jauh.
3. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai DPMO sebesar 190.000 dengan nilai kapabilitas sigma sebesar 2,12.
4. Perbaikan yang dilakukan untuk permasalahan kecepatan pelayanan yang lambat dilakukan dengan didasarkan pada teknik 5W+1H.
5. Untuk memenuhi kepuasan pelanggan dalam kecepatan pelayanan perlu perbaikan ketrampilan karyawan dengan pelatihan karyawan, penambahan jumlah karyawan, pengadaan dan pelaksanaan SOP, pembaruan alat dan cara kerja pelayanan pada pelanggan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Endang WA, 2009, 'Perancangan Alat Pemecah Kedelai yang Ergonomis dengan Pendekatan Integrasi Model kano dan Function Deployment', Jurnal Technoscientia, Vol.1. No.2, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta
- Gaspersz, V., 2002. 'Pedoman Implementasi Program Six Sigma terintegrasi dengan ISO 9001 : 2000, MBNQA, dan HACCP'. Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Ngatilah, Y., 2006, 'Pengukuran tingkat Kapabilitas Proses dan Perbaikan Kualitas Produk Dengan Menerapkan Siklus DMAIC', Jurnal Academia ISTA, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta
- Supriyanto Harry, (2004), 'Proses Pembuatan Tow dengan Pendekatan Six Sigma', Jurnal Jurusan Teknik Industri Vol.VIII,, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya .
- Sulistiyowati, W., 2007, *Integrasi Metode Servqual, Lean Dan Six Sigma Implementasi : PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur, Apj Surabaya Selatan – UPJ Ngagel*. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- Tjiptono F, Chandra G. 2005, *Service Quality and satisfaction* , Andi Offset, Yogyakarta.
- Yesmizarti muchtar, Nooviyarsi, Riswendi, 2010, ' Implementasi Six Sigma Untuk Peningkatan Kualitas jasa Layanan Telkom Speedy (Studi Kasus PT.Telkom, Padang)', Prossiding seminar nasional ReSaTek, Universitas Bung Hatta, Padang

**PERANCANGAN PERALATAN PRODUKSI BAGI PEMBATIK DIFABEL DENGAN  
PENDEKATAN DESAIN INKLUSI DAN STRATEGI EKO-EFISIENSI**  
*Production Equipment For Difiable Batik Artisan Using Inclusive Design Approach  
And Eco-Efficiency Strategy*

**Paulus Bawole, Eko A. Prawoto, Puspitasari Darsono, Winta Guspara**  
Staf Pengajar Fakultas Arsitektur dan Desain, Program Studi Desain Produk  
Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta

E-mail: paulus\_bawole@yahoo.com; ekoprawoto@yahoo.com; pdarsono20@gmail.com;  
abot110@yahoo.com

**ABSTRACT**

*Short production time, minimal energy and easy to use tools are three important factors that can lower production cost in hand-made batik. Innovation in batik production tools had been focused on practical usage of liquid wax, energy efficiency using AC current and health problems as a result of low working position. There are no research and design for manual batik production tools that consider difable users. Impaired person is trained to adapt with existing tools that suitable only for normal users. Tools and man-made environment should be designed to meet human needs, not the opposite. Inclusive design approach in this project has resulted a design of an integral wax-heating unit with innovative canting to enhance productivity without incurring health problem in the future. This new product will use design principles in nature, fluid movement inside an egg form in order to reach optimal energy using DC current. Productivity rate of difable batik artisans using the new product should be able to compete against normal artisans using traditional tools. This tool can also lower production cost because of its minimal energy usage.*

**Keywords:** *difable, inclusive, DC current*

**PENDAHULUAN**

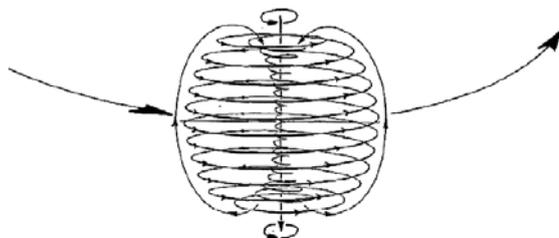
Pembatik difabel memiliki banyak kendala dalam melakukan kegiatan profesionalnya. Kendala terbesar adalah lingkungan kerja yang tidak memiliki akses untuk kebutuhan khusus mereka, misalnya desain kamar mandi yang terlalu sempit dan permukaan tinggi rendah lantai yang terlalu bervariasi. Hambatan bagi penderita paraplegia adalah kebutuhan istirahat setidaknya dua jam sekali agar kesehatannya tidak memburuk akibat duduk terlalu lama. Selain itu posisi duduk pada *dingklik* atau di lantai menyulitkan penderita paraplegia untuk menyesuaikan diri. Kondisi khusus ini mengharuskan para pembatik difabel untuk bekerja di rumah, bukan di lingkungan tempat produksi batik. Sistem penggajiannya adalah per lembar kain atau per meter kain. Biaya energi menjadi tanggung jawab para pembatik. Situasi ini tidak menguntungkan bagi pembatik difabel karena tidak ada kenaikan gaji walau harga energi naik. Selain itu, tingkat produksi mereka juga cenderung lebih rendah dibanding para pembatik normal karena kendala kesehatan dan struktur tubuhnya.

Pada saat ini, canting batik tradisional masih digunakan di berbagai perusahaan batik. Walau banyak usaha untuk merancang canting berikut kompor untuk pencair malam, namun alat baru tersebut belum memperoleh kepercayaan untuk digunakan para pembatik profesional. Penyebabnya adalah ketakutan akan aliran listrik pada canting baru. Para pemuda dari kelompok "Klampis Ireng" Surabaya, merancang canting listrik untuk kepentingan kelompoknya sendiri (diunduh dari <http://www.antaranews.com/print/156642/canting-batik-elektrik-made-in-arek-surabaya>). Demikian juga dengan canting elektrik karya Tri Anwari dari Sragen (diunduh dari <http://www.sragen.go.id/berita/berita.php?id=8312>) dan Safira, salah seorang pemenang lomba penelitian ilmiah remaja (diunduh dari <http://www.ristek.go.id/index.php/module/News+News/id/12049/print>). Canting elektrik mereka belum mampu memperoleh kepercayaan pengguna dari kalangan pembatik tradisional. Faktor ergonomi pengguna juga menjadi perhatian para peneliti, namun bukan pada alat canting, melainkan pada kondisi *low working position* yang menjadi penyebab banyaknya keluhan kesehatan (Dominica, MRTD & Satalaksana, IZ, 2000; Agustina, Fitri & Maulana, Arif, 2012). Selain itu, posisi duduk pembatik wanita yang statis mengharuskan mereka memutar badan untuk mencelup malam, bisa menyebabkan gangguan kesehatan reproduksi (Setyawati, Lince et al., 2001). Dari beberapa penelitian

tersebut, belum ada penelitian tentang alat membuat manual yang mempertimbangkan faktor ergonomi dan biomekanika pengguna dengan kecacatan tubuh.

Bahan bakar minyak tanah untuk menyalakan kompor malam batik tradisional pada saat ini dijual dengan kisaran harga diatas sepuluh ribu rupiah per liter. Satu kali pemberian malam pada motif batik pada sepuluh lembar kain menghabiskan satu liter bahan bakar. Itulah sebabnya perusahaan batik kini lebih memilih menggunakan kompor gas atau kompor listrik sebagai pemanas malam batik. Dua jenis kompor listrik yang beredar di pasar menggunakan arus AC dengan daya sekitar 300 Watt/jam, dalam kondisi stabil mencapai 60 Watt/jam. Keduanya memiliki berat antara 3-5 kg dengan ukuran diameter 25 cm. Hasil uji canting elektrik yang dijual di pasar diperoleh daya 125 Watt dengan arus AC, sedangkan pengujian canting serupa dengan arus DC hanya membutuhkan 8 Watt. Sedangkan pengujian dua kompor listrik yang beredar di pasar menunjukkan bahwa temperatur malam mencapai 100 derajat Celcius, padahal hasil pengukuran panas malam yang dibutuhkan agar malam mampu menembus bagian belakang kain berkisar pada 46-50 derajat Celcius, jadi telah terjadi pemborosan energi.

Teknologi masa depan haruslah berbasis pada pemahaman dan peniruan gerak energi alam dan sistem gerak, dimana pertumbuhan dan perkembangan sesuai prinsip kerja di alam. Schaubberger dalam Coats (2001) menjelaskan bahwa dalam sistem alam yang meliputi proses energetik dinamis, ada kecenderungan untuk mengambil bentuk gerak spiral dan pusaran, yang terlihat jelas dalam makrokosmos dan mikrokosmos. Dalam menampung benih masa depan, alam cenderung memilih bentuk telur dan turunannya, karena hasilnya yang optimal. Bentuk-bentuk ini tidak memiliki zonasi stagnan, yaitu sudut-sudut menyiku yang bisa mengganggu gerak. Prinsip Implosi digunakan pada gerak cairan dalam bentuk telur yaitu sebuah proses penghisapan yang menyebabkan materi bergerak mengumpul ke dalam, bukan meledak keluar seperti eksplosi. Gerak ke dalam (sentripetal) ini tidak mengikuti alur lurus (radial) menuju ke pusat, melainkan mengikuti alur spiral pusaran. Ini disebut sebagai vorteks atau pusaran dan merupakan rahasia alam. Air selalu mengambil jalur dengan resistensi terkecil. Hal ini dimungkinkan dengan gerak vorteks. Resistensi semakin berkurang dengan menggunakan jalur yang semakin melengkung ke dalam sehingga mengurangi konfrontasi resistensi gerak lurus. Inilah alasan mendasar dari fenomena *plug hole vortex*. Ciri utama sebuah vorteks adalah sisi luar vorteks bergerak perlahan dan pada bagian dalam bergerak cepat. Ketika air melakukan implosi dalam sebuah vorteks, partikel kasar, yang lebih padat daripada air terhisap ke dalam arus menuju tengah, resistensi gesekan berkurang dan kecepatan aliran meningkat.



Gerak Implosi

Arus listrik yang banyak digunakan untuk berbagai peralatan elektronik adalah jenis *Alternating Current (AC)* atau arus bolak balik, dimana tegangan listrik dan arusnya berubah terus menerus secara periodik mengikuti kurva sinus (sinusoida). Keuntungan penggunaan jenis arus bolak balik ini antara lain karena tegangan tidak mudah turun dan dapat diatur naik dan turunnya dengan mudah. Selain itu arus jenis ini dapat disalurkan untuk jarak yang jauh dan lebih mudah didistribusikan. Adapun kerugiannya adalah membutuhkan isolasi yang rumit dan mahal dan terjadi kehilangan energi yang sangat besar. Jenis arus searah atau *Direct Current (DC)* merupakan jenis arus yang akhir-akhir ini banyak dilirik untuk diaplikasikan pada berbagai perangkat elektronik hingga alat transportasi terbaru dalam rangka mencari sumber energi termurah. Dikatakan searah karena arah arusnya atau laju muatan elektronnya yang mengalir dari kutub negatif ke kutub positif. Keuntungan penggunaan arus ini adalah daya guna atau efisiensinya tinggi karena mempunyai faktor daya = 1, sistemnya lebih sederhana sehingga tidak membutuhkan isolasi yang rumit dan mahal, serta sistem transmisinya dapat dipaketkan dalam bentuk kecil, sehingga lebih mudah dibawa dan praktis. Adapun kerugiannya adalah transmisi udara hanya terbatas pada jarak < 400 km dan transmisi bawah tanah < 50 km dan arusnya cenderung terjadi karena proses kimia.

**Tujuan:**

- Memperpendek rangkaian kegiatan membatik (HTA) pada pembatik difabel
- Mengetahui berbagai teknik pemanasan malam batik dengan menggunakan jaringan listrik DC dengan kisaran daya 50-120 Watt
- Mengoptimalkan penggunaan malam batik dengan meminimalisir penguapan zat malam saat pemanasan

**METODE PENELITIAN**

Untuk menghasilkan karya inovatif yang memenuhi kebutuhan ergonomi pengguna dan optimalisasi energi, maka dilakukan dua jenis penelitian, yaitu penelitian ergonomi dan penelitian daya listrik DC

Dalam penelitian terpisah telah dilakukan pengambilan data kualitatif dan kuantitatif tentang sikap dan postur tubuh pengguna dalam berinteraksi dengan canting, perletakan wajan dan posisi serta kondisi tempat duduk. Selain itu juga telah dilakukan analisa Hierarchycal Task Analyses (HTA) yang menghasilkan kesimpulan bahwa ada empat langkah dalam membatik. Setidaknya ada kemungkinan untuk mengurangi satu langkah guna mengoptimalkan kerja membatik. Makalah ini menjelaskan tentang hasil penelitian pemanasan malam dengan menggunakan daya listrik DC. Selain menggunakan pengukuran daya listrik, juga dilakukan eksplorasi terhadap teknik pemanasan malam menggunakan sumber listrik DC untuk memperoleh energi kecil menggunakan prinsip optimalisasi antara daya dibanding kematangan malam. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan 2 teknik yaitu pengeblokan dan menggores garis-garis kecil dan rapat menggunakan malam batik pada kain 10 x 10 cm. Hasil penelitian berupa prototip alat produksi membatik yang menggunakan energi 50 - 120 watt atau kurang dengan mempertimbangkan faktor ergonomi dari spektrum pengguna yang lebih beragam, mulai dari pembatik bertubuh normal hingga penyandang cacat tubuh (bersifat inklusi).

**Instrumen Penelitian Listrik DC:**

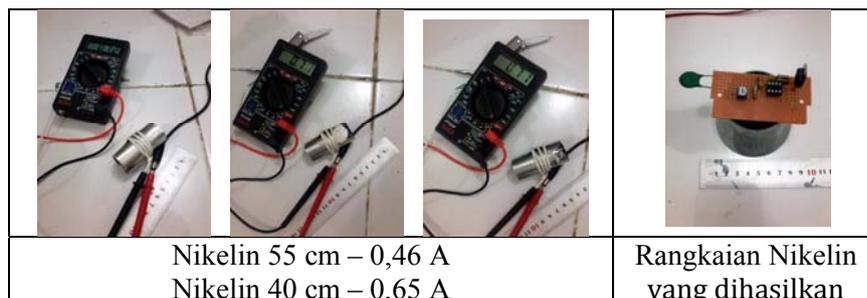
**Penentuan Spesifikasi Utilitas:**

1. Optimalisasi Lilitan Kawat Pemanas terhadap Temperatur dan Waktu
  - a. Pembuatan sirkuit Temperature Indicator Control (TIC) dan pembuatan dispenser
  - b. Penghitungan jumlah lilitan pemanas (nikelin) dan pemanasan malam hingga mencapai titik leleh optimum (87°C) cairan
  - c. Pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk mencairkan malam pada temperatur 87°C serta mengukur *upper limit* serta *lower limit* dari temperatur kerja.
2. Optimalisasi Temperatur dan Waktu Kerja terhadap Viskositas Cairan Malam
  - a. Pengukuran kerja membatik menggunakan dispenser DC
  - b. Penghitungan *integral gain* (waktu dan temperatur) yang optimum untuk pekerjaan membatik

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

1. Percobaan pemasangan rangkaian nikelin:

- Pemasangan rangkaian menggunakan nikelin panjang 40 cm dengan amper terukur pada beban kosong sebesar 0,65 A
- Setelah dipasang pada gulungan alumunium dengan panjang 7 cm dan diameter 3 cm, maka arus terukur sebesar 7,2 A



Mulai dilakukan pemanasan;

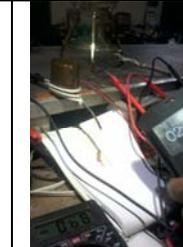
1. Menit ke 0, arus terukur: 7,2 A
2. Pada menit pertama terjadi pergerakan arus dengan radius 7,1 – 7,2 A
3. Beban ditambah menggunakan lilin yang diletakkan pada lempeng aluminium
4. Pada menit ke -3 terjadi perubahan, ada sebagian lilin yang sudah menguap karena panas, arus terukur: 0,71 A
5. Pada menit ke – 5 terjadi perubahan, lilin yang dijadikan beban telah menguap hingga tinggal 20 % dari jumlah semula, arus terukur sebesar 0,71 A
6. Pada menit ke – 7, lilin telah habis menguap, arus terukur: 0,71 A
7. Hipotesa daya yang dibutuhkan sebesar 18 – 20 W

## 2. Percobaan optimalisasi daya arus DC terhadap canting

Peralatan & bahan	Instruksi Kerja
1. Patri/ solder	1. Membuat canting 35 x 45 mm
2. Gunting plat	2. Membuat rangkaian sirkuit TIC
3. Tang	3. Melilit canting dengan kawat nikelin yang sudah diisolasi dengan asbes
4. AVO meter	4. Pemanasan canting yang sudah diisi dengan malam
5. Plat tembaga tebal 1 mm	5. Pengamatan percobaan dengan variabel waktu dan arus terukur
6. Kawat Nikelin	
7. Isolasi asbes	
8. Komponen elektronik (PCB, Resistor, IC, LED, Kabel, Potensi switch	
9. Malam	

Target percobaan :

1. Mengukur arus terukur yang dihasilkan untuk melakukan pemanasan malam hingga cair
2. Mengetahui kebutuhan daya untuk canting yang berdimensi 35 x 45 mm
3. Mengamati waktu yang dibutuhkan pada arus terukur yang dihasilkan guna mencairkan malam
4. Menghitung optimalisasi daya

				
Percobaan 2.1	Percobaan 2.2	Percobaan 2.3	Percobaan 2.4	Percobaan 2.5
Pengujian beban menggunakan pemanasan pada sensor temperatur bekerja dengan baik	Lampu indikator bekerja dengan baik untuk menunjukkan mati / nyala proses pengindikasi juga pengontrolan temperatur	1. Tegangan terukur 12 VDC 2. Arus terukur 0,68 A 3. Kalkulasi daya terukur 0,68 A x 12 VDC = 8,16 W 4. Waktu tercatat 02 : 10 WIB	1. Waktu tercatat 02:18 WIB 2. Secara visual, kekentalan malam dapat mengalir dengan baik melalui cucuk canting	1. Secara visual aliran malam bekerja dengan baik dengan laju aliran 2 – 3 detik per tetes 2. Tegangan terukur 12 VDC 3. Arus terukur 0,68 A

Kesimpulan Percobaan 2:

1. Tegangan terukur 12 VDC
2. Arus terukur 0,68 A
3. Daya terhitung 8,16 W
4. Waktu pencairan 8 menit
5. Aliran malam 2 – 3 detik per tetes

Hipotesa :

Pengujian diatas membuktikan bahwa arus DC merupakan energi alternatif yang sangat efisien dibandingkan dengan canting elektrik eksisting yang menggunakan 220 VAC yang akan menghasilkan daya sebesar 150 Watt dengan asumsi arus terukur adalah sama dengan percobaan.

3. Percobaan optimalisasi daya arus DC terhadap dispenser  
Menggunakan lilitan nikelin di dinding luar wadah dispenser

Peralatan Kerja	Instruksi Kerja
1. Patri/ Solder	1. Membuat dispenser diameter 8,5 cm dan tinggi 10,5 cm ( dibuat bentuk telur / nigan )
2. Gunting plat	2. Membuat rangkaian sirkuit TIC
3. Tang	3. Melilit dispenser dengan kawat nikelin yang sudah diisolasi dengan asbes
4. AVO meter	4. Pemanasan dispenser yang sudah diisi dengan malam
5. Plat kuningan tebal 1.2 mm	5. Pengamatan percobaan dengan variabel waktu dan arus terukur
6. Plat kuningan diameter dalam 5 mm	
7. Kawat Nikelin	
8. Isolasi Asbes	
9. Komponen elektronik (PCB, resistor, IC, LED, kabel, potensi switch )	
10. Malam	

Target percobaan :

1. Mengukur arus terukur yang dihasilkan untuk melakukan pemanasan malam hingga cair
2. Mengetahui kebutuhan daya untuk dispenser yang berdimensi diameter 8,5 cm x tinggi 10,5 cm
3. Mengamati waktu yang dibutuhkan pada arus terukur yang dihasilkan guna mencairkan malam
4. Menghitung optimalisasi daya

				
Percobaan 3.1	Percobaan 3.2	Percobaan 3.3	Percobaan 3.4	Percobaan 3.5
1. Terbentuk dispenser dengan model telur / nigan dengan dimensi: diameter dalam 8,5 cm x tinggi 10,5 cm 2. Pembuatan <i>base support</i> untuk dispenser 3. Rangkaian sirkuit TIC bekerja baik yang ditunjukkan dengan lampu indikator yang menyala	Diperoleh model dan kerapatan lilitan kawat nikelin yang diisolasi menggunakan asbes seperti dalam gambar	Instalasi bekerja dengan baik pada saat beban kosong yang ditunjukkan dengan terukurnya tegangan 12 VDC	1. Mulai pemanasan pukul 23:32 WIB 2. Malam mulai meleleh pukul 23:37 WIB sebagai dimulai terjadinya 3. Malam mencair seluruhnya pukul 23:50 WIB 4. Tegangan terukur 12 VDC 5. Arus terukur 1,68 A 6. Kalkulasi daya yang dibutuhkan 1,68 A x 12 VDC = 20,16 W	1. Kekentalan yang dihasilkan baik dengan ditunjukkannya malam yang telah mencair di dalam chamber 2. Aliran malam tidak keluar melalui pipa outlet

Kesimpulan :

1. Tegangan tercatat 12 VDC
2. Arus terukur 1,68 A
3. Daya dihitung 20,16 W
4. Waktu tercatat yang dibutuhkan untuk mencairkan 18 menit
5. Malam dapat mencair dengan baik
6. Malam tidak dapat keluar dari pipa outlet

Hipotesa :

1. Malam yang mencair mengalami pembekuan pada pipa outlet dikarenakan tidak diberi lilitan kawat nikelin yang berfungsi sebagai pemanas.
2. Supaya malam dapat mengalir dari pipa outlet, maka harus diberi lilitan kawat nikelin sehingga pemanasan dapat dipertahankan pada bagian pipa outlet

#### 4. Percobaan optimalisasi daya arus DC terhadap dispenser

Menggunakan lilitan nikelin di dinding luar wadah dispenser dan pipa outlet

		
Percobaan 4.1	Percobaan 4.2	Percobaan 4.3
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pipa outlet dibengkokkan dengan sudut kemiringan 105°</li> <li>2. Memindahkan lilitan kawat nikelin pada bagian atas chamber ke pipa outlet</li> <li>3. Panjang pipa outlet yang diberi lilitan kawat nikelin sepanjang 13 cm</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalasi seperti pada gambar</li> <li>2. Variabel tercatat pada prosedur sebelumnya ialah tegangan 12 VDC dan arus terukur 1,68 A dengan daya yang dihitung sebesar 20,16 W</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kekentalan malam terlihat baik yang ditandai dengan mengalirnya cairan malam dari chamber ke pipa outlet</li> <li>2. Cairan malam dapat mengalir keluar namun pada ujung pipa outlet sudah mengalami pembekuan kembali.</li> </ol>

Kesimpulan :

1. Tegangan terukur 12 VDC
2. Arus terukur 1,68 A
3. Daya dihitung 20,16 W
4. Waktu yang dibutuhkan 18 menit
5. Cairan mengalami pembekuan pada ujung pipa outlet yang tidak diberi lilitan pemanas (5 cm dari ujung)

Hipotesa :

1. Supaya cairan malam dapat mengalir dengan baik dibutuhkan lilitan pemanas untuk menjaga temperatur cair yang berkisar 83 – 87 °C
2. Jika besaran daya 20,16 W dijadikan acuan sebagai daya tetapan, maka lilitan pemanas tidak dapat menanggung beban lebih dari percobaan terakhir.
3. Besaran daya 20,16 W tidak diterapkan pada sistem instalasi yang lebih panjang
4. Tetapan daya sebesar 20,16 W dapat dipergunakan jika sistem instalasi pipa outletnya dibatasi 5 cm dari chamber dan chamber dikecilkan dimensinya.

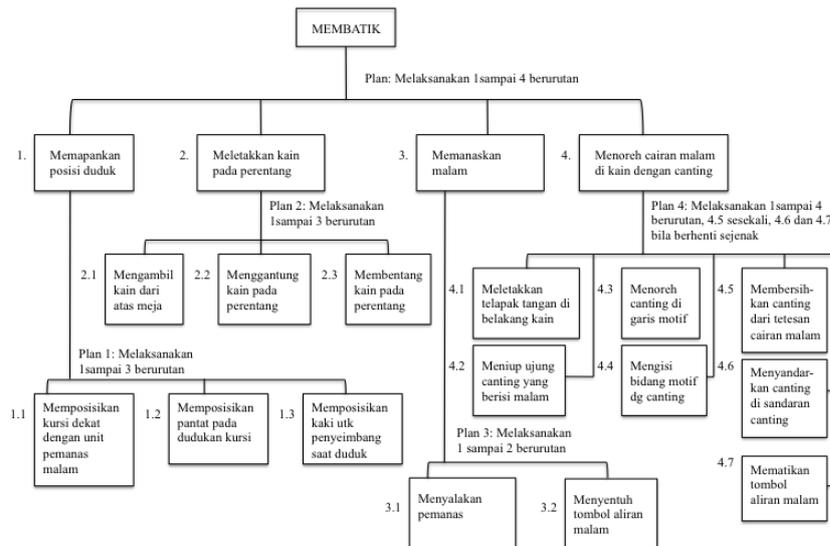
## KONSEP PRODUK BARU

Konsep Perancangan Peralatan Canting dan Pemanas yang ergonomis

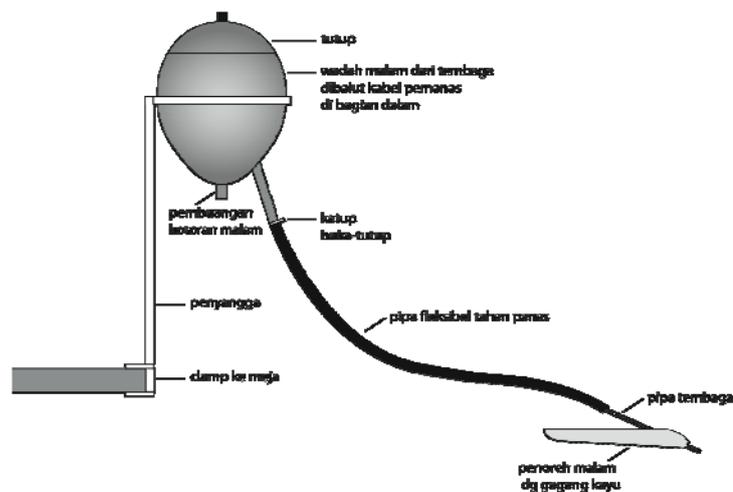
- Menggunakan genggam dengan cara “External Precision Grip” dan menghasilkan posisi genggam netral



- Tanpa nyamplung untuk mengurangi panjangnya urutan kegiatan
- Daya 60 watt (dalam kondisi stabil), arus DC
- Hierarchical Task Analyses (HTA) yang baru adalah:



HTA yang baru hanya terdiri dari 4 langkah, satu langkah lebih pendek dari HTA semula. Langkah yang dihilangkan adalah Langkah mengambil cairan malam di wajan. Hal ini disebabkan karena rancangan yang baru menyatukan sistem pemanas dan penoreh malam menjadi satu unit peralatan. Diagram Kerja Unit Peralatan Membatik yang Baru:



Dengan sistem menciduk malam, maka seluruh malam harus mencair. Namun dengan sistem infus, maka hanya bagian bawah malam saja yang perlu dicairkan. Penggunaan prinsip ini dapat mengoptimalkan pemakaian listrik untuk pemanasan.

Konsep perancangan ini berdasarkan hipotesa bahwa:

1. Remah-remah malam sisa membuat tidak bisa dipergunakan kembali karena malam cenderung merembes melebihi batas gambar. Diduga telah terjadi kehilangan zat pada malam akibat penguapan.
2. Bentuk kerucut / menyempit pada bentuk telur secara alami menyebabkan kawat nikelin menumpuk di bagian bawah sehingga hanya malam bagian bawah saja yang mencair.
3. Pemanasan langsung dari lilitan nikelin terhadap obyek akan lebih optimal alih-alih harus melalui perantara media lain sampai ke obyek.
4. Membagi 2 (dua) wilayah pada chamber, yaitu *pre heating* dan *heating up* sehingga bagian atas malam hanya mengalami pelunakan sedangkan pada bagian bawah mengalami pencairan. Zona *pre heating* terdapat pada bagian atas chamber dengan lilitan nikelin yang kerapatannya sedang dan zona *heating up* dengan lilitan yang kerapatannya tinggi dan bentuk chamber yang menyempit
5. Pada bagian selang outlet, pemanas juga dimasukkan kedalam selang, supaya dapat bersinggungan langsung dengan malam yang telah cair. Hal ini dilakukan supaya optimasi kontrol temperatur dapat berjalan dengan baik
6. Temperatur malam cair terukur yang bisa menembus bagian belakang kain berkisar antara 46-50 derajat C. Daya yang diperlukan dalam kisaran 50 - 120 watt DC, bergantung pada volume malam yang dipanaskan.

#### Pelaksanaan Percobaan

			
Lilitan nikelin di dalam wadah	Lilitan nikelin di dalam selang	Arus terukur dan pencairan malam	

Hasil Percobaan:

1. Arus terukur menunjukkan 1.62 A, sehingga kalkulasi dayanya ialah  $1.62 \text{ A} \times (\text{pemanas selang} + \text{pemanas chamber}) \times 12 \text{ VDC} = 38.88 \text{ W}$  atau setara dengan 40 W.
2. Dibutuhkan 15 menit untuk memanaskan malam
3. Temperatur malam yg baik untuk ditorehkan pada kain adalah 82-86 derajat Celcius. Patokan ini akan menjadi patokan indikator otomatis.

Hasil pengujian kualitas torehan malam dengan peralatan baru pada kain 10 x 10cm

Goresan garis-garis kecil dan rapat	Pengeblokan
	

#### KESIMPULAN UMUM

Berdasarkan percobaan awal dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil ujicoba dengan tegangan terukur 12 VDC, arus terukur 1,68 A diperoleh daya terhitung 20,16 A dengan lama pemanasan 18 menit. Kondisi cairan mengalami pembekuan pada ujung

- pipa outlet yang tidak diberi lilitan pemanas (5 cm dari ujung). Supaya cairan malam dapat mengalir dengan baik dibutuhkan lilitan pemanas untuk menjaga temperature cair yang berkisar 83 – 87 °C
2. Jika besaran daya 20,16 W dijadikan acuan sebagai daya tetapan, maka lilitan pemanas tidak dapat menanggung beban lebih dari percobaan terakhir. Besaran ini tidak dapat diterapkan pada sistem instalasi yang lebih panjang
  3. Tetapan daya sebesar 20,16 Watt dapat dipergunakan jika sistem instalasi pipa outletnya dibatasi 5 cm dari chamber dan chamber dikecilkan dimensinya.

Oleh karena itu perancangan dispenser pemanas malam menggunakan prinsip infus, dimana hanya bagian bawah malam saja yang perlu dicairkan. Cara lama yaitu cara menciduk malam pada wajan pemanas, memerlukan kondisi dimana seluruh malam harus mencair. Penggunaan prinsip baru ini dapat mengoptimalkan pemakaian listrik untuk pemanasan. Hasil pengujian terakhir pada perancangan peralatan ini diperoleh kesimpulan bahwa telah diperoleh daya setara dengan 40 W, menggunakan lilitan nikelin di dalam wadah dispenser dan di dalam selang outlet. Lama waktu pemanasan 15 menit. Hasil pengujian torehan malam dengan goresan garis-garis kecil dan rapat serta pengeblokan pada kain 10 x 10cm menunjukkan hasil yang setara dengan canting tradisional. Adapun kisaran temperatur panas malam yang dibutuhkan masih perlu dikonfirmasi pada pengguna untuk mengetahui apakah 50 derajat Celcius sudah memenuhi standar kualitas membatik pada perusahaan batik. Hasil konfirmasi akan dijadikan patokan indikator otomatis.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur pada Tuhan Yang Maha Pengasih dan terimakasih tak terhingga kami ucapkan atas partisipasi teman-teman berkebutuhan khusus, para mahasiswa Program Studi Desain Produk, UKDW dan kepala bengkel studio yang begitu antusias menciptakan situasi yang kondusif bagi kelancaran penelitian ini. Teman-teman dengan kebutuhan khusus begitu bersemangat ketika diberi kesempatan berpartisipasi ikut memikirkan bagaimana benda-benda yang ada di sekitarnya bisa semakin membaik agar hidupnya bisa semakin mudah. Bantuan administrasi dari para staf LPPM, UKDW mempermudah proses penelitian ini. Pelaksanaan penelitian ini memperoleh dukungan dana Penelitian Hibah Bersaing dari Departemen Pendidikan Tinggi dan perwujudan karya inovatif memperoleh dukungan penuh dari rekan-rekan UKM UD. Pirus, Yogyakarta.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Fitri & Maulana, Arief (2012). Analisis Postur Kerja dengan Tinjauan Ergonomi di Industri Batik Madura. *Jurnal Inovasi dan Kewirausahaan*. Vol.1/No.3 Sept 2012, h. 167-171.
- Clarkson, John; Coleman, Roger; Hosking, Ian & Waller, Sam (2007). *Inclusive Design Toolkit*. Cambridge: Engineering Design Centre, University of Cambridge.
- Coats, Callum (2001). *Living Energies: An Exposition of Concepts Related to the Theories of Viktor Schauberg*. London: Gill & MacMillan
- Coleman, Roger; Clarkson, John; Dong, Huang & Cassim, Julia (2007). *Design for Inclusivity: A Practical Guide to Accessible, Innovative and User-Centred Design*. Hampshire, UK: Gower.
- Dominica, MRTD & Sitalaksana, IZ (2000). *Master Theses: Analisis Ergonomis tentang Kerja Pematik pada Industri Batik Tulis*. Bandung: Industrial Engineering and Management, ITB.
- Helander, M. (1995). *A Guide To the Ergonomics of Manufacturing*. London: Taylor & Francis.
- McCormick, E.J. and Sanders, M. (1982). *Human Factors in Engineering and Design*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd.
- McMillan, Ian R and Carin-Lexy, Gail (2013). *Tyldesley & Grieve's Muscle, Nerves and Movement in Human Occupation 4<sup>th</sup> edition*. West Sussex, UK: Wiley-Blackwell.
- Nurdalia, Ida (2006). *Kajian dan Analisis Peluang Penerapan Produksi Bersih pada Usaha Kecil Batik Cap*. Tesis Program Magister Ilmu Lingkungan, program Pascasarjana. Semarang: Universitas Diponegoro.
- ProLH, GTZ, *Panduan Penerapan Eko-efisiensi Usaha Kecil dan Menengah Sektor Batik*. Jakarta: Kementrian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2007
- Puspita Sari, D., Hartini, S., Rinawati, DI & Wicaksono, TS (2012). Pengukuran Tingkat Eko-efisiensi Menggunakan Life Cycle Assesment untuk Sustainable Production di Industri Kecil Menengah Batik. *Jurnal teknik Industri*, Vol. 14/ No.2, Desember 2012, 137-144. ISSN 2087-7439.
- Setyawati, Lince, et.al. (2001). *Pengadaan Peralatan Kerja Yang Ergonomis, Perspektif Jender Bagi Pematik Tulis Dalam Kaitan Dengan Tingkat Kelelahan Kerja dan Stres Psikososial*. Pusat

Studi Wanita, UGM.

Siswiyanti & Luthfianto, S (2011). Beban Kerja dan keluhan Sistem Musculoskeletal pada pembatik Tulis di kelurahan Kalinyamat wetan Kota Tegal. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 tahun 2011*. FT. Universitas Wahid Hasyim, Semarang.

Story, MF., Mueller, JL., Mace, RL., 1998. *The Universal Design File: Designing For People of All Ages and Abilities*. North Carolina, US: The Center for Universal Design.

Terrel, R. & Purswell J.(1976). *The Influence of Forearm and Wrist Orientation on Static Grip Strength as a Design Criterion for Hand Tools*. Proc. Hum Factors Soc., 20:28-32.

WBCSD-World Business Council for Sustainable Development. *Measuring Eco-efficiency a Guide to Reporting Company Performance*, 2000

Wilson, John R. and Corlett, Nigel (2005). *Evaluation of Human Work 3<sup>rd</sup> Edition*. Boca Raton, FL: CRC Press.

## INVESTMENT FEASIBILITY ANALYSIS OF PROCUREMENT OF COMPUTERS (CASE STUDY IN THE STATE HIGH SCHOOL 5)

**Petrus Wisnubroto**

*Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta  
email: wisnurini@yahoo.co.id*

### **ABSTRACT**

*The study of the feasibility of procurement of computer investment is an investment risk analysis to avoid consuming adequate capital investment, thus the study of the feasibility of financial investment from an economical standpoint becomes a very important investment, the greater the scale of investment is increasingly important ini. Penelitian study with study in the case of secondary schools Yogyakarta Top 5 country, with its data collection from time to time, investment analysis with reference to the Law - Law of the Republic Indonesia No. 1994, Article 11 of the amending legislation N0 7 on PPH 1987 as amended in the Act - Act N0. 7 of 1997 on the useful lives and depreciation. According to the law - the law that the economic life of the computer that is 8 years old. In addition to the Marginal Rate of return Attractive using interest rates prevailing Bank Indonesia.*

*From the background of the problem, it can be formulated problem is whether the procurement Investment computer deserves the financial aspects of Payback Period, Net present value, Internal Rate of Return and Profitability Index? Analyze the purpose of research is computer procurement investment financially feasible whether accepted or rejected, based on the criteria of investment appraisal methods Payback Period, Net Present Value, Internal Rate of Return and Profitability Index.*

*Based on the analysis of research results obtained during the Payback period 5.31 years, Net Present Value + Rp Rp 8 574146.6977 shows NPV +, Internal Rate of Return of 10.109% showed greater than MARR of 8%, and the Profitability Index for 1.09 shows the sum is greater than 1 computer procurement investment is a financial point of view deserves.*

**Keywords:** *Feasibility Investment, Payback, NPV, IRR, Profitability Index*

### **PENDAHULUAN**

Era globalisasi pada tahun 2015 akan menjadi tahun yang penuh tantangan bagi perkembangan ekonomi di Indonesia, pada era ini peluang maupun persaingan pasar semakin luas dan ketat. Pesaing bisa berasal dari berbagai Negara yang memungkinkan memiliki strategi berbisnis yang lebih baik, industri pangan memiliki peluang yang sangat besar untuk berkembang, hal ini didukung data Kementerian perindustrian bahwa pertumbuhan ekonomi nasional dari tahun 2010 hingga 2011 mengalami kenaikan dari 2,78% menjadi 9,19% (Anonim, 2011). Keputusan investasi suatu perusahaan pada umumnya membutuhkan dana yang relative besar dalam jangka panjang serta mengandung resiko, oleh sebab itu dipertimbangkan yang matang sebelum investasi dilaksanakan.

Sekolah Menengah Atas Negeri 5 Yogyakarta merupakan salah satu instansi yang bergerak dalam bidang jasa pendidikan, salah satu kegiatannya melakukan program investasi pengadaan komputer, maupun infrastrukturnya yang meliputi instalasi, instruktur pendidikan, perawatan, perbaikan dan program mengembangkan pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi, sebagai sarana penunjang proses belajar mengajar, dalam praktek kurikulum tahun 2013 baik guru, tenaga administrasi, siswa dalam pembelajarannya semua berbasis informasi teknologi sehingga kadang muncul berbagai macam kendala. Bukan saja sumberdaya manusia yang menyampaikan materi, tetapi juga dalam persoalan *hardware* dan *software* yang begitu kompleks., dengan investasi dana yang cukup besar untuk alokasi pengadaan komputer beserta infrastrukturnya, maka perlu diadakan suatu evaluasi kelayakan investasi.

Dari peneliti terdahulu telah dilakukan oleh Agus Haryono (2003), "*Studi Kelayakan Pendirian Warung Internet di Lingkungan Kampus Terpadu UII*". Pada penelitiannya apakah pendirian warnet disekitar kampus layak dengan semakin banyaknya persaingan. Penelitiannya mencantumkan *Average Rate Of Return* yang digunakan untuk mengukur tingkat keuntungan rata-rata yang diperoleh dari suatu investasi. Investasi atau penanaman modal tidak lain adalah menyangkut penggunaan sumber-sumber yang diharapkan akan memberikan imbalan (pengembalian) yang menguntungkan di masa yang akan datang. (Suratman: 2001)

Dari latar belakang masalah, maka dapat dirumuskan permasalahannya yaitu apakah Investasi pengadaan komputer layak diterima dari aspek finansial *Pay Back Period*, *Net Present value*, *Internal rate of Return* dan *Profitability Index* ? Tujuan dalam penelitian ini adalah menganalisis investasi pengadaan komputer dari segi finansial apakah layak diterima atau ditolak, berdasarkan kriteria metode penilaian investasi *Pay Back Period*, *Net Present Value*, *Internal rate of Return* dan *Profitability Index* .

Sebelum membicarakan masalah investasi bisnis , lebih dahulu perlu dibicarakan faktor bunga (*Interest Factor*). Apakah sejumlah uang yang akan diterima dari hasil investasi bisnis pada akhir tahun kelima misalnya ,apakah akan sama nilainya dengan sejumlah uang yang sama dimiliki pada hari ini.

Hal ini menyangkut “nilai waktu dari uang / *time value of money*” (Bambang Rianto, 2000). Nilai majemuk merupakan penjumlahan uang pada permulaan periode ,atau jumlah modal pokok dengan jumlah bunga yang diperoleh selama periode tersebut. Nilai Sekarang (*Present Value* ) dimaksudkan untuk menghitung besarnya jumlah uang pada awal periode dari sejumlah uang yang diterima beberapa waktu kemudian, atas dasar tingkat bunga tertentu. Menghitung nilai pada waktu sekarang ,sejumlah uang yang baru akan dimiliki beberapa waktu kemudian. Nilai majemuk dari “*Annuity* ” adalah deretan (series ) pembayaran dengan jumlah uang yang tetap, selama sejumlah tahun tertentu, setiap pembayaran dilakukan pada akhir tahun . Nilai Sekarang “*Annuity* ” kebalikan cara menghitung nilai majemuk *annuity*.

Arus kas atau aliran kas menggambarkan tentang jumlah dana yang tersedia setiap saat yang dapat dipakai bagi berbagai kebutuhan operasional perusahaan termasuk misalnya investasi, juga memuat jumlah masukan dan pengeluaran yang disusun dengan menelusuri dan mengkaji laporan laba-rugi dan lembaran neraca (Iman Soeharto :2002). Penerimaan dan pengeluaran kas ada yang bersifat rutin, dan ada pula yang bersifat insidental (Husein Umar :1997). Secara sederhana arus kas adalah Laba Bersih + Depresiasi, perhitungan arus kas ini dipakai sebagai dasar dalam menghitung kelayakan investasi dari segi financial *Pay Back period*, *Net present value*, *Internal Rate of Return* dan *Profitability Index*. *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR) adalah nilai minimal dari tingkat pengembalian bunga yang bisa diterima oleh investasi dengan kata lain bila investasi tersebut dinilai tidak ekonomis sehingga tidak layak untuk dilaksanakan, *MARR* ditentukan berdasarkan biaya modal yang umumnya lebih besar. Namun , *MARR* dapat juga sama besarnya dengan biaya modal, tergantung pada penilaian manajemen perusahaan dalam terhadap besarnya resiko proyek atau investasi (Iman Soeharto, 2002 )

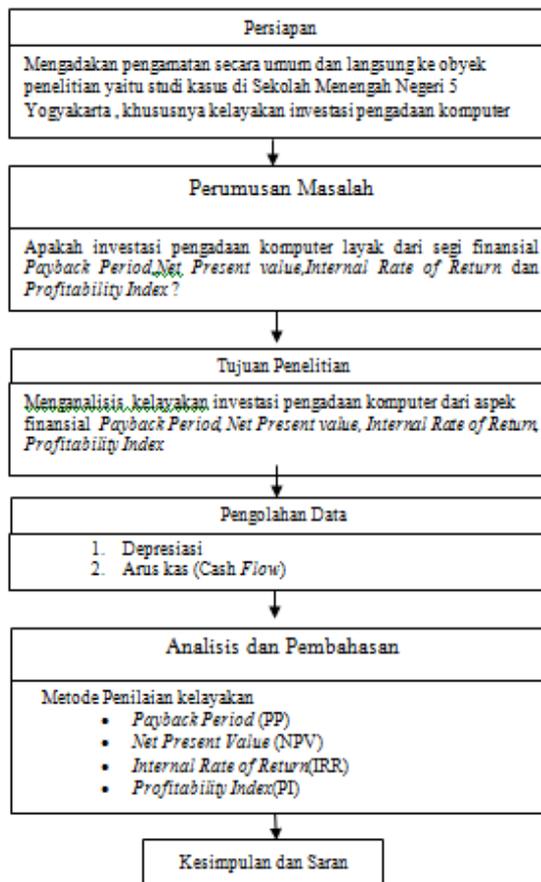
Umur ekonomis komputer yang ada diatur dalam Undang – undang Republik Indonesia No. Tahun 1994, pasal 11 tentang perubahan undang-undang N0 7 tahun 1987 mengenai PPH sebagaimana telah diubah dalam undang – undang N0. 7 tahun 1997 tentang masa manfaat serta *depresiasi* . Menurut undang - undang tersebut bahwa umur ekonomis komputer yaitu 8 tahun. *Earning After Taxes* didasarkan pada Laporan Rugi Laba dari bisnis, suku bunga sebagai *MARR* (*Marginal Attractive Rate Of Return*) adalah didasarkan pada suku bunga Bank Indonesia yang berlaku.

Metode – metode penilaian investasi (Abdul Halim, 2005) adalah meliputi Metode *Payback Period* adalah jangka waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh bisnis investasi tersebut. Suatu investasi bisnis akan diterima , jika periode pengembalian yang dihasilkan lebih cepat dari yang disyaratkan. *Net Present value* merupakan metode yang dipakai untuk menilai usulan bisnis investasi yang mempertimbangkan nilai waktu dari pada uang (*time value of money* ) sehingga arus kas yang dipakai adalah arus kas yang telah didiskontokan atas dasar biaya modal bisnis (*cost of capital* ) atau tingkat bunga atau tingkat pengembalian yang disyaratkan (*Required Rate of Return / RRR*). Metode *Internal Rate of Return* adalah tingkat bunga yang dapat menjadikan NPV sama dengan nol, metode ini juga mempertimbangkan nilai waktu dari uang sehingga arus kas yang diterima telah didiskontokan atas dasar biaya modal / tingkat bunga / *RRR*. Metode *Profitability Indeks* merupakan perbandingan antara *Present value* arus kas dengan Investasi awal .

## METODOLOGI PENELITIAN

Alasan dengan studi kasus di Sekolah Menengah Atas Negeri 5 Yogyakarta, dikarenakan pada tahun 2014 diberlakukan kurikulum 2013 yang berbasis Informasi Teknologi. Pada hal dalam kurikulum 2013 tidak ada lagi guru dengan spesifikasi Informasi teknologi dan proses

pembelajarannya hampir semua menggunakan Informasi Teknologi. Dengan demikian di Sekolah Menengah Atas baik Kepala Sekolah, Guru, Tata Usaha, siswa harus bisa menggunakan Informasi Teknologi dalam proses pembelajaran, diperlukan analisis kelayakan investasi khususnya pengadaan komputer dari segi finansial. Macam data yang digunakan dalam pengumpulan data selama pelaksanaan penyusunan penelitian adalah data Primer yaitu kualitatif dan kuantitatif, data sekunder adalah biaya investasi awal, biaya pengeluaran, pendapatan hasil operasi, biaya listrik, tak terduga, biaya pajak penghasilan. Metode pengumpulan data melalui wawancara, Observasi, Studi Pustaka. Operasionalisasi variabel penelitian perancangannya mulai dari menghitung dan menganalisis depresiasi, *Earning After Taxes*, Arus Kas =  $EAT + Depresiasi$ , Total biaya operasioanal, *Marginal Atractive Rate of Return* didasarkan suku bunga Bank Indonesia pada saat dilakukan analisis investasi pengadaan komputer, metode (*Pay Back Period*), metode *Net Present Value* (NPV), metode *Internal Rate of Return* (IRR) dan metode *Profitability Index*.



Gambar 1 Diagram alir penelitian.

**PEMBAHASAN**

Tabel 1. Proyeksi pemasukan dana investasi

Tahun	Pemasukan dana
2007	Rp 19064608,1833
2008	Rp 20068008,614
2009	Rp 21124219,5937
2010	Rp 22236020,625
2011	Rp 23.406.337,5
2012	Rp 24.638.250,-
2013	Rp 25.935.000,-
2014	Rp 27.300.000,-

Sumber Data primer diolah

Rincian pengeluaran biaya investasi adalah biaya kertas printer dalam satu tahun pengeluaran = 12 x Rp 568.750 = Rp 6825.000,- Gaji instruktur dalam satu tahun pengeluaran = 12 x Rp 650.000 = Rp 7800.000,- Perawatan dan pemeliharaan komputer dalam satu tahun Rp 1000.000,- biaya Listrik dalam satu tahun biaya listrik = 12 x Rp 235620 = Rp 2827.440,- biaya Spidol dan tinta dalam satu tahun = 12 x Rp 40.000 = Rp 480.000,-

Tabel 2. Proyeksi Biaya Operasional investasi

Tahun	Biaya Operasional
2007	Rp 13.221.228, 9579
2008	Rp 13.917.083, 1136
2009	Rp 14.649.561, 1723
2010	Rp 15.420.590, 707
2011	Rp 16.232.200, 745
2012	Rp 17.086.527, 1
2013	Rp 17.985.818
2014	Rp 18.932.440

Sumber : Data primer diolah

Dari perhitungan di atas, maka perhitungan keuntungan bersih dari investasi sebagai berikut

Tabel 3. Perhitungan Arus kas

Tahun	Earning After taxes	Depresiasi	Arus Kas
2007	Rp 4.890.148, 8164	Rp 10.875.000,-	Rp 15.765.148,8164
2008	Rp 5.147.524, 5208	Rp 10.875.000,-	Rp 16.022.524,5208
2009	Rp 5.418.447,4418	Rp 10.875.000,-	Rp 16.293.447,4418
2010	Rp 5.703.628,8868	Rp 10.875.000,-	Rp 16.578.628,8868
2011	Rp 6.003.819,88	Rp 10.875.000,-	Rp 16.878.819,88
2012	Rp 6.319.810, 4	Rp 10.875.000,-	Rp 17.194.810,4
2013	Rp 6.652.432	Rp 10.875.000,-	Rp 17.527.432
2014	Rp 7.002.560	Rp 10.875.000,-	Rp 17.877.560

Sumber data primer diolah

Tabel 4. Metode *Payback Period*

Tahun	Arus Kas	Arus Kas Kumulatif
2007	Rp 15.765.148,8164	Rp 15.765.148,8164
2008	Rp 16.022.524,5208	Rp 31.787.673, 3372
2009	Rp 16.293.447,4418	Rp 48.081.120, 779
2010	Rp 16.578.628,8868	Rp 64.659.749, 6658
2011	Rp 16.878.819,88	Rp 81.538.569, 5458
2012	Rp 17.194.810,4	Rp 99.066.001, 5458
2013	Rp 17.527.432	Rp 116.593.433,545
2014	Rp 17.877.560	Rp 134.470.993,545

Sumber Data primer diolah

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka *Pay Back Period* = 5, 31 tahun, artinya jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan nilai investasi sebesar Rp 87.000.000,- adalah 5, 31 tahun.

Tabel 5. Metode *Net Present Value* (NPV)

Tahun	<i>Earning After taxes</i>	<i>Marr 8 %</i>	<i>Present value proceeds</i>
2007	Rp15.765.148,8164	0,9259	Rp 14.596.951, 2891
2008	Rp16.022.524,5208	0,8573	Rp 13.736.110,2716
2009	Rp16.293.447,4418	0,7938	Rp 12.933.738,5793
2010	Rp16.578.628,8868	0,7351	Rp 12.186.950,0946
2011	Rp16.878.819,88	0,6806	Rp 11.487.724,8103
2012	Rp17.194.810,4	0,6302	Rp 10.836.169,514
2013	Rp17.527.432	0,5835	Rp 10.227.256, 572
2014	Rp17.877.560	0,5403	Rp 9.659.245,5668
	<i>Present Value Proceeds</i>		Rp95.574.146,6977
	<i>Capital outlays</i>		Rp 87.000.000
	<i>Net Present Value</i>		Rp 8. 574.146,6977

Sumber : Data primer diolah

Tabel 6. Perhitungan interpolasi *Internal rate of Return*

Selisih Bunga	Selisih <i>Present value</i>	Selisih <i>Present value</i> dengan investasi awal
10 %	Rp 88.660.729,0249	Rp 88.660.729,0249
11 %	Rp 73.535.268,0031	Rp 87.000.000,-
1 %	Rp 15.125.461,0218	Rp 1.660.729,0249

Sumber Data primer di olah

$$IRR = 10, 109 \%$$

Tabel 7. Perhitungan *Profitability Index*

Tahun	Arus Kas	<i>Discount factor</i>	<i>Present value</i>
2007	Rp15.765.148,8164	0,9259	Rp 14.596.951, 2891
2008	Rp16.022.524,5208	0,8573	Rp 13.736.110,2716
2009	Rp16.293.447,4418	0,7938	Rp 12.933.738,5793
2010	Rp16.578.628,8868	0,7351	Rp 12.186.950,0946
2011	Rp16.878.819,88	0,6806	Rp 11.487.724,8103
2012	Rp17.194.810,4	0,6302	Rp 10.836.169,514
2013	Rp17.527.432	0,5835	Rp 10.227.256, 572
2014	Rp17.877.560	0,5403	Rp 9.659.245,5668
	<i>Total Net Present Value</i>		Rp95.574.146,6977
	<i>Capital outlays</i>		Rp 87.000.000
	<i>Net Present Value</i>		+ Rp 8. 574.146,6977

Sumber data primer diolah

$$Profitability Index = 1, 09$$

Karena hasil perhitungan *Profitability Index* angkanya  $> 1$  yaitu 1, 09 maka investasi pengadaan komputer tersebut diterima.

Studi kelayakan investasi pengadaan komputer merupakan penelitian tentang

dapat tidaknya suatu investasi dilaksanakan diterima atau ditolak kelayakan investasi dari segi financial dengan pengertian melihat dari manfaat ekonomis suatu investasi. Metode penilaian investasi merupakan salah satu cara yang digunakan dalam melihat prospek usaha maupun jenis kegiatan tertentu dimasa yang akan datang apakah layak di lanjutkan atau tidak bila dilihat dari aspek financial . Dalam metode konvensional dipergunakan tolok ukur kelayakan investasinya dengan Metode *Payback Period*, Metode *Net Present Value* , Metode *Internal Rate of Return* , Metode *Profitability Index*

Berdasarkan tabel 4 analisis investasi *Payback Period* = 5, 31 tahun, artinya jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan nilai investasi sebesar Rp 87.000.000,- adalah 5, 31 tahun. Dengan umur ekonomis komputer menurut Undang Undang selama 8 tahun, maka investasi tersebut layak diterima atau bisa dilanjutkan karena *Pay Back*nya 5, 31 tahun.

Tabel 6. perhitungan Metode *Net Present Value* merupakan metode yang menghitung nilai selisih saat ini (*Present Value*) dan aliran kas bersih operasional selama umur ekonomis dengan investasi awal / aliran kas awal, hasil perhitungan diperoleh Rp + 1.660.729,0249 maka dapat dikatakan layak diterima dari segi financial. Metode yang dipakai untuk menilai usulan bisnis investasi yang mempertimbangkan nilai waktu dari pada uang (*time value of money*) sehingga arus kas yang dipakai adalah arus kas yang telah didiskontokan atas dasar biaya modal bisnis (*cost of capital*) atau tingkat bunga atau tingkat pengembalian yang disyaratkan (*Required Rate of Return / RRR*)

Analisis investasi diterima, Jika NPV nya lebih besar dari NOL. Jika NPV = NOL, maka harus ditinjau kembali apakah tingkat bunga yang digunakan telah relevan dalam perhitungan NPV dan apakah unsur resiko telah dipertimbangkan.

Hasil perhitungan Net Present value diperoleh Rp + 1.660.729,0249 menunjukkan bahwa investasi pengadaan computer sangat menguntungkan jadi layak diterima atau dilanjutkan dan dikembangkan.

Analisis investasi dengan Metode *Internal Rate of Return* merupakan metode yang menghitung suatu usulan investasi diterima, jika *Internal Rate of Return*nya lebih tinggi atau sama dengan biaya modal/ tingkat suku bunga / *Rate of Return Requirement*. Suatu usulan investasi ditolak, jika *Internal Rate of Return* nya lebih rendah dari biaya modal / tingkat bunga / RRR. *Internal Rate of Return* = 10, 109 % kesimpulan bahwa investasi pengadaan komputer tersebut sebaiknya diterima, karena IRR (10, 109 %) > dari MARR (8 %)

Analisis *Profitability Index* dalam tabel 7 Karena hasil perhitungan *Profitability Index* angkanya > 1 yaitu 1, 09 maka investasi pengadaan komputer tersebut diterima.

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis data dapat disimpulkan bahwa kelayakan investasi pengadaan computer dari sudut pandang finansial adalah *Pay back* period jangka waktu kembalinya dana investasi selama 5, 31 tahun, *Net Present value* berdasarkan MARR 8% adalah + Rp 8. 574.146,6977 sedangkan *Internal Rate Of Return* sebesar 10, 09% sedangkan *Profitability Index* sebesar 1,09

Dengan memperhatikan hasil dan keterbatasan penelitian yang ada, penelitian ini secara statistik telah membuktikan bahwa keberadaan analisis investasi pengadaan komputer sebagai bahan pertimbangan bagi pihak manajemen, investor dan calon investor dalam pembuatan keputusan investasi dan keuangan. Penelitian selanjutnya juga disarankan untuk menganalisis dengan studi kasus di Sekolah Menengah Atas Negeri dan pembandingan dengan Sekolah menengah Atas swasta.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penelitian yang diselesaikan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu ijinkan kami menghaturkan terima kasih kepada Rektor IST AKPRIND Yogyakarta, Ketua LPPM IST AKPRIND Yogyakarta, Dekan Fakultas Teknologi Industri, Kepala Sekolah dan staf guru SMA Negeri 5 Yogyakarta, Istriku C. Rini Susilowati. Semoga hasil penelitian ini ada manfaatnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul halim, 2010, Analisis Investasi, Penerbit Salemba Empat, Jakarta
- Anonim, 2009, Mocaf Indonesia (cited 2014 june 10). Available from : URL:  
<http://mocafindonesia.blogspot.com/Available> from: URL:  
[http://www.pu.go.id/sekjen/biro%20hukum/permen/permen294\\_05.pdf](http://www.pu.go.id/sekjen/biro%20hukum/permen/permen294_05.pdf).
- Agus Haryono, 2003, *Studi Kelayakan Pendirian Warung Internet di Lingkungan Kampus Terpadu UII*. UII Yogyakarta (tidak dipublikasikan).
- Bambang Riyanto, 1982, *Dasar-Dasar Pembelanjaan Negara*, Yayasan Badan Penerbit Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Husein Umar, 1997, *Studi Kelayakan Bisnis*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Iman Soharto, 2002, *Studi Kelayakan Proyek Industri*, Erlangga, Jakarta.
- Kasmir, Jakfar, 2008, *Studi Kelayakan Bisnis*, jakarta kencana Prenada Media Group
- Suratman, 2001, *Studi Kelayakan Proyek*, J&J Learning, Yogyakarta.

## STRATEGI PENGEMBANGAN KLASTER IKM TANAMAN PANGAN DALAM KERANGKA PENGUATAN SISTEM INOVASI DAERAH DI KABUPATEN BANYUWANGI

Bambang Syairudin<sup>1</sup>, Mahirul Mursid<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Industri, ITS Surabaya

<sup>2</sup>Program Studi D3 Teknik Mesin, ITS Surabaya

e-mail :<sup>1</sup> bambangsy@ie.its.ac.id, <sup>1</sup> bambangsy@yahoo.com, <sup>2</sup> mursid@me.its.ac.id

### ABSTRACT

*The arrangement of SMEs (Small and Medium Industries) in an industrial cluster will be able to support the sustainability of the system in strengthening the region's economic fundamentals when compared with letting the SME move individually, because the arrangement of SMEs in the cluster can create collaborative working climate that enables to share the innovative knowledges more effectively between SMEs with its business network. Based on this understanding then conducted research which aims to prepare the framework for strengthening of the Regional Innovation System in Banyuwangi district through a cluster approach. This cluster approach is directed at the sector of food crops (rice, corn and soybean) which spread over 24 sub-districts. This research has resulted a strategy formulation for developing the Food Crops SME cluster that aligned with the efforts for strengthening the Regional Innovation System so in the long run Banyuwangi district will be able to increase the level of its cluster competitiveness and will be able too to increase the level of its district and sub-districts.*

**Keywords:** *the Food Crops SME cluster, the Regional Innovation System, strategy formulation*

### PENDAHULUAN

Sektor pertanian tanaman pangan mempunyai peran paling dominan dalam pertumbuhan ekonomi kabupaten Banyuwangi. Luas areal pertanian tanaman pangan yang tersebar di kabupaten, mulai dari dataran tinggi di pegunungan hingga dataran rendah dan pantai memungkinkan sektor ini berpotensi pula untuk dikembangkan menjadi sebuah klaster IKM. Dengan perkataan lain, sangat memungkinkan apabila kabupaten Banyuwangi mulai melakukan penataan kembali IKM (Industri Kecil menengah) yang bergerak di sektor ini dalam sebuah bangunan klaster.

Kemampuan suatu daerah dalam memilih secara tepat potensi ekonomi daerah untuk dijadikan sebagai subyek pengelolaan inovasi akan menjadi salah satu kunci keberhasilan pembangunan ekonomi daerah tersebut (Atang Sulaeman dan Ignatius Subagjo, 2011). Dengan demikian proses penguatan SIDA yang terarah, terpadu dan berkelanjutan menjadi prioritas yang harus dilakukan, sesuai dengan amanah yang ada pada Peraturan Bersama Menteri Negara Riset dan Teknologi RI dengan Menteri Dalam Negeri No. 03 Tahun 2012 dan No. 36 Tahun 2012 tentang Penguatan Sistem Inovasi Daerah (BPPT, 2011; Tatang A. Taufik, 2012).

Selain padi, Banyuwangi juga terkenal dengan produk Jagung dan Kedelai. Kedua komoditas tersebut setiap tahunnya mengalami peningkatan produksi yang masih bisa terus dioptimalkan lagi. Komoditas Jagung sendiri pada tahun 2011 lalu mencapai 177.174 ton dengan produktivitas 59,78 kuintal perhektar. Sedangkan untuk produksi kedelai pada tahun yang sama produksinya mencapai 64.129 ton dengan produktifitas 17,78 kuintal per hektar.

Sektor pertanian tanaman pangan di Banyuwangi ini menjadi sumber penyerap tenaga kerja utama bagi penduduk kabupaten Banyuwangi. Dari 1.576.328 jiwa penduduk kabupaten Banyuwangi, sekitar 47% atau 350.879 jiwa adalah seorang petani yang menggantungkan kehidupan ekonomi keluarganya pada bercocok tanam. Kontribusi ekonomi sektor pertanian ini cukup mendominasi, yaitu sebesar 47,63% , kontribusi berikutnya ditempati oleh sektor perdagangan, hotel dan restoran sebesar 26,62% dan sektor-sektor jasa lainnya sebesar 6,33%.

Berdasarkan latar belakang dan alasan tersebut di atas, maka di kabupaten Banyuwangi yang telah memiliki potensi sektor Industri Tanaman Pangan tersebut, sangat perlu untuk dilakukan pengkajian mendalam tentang “Strategi Pengembangan Klaster IKM untuk Industri Tanaman Pangan dalam Kerangka Penguatan Sistem Inovasi Daerah (SIDa) di Kabupaten Banyuwangi”. Manfaat dari kajian ini, yaitu kemampuan membangun framework yang dapat dijadikan acuan untuk implementasi Strategi Pengembangan Klaster IKM untuk Industri Tanaman Pangan dalam Kerangka Penguatan Sistem Inovasi Daerah (SIDa) di Kabupaten Banyuwangi. Dampak kegiatan penelitian ini diharapkan adanya koordinasi, kerjasama dan sinergi positif serta interaksi diantara aktor-aktor inovasi dalam satu jaringan *Triple Helix*, yaitu aktor dari perguruan tinggi (*Academic*), pemerintah (*Government*) dan pelaku bisnis (*Business*) dalam Penguatan Sistem Inovasi Daerah

(SIDa) yang terkait dengan pendayagunaan potensi IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi sehingga dapat menunjang percepatan pembangunan ekonomi Kabupaten Banyuwangi.

Metodologi perumusan strategi pengembangan Klaster IKM untuk industri tanaman pangan dalam kerangka penguatan Sistem Inovasi Daerah (SIDa) di kabupaten Banyuwangi, terdiri dari lima tahapan. Pada tahap pertama ini dilakukan dengan cara observasi dan wawancara yang melibatkan stakeholder-stakeholder IKM Tanaman Pangan seperti Petani, Supplier, pemerintah dan berbagai stakeholder IKM Tanaman Pangan di kabupaten Banyuwangi. Tahapan ini bertujuan untuk mengidentifikasi peluang, tantangan, potensi dan kelemahan Klaster IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi. Identifikasi tersebut dilakukan dengan menggunakan matriks TOWS yang terdiri dari empat faktor yaitu :

1. *Threat* (Tantangan/ancaman), merupakan suatu kondisi yang mengancam dari luar. Ancaman ini dapat mengganggu kinerja Klaster IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi.
2. *Opportunities* (Peluang), merupakan kondisi lingkungan eksternal yang memberikan peluang untuk penguatan Klaster IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi.
3. *Weakness* (Kelemahan), merupakan suatu kondisi kelemahan yang terdapat di dalam Klaster IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi.
4. *Strength* (Potensi/kekuatan), merupakan suatu kondisi kekuatan yang terdapat di dalam Klaster IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi.

Setelah dilakukan analisis TOWS, kemudian dilakukan penyusunan strategi untuk mengetahui profil yang ideal menurut para stakeholder. Penyusunan strategi ini mengacu pada analisis TOWS yang telah dibuat sebelumnya. Tahap selanjutnya adalah melakukan identifikasi Profil IKM Tanaman Pangan Eksisting. Identifikasi dilakukan dengan dukungan data primer yaitu melalui survey yang dilakukan terhadap IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi yang juga didukung dengan data sekunder. Setelah didapatkan Profil Eksisting IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi maka tahap selanjutnya adalah penyusunan Profil IKM Tanaman Pangan yang ideal. Penyusunan tersebut dilakukan dengan menggunakan data hasil analisis TOWS yang berupa strategi untuk mencapai profil klaster IKM Tanaman Pangan yang ideal serta didukung data sekunder dari sumber lain yaitu yang berhubungan dengan peran, hubungan, aktivitas, aliran informasi dan konten pengetahuan eksisting terkait dengan inisiatif pembentukan Klaster IKM Tanaman Pangan. Tahap berikutnya adalah melakukan penyusunan konsep penguatan klaster IKM Tanaman Pangan di Kabupaten Banyuwangi dengan cara menganalisis *gap* antara Profil IKM eksisting dan Profil IKM Ideal. Konsep penguatan tersebut dibuat dengan menggunakan dasar dimensi STEFI (*Social Impact, Technology, Environment, Financial, and Institution*). Tahap terakhir dari kajian ini adalah penyusunan rekomendasi Model Pengembangan IKM Tanaman Pangan di Banyuwangi yang berbasis klaster. Model tersebut dibuat dengan berdasar pada konsep penguatan yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Model pengembangan tersebut akan dijadikan sebagai framework pencapaian inovasi daerah melalui pengembangan klaster IKM Tanaman Pangan di kabupaten Banyuwangi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis TOWS kondisi IKM Tanaman Pangan kabupaten Banyuwangi:

### A. *Threat* (Tantangan/ancaman)

1. Tingkat pendidikan petani secara nasional tergolong rendah. Pekerjaan petani, 47% adalah lulusan sekolah dasar. Hal tersebut merupakan kendala utama dalam mengadopsi inovasi dan teknologi yang diberikan untuk sektor pertanian sawah. Dan merupakan penghambat dalam upaya pencapaian target produktivitas.
2. Minat generasi muda Indonesia dalam memilih pekerjaan sebagai petani menunjukkan kecenderungan semakin menurun, umumnya disebabkan oleh pemahaman bahwa penghasilan yang diperoleh dari usaha tani tidak menguntungkan.
3. Ancaman dari terus berkurangnya lahan pertanian yang disebabkan oleh pengalih fungsian lahan pertanian untuk pembangunan daerah dan pembangunan perumahan penduduk sehingga lahan pertanian semakin menyempit.
4. Bertambahnya jumlah penduduk (termasuk penambahan penduduk luar Banyuwangi). Dengan adanya penambahan penduduk berarti memerlukan lahan yang lebih besar untuk tempat tinggal, tempat usaha dan perkantoran yang menyebabkan luas kepemilikan lahan pertanian akan semakin berkurang.
5. Harga tanaman pangan yang tergolong rendah karena sistem tebasan. Sudah lama sistem tebasan diterapkan oleh tengkulak dan pengusaha penggilingan padi. Banyak dari mereka datang sebelum musim panen tiba dan rendahnya kemampuan petani dalam memprediksi hasil usahanya menyebabkan petani pasrah dengan harga yang ditawarkan oleh para pengusaha tersebut.

6. Serangan organisme pengganggu tanaman. Serangan organisme pengganggu tanaman ini sangat mengganggu para petani dan datang sebagai ancaman sejak melakukan pembibitan, karena dapat gagal panen apabila gagal dalam menaggulangnya.
7. Adanya pasar bebas akan menyebabkan perdagangan komoditas tanaman pangan akan semakin kompetitif dan semakin terbuka yang dapat berpengaruh terhadap harga jual dan harga beli terhadap produk hasil tanaman pangan.

B. *Opportunities* (Peluang)

1. Adanya permintaan tanaman pangan yang besar. Jumlah penduduk Indonesia yang banyak adalah peluang dalam industri pertanian. Adanya permintaan tanaman pangan yang tidak pernah habis merupakan kesempatan yang baik bagi industri tanaman pangan. Konsumsi beras penduduk Indonesia adalah 139 kg/kapita/tahun dan akan terus meningkat.
2. Adanya alokasi dana untuk dinas pertanian di kabupaten Banyuwangi. Dukungan pemerintah pusat dan propinsi untuk dinas pertanian di kabupaten Banyuwangi dalam bentuk alokasi dana yang relatif besar untuk sektor pertanian.
3. Adanya niatan atau rencana pemerintah untuk melakukan inovasi terhadap produktivitas tanaman pangan. Menurut target Kementerian Pertanian tahun 2010 sampai tahun 2014 untuk komoditas pertanian adalah swasembada yang berkelanjutan. Dan mengharapkan adanya peningkatan produktivitas tanaman pangan terutama padi. Terdapat program pemerintah untuk petani seperti Sekolah Lapang Pengelolaan Tanaman Terpadu (SLPTT) untuk ketahanan pangan dan inovasi di sektor pertanian
4. Adanya investor yang ikut menanamkan modalnya. Masuknya investor ke dalam industri pertanian tanaman pangan adalah peluang bagi para petani tanaman pangan yang memiliki kendala dana dalam mengelola lahan pertanian mereka.
5. Adanya kebijakan pemerintah pusat untuk mendukung sektor pertanian tanaman pangan. Terdapat regulasi pemerintah pusat dan propinsi yang mendukung pertanian antara lain adanya instruksi presiden mengenai penetapan harga pembelian pemerintah (HPP) terhadap gabah beras petani. Dan juga peraturan Menteri Pertanian mengenai harga pupuk dan subsidi pupuk yang sangat membantu para petani.
6. Adanya lembaga yang menyediakan kredit untuk usaha tani. Lembaga keuangan adalah lembaga yang menyediakan pendanaan dan jaminan untuk usaha pertanian karena memang petani dalam menjalankan usahanya masih sangat terbatas dan lembaga tersebut sudah tersebar di pedesaan.

C. *Weakness* (Kelemahan)

1. Kualitas SDM pertanian masih rendah. Rendahnya kualitas SDM pertanian disebabkan masyarakat yang sudah tidak tertarik untuk menjadi petani dikarenakan banyaknya masyarakat yang sudah berpendidikan tinggi dan pindah ke daerah perkotaan.
2. Masih rendahnya Nilai Tukar Petani (NTP). Rendahnya NTP pada umumnya dirasakan oleh para petani yang tidak memiliki modal besar dan tidak memiliki fasilitas penyimpanan pasca panen. Keadaan tersebut membuat petani terlibat dalam sistem tengkulak yang semakin memperkecil NTP.
3. Rendahnya kesejahteraan para petani. Kesejahteraan petani tergolong rendah karena nilai penerimaan para petani yang tidak sebanding dengan hasil jerih payah dalam mengelola lahan pertaniannya.
4. Kurangnya pelayanan dari pihak aparat pemerintah setempat untuk masyarakat tani. Di dalam program yang telah diusulkan oleh pemerintah daerah mengenai inovasi dan peningkatan produktivitas tanaman pangan tidak diimbangi dengan penyuluhan yang sesuai karena tidak semua petani mendapatkan penyuluhan karena kurangnya jumlah SDM yang bisa melakukan tugas penyuluhan terhadap petani.
5. Kurangnya pemanfaatan dana APBD. Di dalam renstra dinas pertanian, kehutanan dan perkebunan telah dengan jelas dialokasikan dana untuk belanja tahunan, tetapi dana tersebut selalu tersisa dan tidak terpakai seluruhnya.
6. Kurangnya pembinaan dan pemasaran hasil pertanian. Pemasaran hasil pertanian yang terjadi baru sebatas kemitraan antara petani dan tengkulak yang menyebabkan petani selalu berada di pihak yang dirugikan karena kurangnya pembinaan untuk peningkatan kemampuan pemasaran hasil pertanian dari pemerintah daerah.

7. Tidak adanya monitoring dan evaluasi. Tujuan dari monitoring dan evaluasi ini agar pelaksanaan dalam manajemen pertanian yang dilakukan oleh para petani dapat memperoleh hasil yang baik melalui cara bertani yang baik.

D. *Strength* (Potensi/kekuatan)

1. Kebijakan Pemerintah Kabupaten Banyuwangi yang mendukung peningkatan industri tanaman pangan. Kebijakan pemerintah kabupaten dalam mendukung peningkatan produksi tanaman pangan telah dinyatakan dengan jelas melalui visi dan misi dinas pertanian, kehutanan dan perkebunan dan program-program yang telah dirancang pada renstra tahun 2010-2015.
2. Adanya keinginan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas Bahan Pangan kabupaten Banyuwangi. Perencanaan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas usaha tani telah disusun sedemikian rupa dan diaktualisasi secara rinci berdasarkan anggaran yang tepat sehingga terjadi peningkatan mutu pertanian.
3. Adanya potensi pada setiap kecamatan Banyuwangi untuk ditanami tanaman pangan. Potensi tersebut ditunjukkan dari banyaknya lahan pertanian di setiap kecamatan dan jumlah produksinya pada setiap kecamatan di Banyuwangi dari bermacam-macam jenis tanaman pangan yang dihasilkan. Terdapat 24 kecamatan yang memiliki potensi untuk dijadikan lahan untuk tanaman pangan (tabel 1, tabel 2, tabel 3, dan tabel 4.).
4. Sektor pertanian tanaman pangan merupakan sumber pendapatan daerah yang memiliki kontribusi terbesar pada PDRB kabupaten Banyuwangi.
5. Sektor pertanian adalah faktor dominan dalam penyerapan tenaga kerja di kabupaten Banyuwangi. Sektor pertanian adalah sektor yang banyak menyerap tenaga kerja di kabupaten Banyuwangi karena merupakan mata pencaharian utama masyarakat di kabupaten Banyuwangi.
6. Dukungan penuh dari pemerintah daerah untuk meningkatkan sektor pertanian. Dukungan pemerintah daerah untuk meningkatkan sektor pertanian dapat dilihat dari program-program dan anggaran yang telah di rumuskan dalam renstra.
7. Memiliki potensi sebagai pemasok tanaman pangan terbesar di Jawa Timur. Kabupaten Banyuwangi merupakan kabupaten yang memiliki potensi pemasok tanaman pangan terbesar di Jawa Timur karena hampir di semua kecamatan terdapat lahan untuk bercocok tanam dengan jumlah produksi per tahun yang sangat besar. Di kabupaten Banyuwangi ini terdapat lahan yang cocok untuk dijadikan lahan pertanian tanaman pangan dapat dilihat dari persebaran komoditas tanaman pangan yang mencakup seluruh kabupaten Banyuwangi.

Hasil perumusan strategi berbasis analisis TOWS untuk inisiasi pengembangan kluster IKM Tanaman Pangan kabupaten Banyuwangi:

1. Strategi peningkatan daya tarik sektor pertanian tanaman pangan melalui upaya peningkatan kesejahteraan petani melalui *framework* sebagai berikut:
  - a) Meningkatkan Harga Pembelian Pemerintah (HPP) agar petani tanaman pangan mendapat jaminan kepastian harga jual yang mereka hasilkan.
  - b) Mengembangkan kelembagaan sistem tunda jual yang memungkinkan petani tanaman pangan mendapatkan harga jual produk pertanian yang wajar.
  - c) Mendorong Pemerintah Daerah untuk menciptakan *captive market* bagi produk pertanian tanaman pangan melalui sistem kontrak yang tidak merugikan petani.
  - d) Mengembangkan kelembagaan lumbung tanaman pangan yang bisa menjadi alat pelindung bagi petani tanaman pangan dari kejatuhan harga akibat tidak memiliki gudang penyimpanan.
2. Strategi penguatan kapasitas kelembagaan petani dan penyuluh pertanian tanaman pangan sebagai agen inovasi inti kluster IKM Tanaman Pangan melalui *framework* sebagai berikut:
  - a) Meningkatkan kapabilitas kelembagaan dalam menangkap peluang ekonomi melalui pemanfaatan aksesibilitas terhadap berbagai informasi teknologi, permodalan dan pasar yang diperlukan bagi pengembangan usahatani dan usaha pertanian tanaman pangan.
  - b) Revitalisasi kapabilitas koperasi sebagai kelembagaan usaha yang berwawasan kluster yang memiliki ruang lingkup usaha pada seluruh rantai kluster sehingga dapat secara maksimal dalam mengakomodasi kepentingan petani atau kelompok tani tanaman pangan untuk meningkatkan kemampuan bisnisnya dan memperkuat jaringan bisnis dalam kluster IKM Tanaman Pangan.
  - c) Integrasi kapabilitas kelembagaan petani yang sudah ada seperti Kelompok Tani, Gabungan Kelompok Tani, Asosiasi Hortikultura, LM3 (Lembaga Mandiri yang Mengakar di Masyarakat), Penggerak Masyarakat Desa, Perhimpunan Petani Pemakai Air dan Subak untuk lebih berperan aktif sebagai wadah pembinaan teknis dan sosial sekaligus menjadi kelembagaan yang juga

berfungsi sebagai wadah pengembangan usaha yang berbadan hukum atau dapat berintegrasi dalam koperasi yang ada di pedesaan.

- d) Membentuk admin *knowledge management* (Lipparini, A. dan Sobrero, M., 1994; Hu, Tai-shan; Lin, Chien-yuan dan Chang, Su-Li, 2005; Giuliani, Elisa, 2007) untuk klaster IKM Tanaman Pangan yang berfungsi untuk memoderasi upaya-upaya penciptaan budaya inovatif melalui pembudayaan *knowledge sharing* dengan pihak pemerintah, pihak akademisi, dan pihak IKM (Triple Helix) agar terjadi peningkatan daya saing klaster dan daya saing kabupaten Banyuwangi secara terus-menerus.
3. Strategi penguatan dukungan permodalan untuk inisiasi inovasi dan penguatan klaster IKM Tanaman Pangan melalui *framework* sebagai berikut:
    - a) Penggalakan pengelolaan pertanian tanaman pangan secara klaster melalui kolaborasi dan kerjasama lahan antar petani tanaman pangan guna meningkatkan skala penguasaan dan pengusahaan lahan petani sehingga *bargaining power* petani untuk mendapatkan akses permodalan menjadi meningkat (*bankable & feasible*).
    - b) Peningkatan pengetahuan petani tanaman pangan dalam inti klaster dalam hal manajemen keuangan yang selaras dengan prosedur yang ditetapkan oleh lembaga keuangan formal dan perpajakan.
    - c) Peningkatan kemampuan petani dalam aturan prosedur pengajuan kredit untuk kemudahan akses sumber permodalan/ lembaga keuangan formal.
    - d) Pemerintah kabupaten Banyuwangi bersama Industri besar (Industri pengelola klaster IKM) perlu bekerjasama dalam menjembatani kesenjangan manajemen antara lembaga perbankan formal yang kebanyakan berada di daerah perkotaan dengan masyarakat petani yang tersebar di pedesaan melalui dukungan revitalisasi kelembagaan usaha kelompok untuk menjadi cikal bakal lembaga keuangan mikro di pedesaan sehingga lembaga ini nantinya dapat berkembang menjadi lembaga mandiri milik masyarakat petani pedesaan.
  4. Strategi peningkatan kualitas SDM Pertanian Tanaman Pangan sebagai pilar utama kekuatan inti klaster IKM Tanaman Pangan melalui *framework* sebagai berikut:
    - a) Pengkayaan ketrampilan SDM dan penciptaan kesempatan yang lebih luas kepada kelompok petani tanaman pangan untuk dapat beraktivitas di sektor pertanian *on-farm* dan *off-farm*. Beberapa bidang usaha yang sangat terbuka untuk dikembangkan adalah usaha penanganan pasca panen, pengolahan dan pemasaran pupuk organik dan hasil pertanian, usaha penangkaran bibit dan benih, serta perbengkelan alat dan mesin pertanian.
    - b) Peningkatan pengetahuan dan ketrampilan dalam penggunaan pupuk organik dan kimiawi secara berimbang dan bertahap untuk memperbaiki dan meningkatkan kesuburan tanah.
    - c) Peningkatan pengetahuan dan kesadaran petani untuk turut serta dalam membangun dan merawat infrastruktur lahan dan air.
    - d) Pengembangan sistem penyuluhan pertanian tanaman pangan yang efektif guna menghasilkan para petani tanaman pangan yang produktif dan inovatif.

Penentuan lokasi klaster IKM Tanaman Pangan ditetapkan dengan menggunakan indeks LP (*Location Performance*) sebagai indikator kinerja suatu lokasi yang nantinya akan dipertimbangkan sebagai kawasan inti klaster. Kawasan inti klaster tersebut akan difungsikan sebagai tempat awal penataan klaster dan pengembangan klaster IKM Tanaman Pangan dan untuk ajang implementasi strategi dalam kerangka penguatan SIDA dan peningkatan daya saing klaster serta daya saing kabupaten Banyuwangi. Indeks LP dihitung berdasar empat jenis perbandingan (rasio), yaitu:

- a. LP1 = Perbandingan tingkat produktivitas komoditas tertentu di kecamatan tertentu terhadap tingkat produktivitas komoditas tersebut di kabupaten Banyuwangi .....1)
- b. LP2 = Perbandingan tingkat produktivitas komoditas tertentu di kecamatan tertentu terhadap tingkat produktivitas komoditas tersebut pada propinsi yang memiliki tingkat produktivitas tertinggi untuk komoditas tersebut .....2)
- c. LP3 = Perbandingan tingkat produktivitas komoditas tertentu di kecamatan tertentu terhadap tingkat produktivitas komoditas tersebut di propinsi Jatim .....3)
- d. LP4 = Perbandingan tingkat produktivitas komoditas tertentu di kecamatan tertentu terhadap tingkat produktivitas komoditas tersebut secara nasional .....4)

Nilai rata-rata LP =  $(LP1+LP2+LP3+LP4)/4$  .....5)  
 Nilai rata-rata LP yang lebih besar dari satu menunjukkan kinerja lokasi yang baik, sebaliknya nilai rata-rata LP yang kurang dari satu menunjukkan kinerja lokasi yang kurang baik. Dengan perkataan lain, semakin besar nilai rata-rata LP menunjukkan semakin berpotensi lokasi tersebut untuk dijadikan sebagai kandidat inti kawasan klaster.

Hasil perhitungan nilai rata-rata LP per jenis komoditas pertanian tanaman pangan (Padi, Jagung, Kedelai) ditunjukkan pada tabel 6, tabel 7, dan tabel 8. Perhitungan nilai rata-rata LP tersebut dilakukan dengan menggunakan input data pada tabel 2, tabel 3, tabel 4, dan tabel 5.

Tabel1. Persebaran Tanaman Pangan  
(Padi (P), Jagung (J), Kedelai (K)) di Kabupaten Banyuwangi

No	Kecamatan	PJK	PJ	PK	JK	P	J	K
1	Pesanggaran	1						
2	Siliragung	1						
3	Bangorejo	1						
4	Purwoharjo	1						
5	Tegaldlimo	1						
6	Muncar	1						
7	Cluring	1						
8	Gambiran	1						
9	Tegalsari	1						
10	Glenmore		1					
11	Kalibaru		1					
12	Genteng	1						
13	Srono	1						
14	Rogojampi	1						
15	Kabat	1						
16	Singojuruh	1						
17	Sempu	1						
18	Songgon		1					
19	Glagah		1					
20	Licin		1					
21	Banyuwangi		1					
22	Giri		1					
23	Kalipuro		1					
24	Wongsorejo	1						
	<b>Jumlah</b>	16	8	0	0	0	0	0

Tabel 2. Urutan Kecamatan di Kabupaten Banyuwangi berdasarkan Produktivitas Padi  
Sumber: Diolah dari data BPS 2013

No	Kecamatan	Luas panen (Ha)	Produksi (ku)	Produktivitas (ku/Ha)
1	Purwoharjo	4428	355920	80,38
2	Tegaldlimo	3931	298370	75,90
3	Gambiran	5100	379540	74,42
4	Muncar	4512	330880	73,33
5	Cluring	6361	455390	71,59
6	Tegalsari	3723	263120	70,67
7	Srono	7948	556440	70,01
8	Bangorejo	3725	257400	69,10
9	Glenmore	6060	404000	66,67
10	Songgon	7430	494990	66,62
11	Sempu	5586	370450	66,32
12	Siliragung	4195	275590	65,69
13	Genteng	5556	362820	65,30
14	Pesanggaran	4024	261480	64,98
15	Rogojampi	6677	426390	63,86
16	Kabat	7530	476400	63,27
17	Licin	4905	305240	62,23
18	Kalibaru	3484	208410	59,82
19	Glagah	4635	276890	59,74
20	Wongsorejo	2844	165650	58,25
21	Giri	3597	209130	58,14
22	Banyuwangi	1806	103100	57,09
23	Kalipuro	1580	86930	55,02
24	Singojuruh	8024	403210	50,25

Tabel 3. Urutan Kecamatan di Kabupaten Banyuwangi berdasarkan Produktivitas Jagung  
Sumber: Diolah dari data BPS 2013

No	Kecamatan	Luas panen (Ha)	Produksi (ku)	Produktivitas (ku/Ha)
1	Tegaldlimo	2.259	155.420	68,80
2	Muncar	910	61.660	67,76
3	Pesanggaran	1.474	98.490	66,82
4	Siliragung	1.180	78.710	66,70
5	Purwoharjo	381	25.370	66,59
6	Cluring	807	52.520	65,08
7	Bangorejo	440	28.400	64,55
8	Wongsorejo	8.735	544.020	62,28
9	Srono	814	50.500	62,04
10	Tegalsari	478	27.700	57,95
11	Kalibaru	455	26.250	57,69
12	Kalipuro	824	46.100	55,95
13	Songgon	35	1.950	55,71
14	Singojuruh	44	2.450	55,68
15	Giri	150	8.350	55,67
16	Sempu	215	11.900	55,35
17	Kabat	209	11.500	55,02
18	Licin	72	3.940	54,72
19	Gambiran	128	7.000	54,69
20	Glenmore	566	30.590	54,05
21	Glagah	151	8.050	53,31
22	Banyuwangi	20	1.050	52,50
23	Rogojampi	452	22.890	50,64
24	Genteng	48	2.380	49,58

Tabel 4. Urutan Kecamatan di Kabupaten Banyuwangi berdasarkan Produktivitas Kedelai  
Sumber: Diolah dari data BPS 2013

No	Kecamatan	Luas panen (Ha)	Produksi (kw)	Produktivitas (ku/Ha)
1	Muncar	3655	76.720	20,99
2	Purwoharjo	8174	170.180	20,82
3	Tegaldlimo	8783	177.240	20,18
4	Singojuruh	2	40	20,00
5	Bangorejo	3325	63.740	19,17
6	Gambiran	851	16.140	18,97
7	Rogojampi	282	5.310	18,83
8	Tegalsari	988	18.590	18,82
9	Cluring	2421	45.470	18,78
10	Srono	777	14.480	18,64
11	Kabat	18	330	18,33
12	Siliragung	870	15.860	18,23
13	Pesanggaran	2330	42.410	18,20
14	Sempu	1160	21.020	18,12
15	Genteng	135	2.440	18,07
16	Wongsorejo	250	4.440	17,76

Tabel 5. Produktivitas Pemanding Per Jenis Tanaman Pangan  
Sumber: Diolah dari data BPS 2013

No	Jenis Tanaman Pangan	Produktivitas Kabupaten Banyuwangi	Produktivitas Nasional	Propinsi dengan Produktivitas Tertinggi Tingkat Nasional	Produktivitas Propinsi Jatim
1	Padi	65,68 Ku/Ha	51,52 Ku/Ha	Jabar (59,53 Ku/Ha)	59,15 Ku/Ha
2	Jagung	62,70 Ku/Ha	48,44 Ku/Ha	Jabar (72,06 Ku/Ha)	48,03 Ku/Ha
3	Kedelai	19,82 Ku/Ha	14,16 Ku/Ha	Sulteng (16,56 Ku/Ha)	15,64 Ku/Ha

Tabel 6. Nilai rata-rata LP untuk Padi

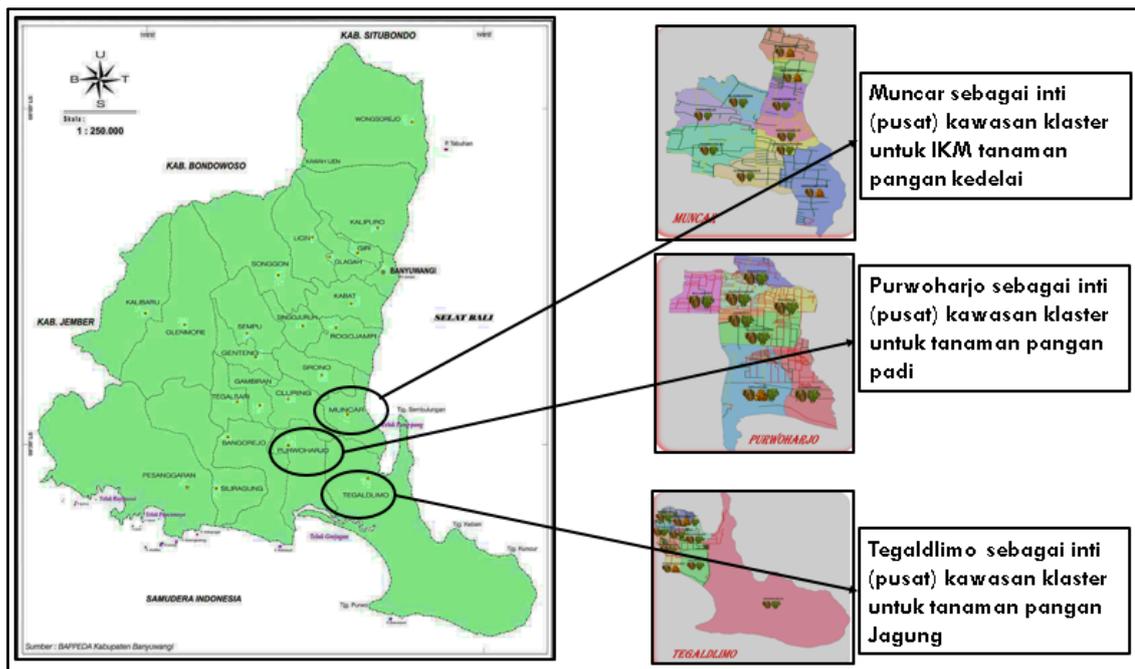
<b>PADI</b>		
<b>No</b>	<b>Kecamatan</b>	<b>Rata-rata LP sebagai pendekatan nilai kinerja lokasi per kecamatan</b>
1	Purwoharjo	1,37
2	Tegaldimo	1,30
3	Gambiran	1,27
4	Muncar	1,25
5	Cluring	1,22
6	Tegalsari	1,21
7	Srono	1,20
8	Bangorejo	1,18
9	Glenmore	1,14
10	Songgon	1,14
11	Sempu	1,13
12	Siliragung	1,12
13	Genteng	1,12
14	Pesanggaran	1,11
15	Rogojampi	1,09
16	Kabat	1,08
17	Licin	1,06
18	Kalibaru	1,02
19	Glagah	1,02
20	Wongsorejo	1,00
21	Giri	0,99
22	Banyuwangi	0,98
23	Kalipuro	0,94
24	Singojuruh	0,86

Tabel 7. Nilai rata-rata LP untuk Jagung

<b>JAGUNG</b>		
<b>No</b>	<b>Kecamatan</b>	<b>Rata-rata LP sebagai pendekatan nilai kinerja lokasi per kecamatan</b>
1	Tegaldimo	1,23
2	Muncar	1,21
3	Pesanggaran	1,19
4	Siliragung	1,19
5	Purwoharjo	1,19
6	Cluring	1,16
7	Bangorejo	1,15
8	Wongsorejo	1,11
9	Srono	1,11
10	Tegalsari	1,03
11	Kalibaru	1,03
12	Kalipuro	1,00
13	Songgon	0,99
14	Singojuruh	0,99
15	Giri	0,99
16	Sempu	0,99
17	Kabat	0,98
18	Licin	0,98
19	Gambiran	0,97
20	Glenmore	0,96
21	Glagah	0,95
22	Banyuwangi	0,94
23	Rogojampi	0,90
24	Genteng	0,88

Tabel 8. Nilai rata-rata LP untuk Kedelai

Kedelai		
No	Kecamatan	Rata-rata LP sebagai pendekatan nilai kinerja lokasi per kecamatan
1	Muncar	1,29
2	Purwoharjo	1,28
3	Tegaldlimo	1,24
4	Singojuruh	1,23
5	Bangorejo	1,18
6	Gambiran	1,16
7	Rogojampi	1,16
8	Tegalsari	1,15
9	Cluring	1,15
10	Srono	1,14
11	Kabat	1,12
12	Siliragung	1,12
13	Pesanggaran	1,12
14	Sempu	1,11
15	Genteng	1,11
16	Wongsorejo	1,09



Gambar 1. Peta Spasial Pengembangan Pusat Kawasan Kluster IKM Tanaman Pangan

Hasil pemilihan inti (pusat) kawasan kluster IKM Tanaman Pangan Kabupaten Banyuwangi ditunjukkan pada gambar 1. Inti (pusat) kawasan kluster IKM tersebut merupakan titik awal untuk penataan IKM Tanaman Pangan ke dalam struktur rantai nilai kluster IKM dan jaringan bisnisnya yang terkait nantinya dengan implementasi strategi dan framework yang mencakup penguatan Sistem Inovasi Daerah untuk peningkatan daya saing daerah kabupaten Banyuwangi.

## KESIMPULAN

- A. Tersusun empat strategi utama dalam pengembangan kluster tanaman pangan di Banyuwangi, yaitu:
1. Strategi peningkatan daya tarik sektor pertanian tanaman pangan melalui upaya peningkatan kesejahteraan petani.
  2. Strategi penguatan kapasitas kelembagaan petani dan penyuluh pertanian tanaman pangan sebagai agen inovasi inti kluster IKM Tanaman Pangan.
  3. Strategi penguatan dukungan permodalan untuk inisiasi inovasi dan penguatan kluster IKM Tanaman Pangan.
  4. Strategi peningkatan kualitas SDM Pertanian Tanaman Pangan sebagai pilar utama kekuatan inti kluster IKM Tanaman Pangan
- B. Terdapat 24 kecamatan di Kabupaten Banyuwangi yang memiliki potensi untuk dijadikan kawasan IKM Tanaman Pangan unggulan (Padi, Jagung, Kedelai), dengan penataan kluster yang ditentukan sebagai berikut:
1. Purwoharjo sebagai inti (pusat) kawasan kluster untuk tanaman pangan padi.
  2. Tegaldlimo sebagai inti (pusat) kawasan kluster untuk tanaman pangan jagung.
  3. Muncar sebagai inti (pusat) kawasan kluster untuk tanaman pangan kedelai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atang Sulaeman dan Ignatius Subagjo, (2011)"Panduan Umum Prakarsa Penguatan Sistem Inovasi Daerah",Deputi Bidang Pengkajian Kebijakan Teknologi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- BPPT, "Peraturan Kepala Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi No. 009 Tahun 2011 tentang Panduan Pemetaan Jaringan Inovasi Dalam Kerangka Sistem Inovasi daerah".
- BPS, 2013, <http://bps.go.id/>
- Giuliani, Elisa. (2007).*Towards an understanding of knowledge spillovers in industrial clusters*; Applied Economics Letters, 14, 87–90.
- Hu, Tai-shan; Lin, Chien-yuan dan Chang, Su-Li.(2005).Role of Interaction between Technological Communities and Industrial Clustering in Innovative Activity: The Case of Hsinchu District, Taiwan.*Urban Studies*, Vol. 42, No. 7, 1139–1160.
- Lipparini, A. dan Sobrero,M. (1994).*The Blue and the Pieces: Entrepreneurship and Innovation in Small-Firm Networks* ; Journal of Business Venturing 9,125-140; Elsevier Science Inc.
- Peraturan Bersama Menteri Negara Riset dan Teknologi RI dengan Menteri Dalam Negeri No. 03 Tahun 2012 dan No. 36 Tahun 2012 tentang Penguatan Sistem Inovasi Daerah.
- Tatang A. Taufik, (2012) "Penguatan Sistem Inovasi di Provinsi Jawa Timur: Konsep dan Prakarsa", Rakor Litbang Provinsi Jawa Timur Implementasi Pengembangan Sistem Inovasi di Jawa Timur, Surabaya, 29 Maret 2012.

# PERENCANAAN PERSEDIAAN BAHAN BAKU GUNA MENCAPAI EFISIENSI BIAYA PRODUKSI

Darsini<sup>1</sup>, Mathilda Sri Lestari<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik  
Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo Telp. 0271 (573156)

[dearsiny@yahoo.com](mailto:dearsiny@yahoo.com)

## ABSTRACT

*System of basic material supply in one company is used to get efficiency of production cost. Supply is all cost and detriment that raise for the result of supply system cost availability. It consists of purchasing cost, ordering cost, keeping and supplying cost. It needs controlling of supply system to get efficiency of production cost. It can be concluded that basic material supply has an important role to keep production cost down. The researcher used calculating /analysis for the research approach to find out the keeping total cost for each types of product with EOQ method. While the analysis was done from the result of tabulation, then it was analyzed for each main basic material (cotton, rayon) and auxiliary basic material (distaff). Finally, it could be known that the result of main basic material difference. From the research, it can be seen that main basic material : difference of supplying cost = Rp 14.837.100 and production cost = Rp 134.145.100, and for auxiliary basic material : difference of supplying cost = Rp. 2.091.020,- production cost = 7.162.320,- From here, the total supplying cost difference is Rp 16.928.220,-. So, it will get efficiency of product cost. With the same method, it got the efficiency of total production cost : Rp 134.145.100,- (for main basic material) and Rp 7.162.320 (for auxiliary basic material) = 141.307.420,-. So, planning for supply of basic material can be applied in PT. SSI, Grogol, Sukoharjo. It is also hoped that this research can be used as a means of determination to improve the company productivity.*

**Keywords:** *planning, supplying, basic material, and efficiency cost.*

## PENDAHULUAN

Perusahaan pada umumnya merupakan organisasi yang bertujuan untuk memperoleh laba dan mempertahankan hidupnya. Agar dapat mencapai tujuan, perusahaan perlu menyusun rencana untuk mencapai laba yang diinginkan. Karena laba yang diperoleh perusahaan sering dipakai sebagai ukuran keberhasilan perusahaan dalam mengelola sumber-sumber yang ada. Untuk itu perusahaan harus mampu melihat dan memanfaatkan kesempatan yang ada, sehingga dapat menilai kemungkinan dan peluang yang mungkin terjadi di masa yang akan datang.

Salah satu faktor produksi yang sangat penting adalah bahan baku, karena akan menentukan kelancaran pelaksanaan proses produksi. Sehingga perusahaan memerlukan suatu sistem persediaan bahan baku. Namun demikian cara penyelenggaraan persediaan bahan baku akan berbeda-beda untuk setiap perusahaan baik dalam hal jumlah unit maupun manajemen atau pengelolaan dari persediaan bahan baku dalam perusahaan yang bersangkutan. Melihat realita yang sesuai dengan perkembangan perusahaan yang semakin meningkat, maka diperlukan suatu pengelolaan dan perencanaan untuk dapat memenuhi permintaan. Tahap perencanaan langkah awal yang sangat penting untuk mencapai keberhasilan yang akan dicapai, juga dalam perencanaan bahan baku yang harus dilaksanakan sebaik-baiknya. Permasalahan yang sering dihadapi adalah perencanaan persediaan bahan baku yang kurang baik sehingga sering terlambat. Hal tersebut akan mengakibatkan proses produksi akan menjadi terlambat sehingga tidak mampu memenuhi permintaan pasar yang pada akhirnya perusahaan akan mengalami kerugian yaitu kehilangan kesempatan untuk memperoleh sejumlah keuntungan yang diharapkan, berkurangnya kepercayaan pelanggan dan kerugian operasional seperti : tenaga kerja dan mesin yang kurang produktif. Begitu juga sebaliknya jika persediaan bahan baku berlebihan akan menyebabkan tingginya biaya penyimpanan serta penggunaan investasi untuk persediaan bahan yang besar akan mengakibatkan berkurangnya dana untuk investasi di bidang lain. Selain itu perusahaan harus menanggung resiko penurunan kualitas. Secara umum dapat dikatakan bahwa biaya sistem persediaan adalah semua pengeluaran dan kerugian yang timbul sebagai akibat adanya persediaan biaya sistem persediaan yang terdiri dari biaya pembelian, biaya pemesanan, biaya simpan dan persediaan. Sehingga untuk mencapai efisiensi biaya produksi perlu adanya pengendalian sistem persediaan bahan baku yang meliputi tersebut di atas.

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa persediaan bahan baku mempunyai peranan yang sangat besar dalam penekanan biaya produksi. Oleh karena itu dipilih bidang penyediaan

bahan baku sebagai obyek pembahasan dengan judul “Sistem Perencanaan Persediaan Bahan Baku Guna Mencapai Efisiensi Biaya Produksi”.

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini bertujuan :

1. Untuk mengetahui perencanaan system persediaan bahan baku pada perusahaan yang diteliti.
2. Mencapai efisiensi biaya produksi di PT. Sinar Surya Indah Telukan Grogol Sukoharjo.

### Tinjauan Pustaka

Sistem Persediaan adalah suatu cara mengatur proses sumber bahan yang menganggur sampai proses lebih lanjut. Yang dimaksud proses lanjut adalah berupa kegiatan produksi dalam sistem manufaktur.

Bagi perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi, persediaan merupakan salah satu faktor penunjang dalam menjalankan operasi perusahaannya. Tanpa adanya persediaan, perusahaan tersebut akan dihadapkan pada resiko bahwa perusahaan tersebut tidak dapat memenuhi permintaan pelanggan maupun dalam memproduksi. Untuk dapat melangkah lebih jauh pada pembahasan, perlu dipahami tentang pengertian persediaan itu sendiri. Beberapa definisi persediaan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Persediaan merupakan aktiva yang meliputi usaha barang-barang milik perusahaan dengan maksud dapat dijual dalam suatu periode usaha yang normal atau persediaan barang-barang yang masih dalam proses produksi (Assauri. S, 1987).
2. Teori persediaan memberikan penentuan proses yang optimal untuk mendapatkan perkiraan kebutuhan masa yang akan datang (Arman H,N, 1999).
3. Persediaan merupakan sumber daya organisasi yang disimpan dalam antisipasi terhadap pemenuhan permintaan (Handoko.H, 1994).

Dalam pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa persediaan merupakan suatu barang atau bahan baik itu bahan mentah, setengah jadi ataupun bahan jadi yang secara sengaja disimpan menurut cara-cara tertentu, sehingga dapat digunakan pada masa mendatang sehingga dapat menghasilkan keuntungan.

Sedangkan persediaan yang diadakan mulai dari bahan mentah sampai barang jadi antara lain berguna untuk :

1. Menghindari dan melindungi persediaan terhadap kerusakan, pemborosan dan pemakaian yang tidak perlu.
2. Menghilangkan resiko keterlambatan datangnya bahan-bahan yang dibutuhkan perusahaan.
3. Mempertahankan stabilitas operasi perusahaan harus menyelenggarakan persediaan bahan baku adalah :
4. Mendapatkan total biaya minimal atau tercapainya efisiensi biaya.

Sedangkan ada beberapa hal yang menyebabkan suatu perusahaan harus menyelenggarakan persediaan bahan baku adalah :

1. Bahan baku yang akan digunakan pelaksanaan proses produksi dari perusahaan-perusahaan tersebut tidak dapat dibeli atau didatangkan satu persatu dalam jumlah unit yang diperlukan serta pada saat bahan tersebut akan dipergunakan untuk proses produksi dalam perusahaan.
2. Apabila bahan yang akan dipergunakan tidak ada dalam perusahaan atau tidak mempunyai persediaan bahan baku, sedangkan bahan yang dipesan belum datang maka pelaksanaan proses produksi dalam perusahaan tersebut terganggu karenanya.
3. Untuk menghindari diri dari kekurangan persediaan bahan baku. Persediaan yang terdapat dalam perusahaan dapat dibedakan dalam dua cara yaitu dilihat dari fungsi dan jenis barang.

Dilihat dari fungsinya persediaan dapat dibedakan (Assauri. S. 1997).

a. Persediaan yang berlebihan (*Batch stock*)

Persediaan yang diadakan karena membeli atau membuat bahan-bahan atau barang dalam jumlah yang lebih besar dari pada jumlah yang dibutuhkan pada saat itu. Terjadinya persediaan ini disebabkan oleh pengadaan bahan yang dilakukan lebih banyak dari yang dibutuhkan.

b. Persediaan yang berfluktuasi (*fluctuation stock*)

Persediaan yang diadakan untuk menghadapi fluktuasi permintaan konsumen yang tidak dapat disamakan. Dalam hal ini perusahaan mengadakan persediaan untuk dapat memenuhi permintaan konsumen apabila tingkat permintaan menunjukkan keadaan yang tidak tetap dan fluktuasinya tidak dapat diramalkan terlebih dahulu.

c. Persediaan yang dapat diramalkan (*anticipation stock*)

Persediaan yang diadakan untuk menghadapi fluktuasi yang dapat diramalkan berdasarkan pola musiman dan maksudnya untuk menjaga kemungkinan terjadinya kesulitan memperoleh bahan-bahan sehingga tidak mengganggu operasi.

Sedangkan jika dilihat dari jenis-jenis barang, persediaan dapat dibedakan menjadi :

- a. Persediaan bahan baku
- b. Persediaan bagian produk yang dibeli
- c. Persediaan bahan pembantu
- d. Persediaan barang setengah jadi
- e. Persediaan barang jadi

### **Perencanaan Produksi**

Perencanaan produksi merupakan dasar bagi manajer untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Oleh karena itu perencanaan produksi memerlukan pertimbangan dan ketelitian dalam menganalisis setiap kebijaksanaan yang akan diambil. Pertimbangan dan ketelitian menganalisis diperlukan untuk mengatasi ketidakpastian dimasa yang akan datang terutama kepastian dalam penjualan.

Adapun tujuan dari perencanaan produksi adalah :

1. Untuk mencapai tingkat keuntungan tertentu
2. Untuk memeriksa pangsa pasar tertentu
3. Untuk mengupayakan perusahaan tersebut tetap bekerja pada tingkat produksi yang efisien.
4. Untuk mengusahakan dan mempertahankan supaya pekerjaan dan kesempatan kerja yang sudah ada tetap pada tingkat prima.
5. Untuk mengefisienkan fasilitas yang ada pada perusahaan yang bersangkutan (Ahyari, 1993: 37)

Secara umum konsumen menginginkan barang-barang dalam jumlah yang cukup dengan kualitas yang baik dan harga yang terjangkau. Di lain pihak bagi pekerja mereka menginginkan agar perusahaan dapat mempertahankan kesempatan kerja yang sudah ada dan dapat menciptakan lingkungan kerja yang sehat serta adanya jaminan keselamatan kerja pada kapasitas yang optimal, diperolehnya tingkat keuntungan tertentu serta dapat digunakan faktor produksi yang ada seefisien mungkin. Dari uraian diatas ditarik suatu kesimpulan bahwa tujuan dari perencanaan produksi adalah menentukan jumlah produk dalam waktu tertentu dengan kualitas maupun kuantitas yang diharapkan dengan keuntungan yang maksimal.

### **Efisiensi Biaya Produksi**

Biaya produksi merupakan hasil penjumlahan antara biaya bahan baku, biaya overhead pabrik dan biaya tenaga kerja langsung. Sedangkan efisiensi biaya adalah biaya produksi yang dibuat agar hasil yang diperoleh minimal. Adapun biaya-biaya dalam keputusan persediaan bahan baku adalah sebagai berikut (Arman H.N, 1999) :

1. Biaya Pembelian  
Biaya pembelian adalah biaya untuk membeli barang. Besarnya biaya ini tergantung pada jumlah barang yang dibeli dan harga satu barang. Biaya pembelian menjadi faktor penting ketika harga barang yang dibeli tergantung pada ukuran pembelian.
2. Biaya Pemesanan  
Biaya pemesanan ada 2 jenis sesuai asal-usul barang yaitu biaya pemesanan bila barang yang diperlukan diperoleh dari pihak luar dan biaya pembuatan.
3. Biaya Penyimpanan  
Biaya penyimpanan adalah semua pengeluaran yang timbul akibat penyimpanan barang.
4. Biaya Kekurangan Persediaan  
Bila perusahaan kehabisan barang pada saat ada permintaan, maka akan terjadi keadaan kekurangan persediaan. Keadaan ini akan menimbulkan kerugian karena proses produksi akan terganggu dan kehilangan kesempatan untuk mendapatkan keuntungan atau kehilangan konsumen pelanggan karena kecewa sehingga beralih ketempat lain.

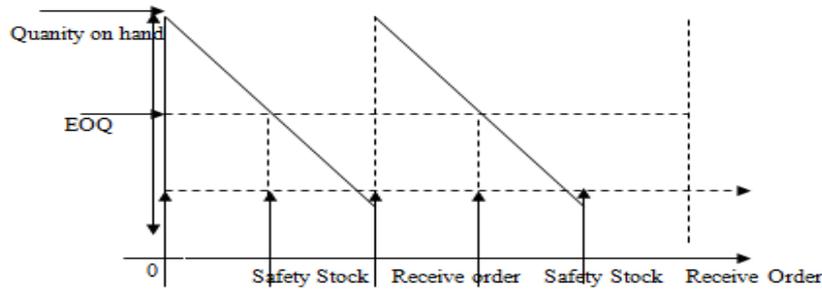
### **Model Economic Order Quantity (EOQ)**

EOQ merupakan salah satu teknik kontrol persediaan yang paling tua dan banyak dikenal. Model ini digunakan untuk menentukan ukuran pesanan yang akan meminimasi jumlah biaya persediaan tahunan dan biaya pesan tahunan.

Model dasar EOQ mempunyai asumsi sebagai berikut (Arman H.N, 1999):

1. Hanya mencakup satu item yang mana harga bahan baku konstan.
2. Kebutuhan per tahun diketahui dan bersifat konstan
3. Tingkat penggunaan item tersebut konstan

4. *Lead time* tidak berubah-ubah



Gambar 1. Grafik sistem siklus inventory EOQ sederhana

Dalam kaitannya dengan model persediaan diatas, biaya-biaya yang relevan dengan model ini adalah biaya pesanan dan biaya penyimpanan. Jika  $D$  adalah permintaan per tahun,  $Q$  adalah quantitas pemesanan dan  $S$  adalah biaya pesan per unit, maka biaya pemesanan per tahun dapat dirumuskan (Arman H.N. 1999):

$$\text{Biaya pesan per tahun} = \left( \frac{D}{Q} \right) S$$

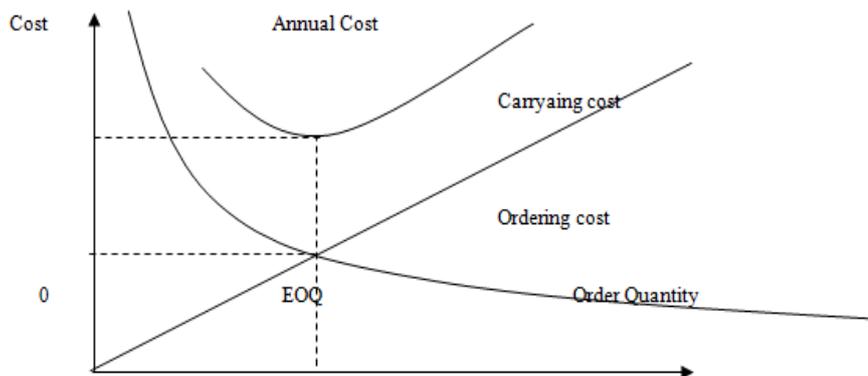
Kemudian biaya simpan tahunan dapat dihitung menjadikan jumlah rata-rata inventory (persediaan) dengan biaya simpan per unit / tahun. Dalam rata-rata inventory secara sederhana dihitung sebanyak setengah kali kuantitas pemesanan bagi banyaknya inventory dan akan berkurang secara terus hingga mencapai nol. Sehingga biaya simpan tahunan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Biaya simpan per tahun} = H = P \times I$$

Sehingga biaya simpan yang ditimbulkan dalam persediaan adalah hasil penjumlahan antara biaya simpan dan biaya pemesanan per tahun dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$TC = \frac{1}{2} QPI + DS / Q$$

Hubungan diantara biaya-biaya dalam persediaan tersebut dapat dilihat dalam grafik sebagai berikut :



Gambar 2. Kurva biaya inventory

Dalam gambar kurva grafik biaya inventory tersebut di atas, total biaya (TC) akan mencapai nilai minimum pada saat biaya simpan sama dengan biaya pesan, sehingga titik minimal kurva biaya total dapat dideferensial TC terhadap  $Q$ , yaitu :

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times D \times S}{P \times I}}$$

Keterangan :

$D$  = Jumlah permintaan

$H$  = Biaya simpan per tahun

- S = Biaya pesan per tahun
- Q = Jumlah pemesanan yang optimal
- I = Harga bahan / kg
- P = Biaya penyimpanan

**Waktu Tunggu Optimal (Lead Time)**

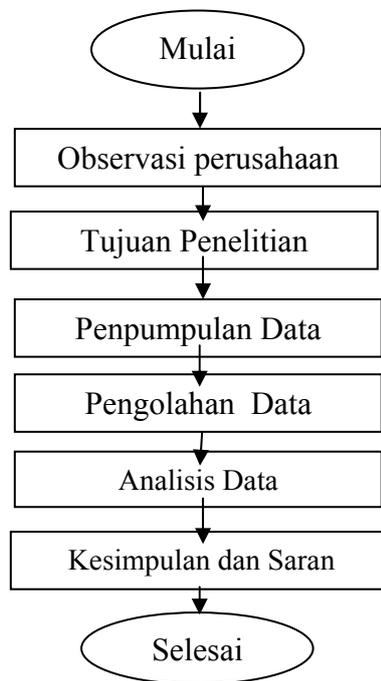
Waktu tunggu adalah jarak antara waktu pemesanan dengan waktu kedatangan bahan baku. Waktu tunggu atau waktu anjang dapat bersifat deterministic, probabilistic dan konstan, sedangkan untuk waktu anjang bahan baku dapat diasumsikan oleh perusahaan.

**METODE PENELITIAN**

**Obyek Penelitian**

Penelitian dilakukan di PT. Sinar Surya IndahTelukanGrogolSukoharjo. Sebagai obyek penelitian adalah biaya bahan baku dan bahan penong guna mencapai efisiensi biaya persediaan.

**Kerangka Penelitian**



Gambar 3 : Kerangka berpikir

Variabel yang diteliti pada penelitian ini meliputi :

1. Variabel Bebas : tenaga kerja dan waktu
2. Variabel Terikat : harga bahan baku produksi

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Alat terdiri dari : buku, pena, kalkulator, penggaris, alas tulis.
- b. Bahan terdiri dari : data-data yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

**Teknik Pengolahan**

Atas dasar data yang diperoleh, maka perhitungan / analisis untuk mencari biaya total penyimpanan masing-masing jenis barang dengan metode EOQ. Adapun proses perhitungannya adalah sebagai berikut :

2. Pembelian bahan paling ekonomis

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times D \times s}{P \times I}}$$

$$3. \text{ Frekuensi pemesanan : } \frac{D}{Q}$$

$$4. \text{ Total biaya persediaan bahan baku : } \frac{1}{2}Q.PI + S \cdot \frac{D}{Q}$$

### Analisa Data Penelitian

Analisis data dilakukan dari hasil pengolahan data, kemudiandianalisa masing-masing bahan baku utama (cotton, rayon), bahan baku penolong (*Dyestaff*) yang akhirnya dapat diketahui dan diperoleh hasil selisih biaya persediaan.

### HASIL ANALIIS DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh seperti dari pada waktu penelitian adalah data biaya harga penyimpanan bahan tahun 2013 untuk masing-masing bahan baku utama (cotton, rayon), bahan baku penolong (*Dyestaff*) seperti disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Hasil penelitian biaya bahan baku dan bahan penolong

No	Keterangan	Bahan Baku Utama (Cotton, rayon)	Bahan Penolong (Dysstaff)
1	Jumlah bahan yang dibutuhkan dalam 1 tahun	4.050.000 yard	607.500 kg
2	Harga beli bahan / unit	Rp 4,000	Rp 4000
3	Biaya pemeliharaan bahan	10%	15%
4	Biaya asuransi bahan	3%	3%
5	Pajak stock yang ada di gudang	2%	2%
6	Biaya Pengiriman pesanan bahan sampai ke gudang	Rp 450,000	Rp 100,000
7	Biaya Overhead Pabrik	Rp 1,440,000,000	Rp 1,000,000
8	Biaya Tenaga Kerja Langsung	Rp 57,300,000	Rp 15,390,000

Sumber : Data Primer Perusahaan

### Pengolahan Data

Berdasarkan data pada tabel 1 di atas kemudian dilakukan proses perhitungan untuk mencari biaya total penyimpanan masing-masing jenis barang sebagai berikut :

1. Bahan baku utama (cotton dan rayon).

1	Kebutuhan	:	4.050.000 yard
2	Harga/yard	:	Rp. 4.000/yard
3	Total biaya penyimpanan	:	15% harga rata-rata bahan
4	Total biaya pesan bahan	:	Rp 450,000
5	BOP	:	Rp 1,440,000,000
6	BTKL	:	Rp 57,300,000

Pembelian bahan paling ekonomis (EOQ)

$$\begin{aligned}
 EOQ &= \sqrt{\frac{2xD_{avg}}{P_{ri}}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \times 4.60.000 \times 450.000}{4000 \times 15\%}} \\
 &= \sqrt{6.075000.000} \\
 &= 77.942,28 \dots 77.943 \text{ yard}
 \end{aligned}$$

$$\text{Frekuensi Pemesanan : } \left(\frac{D}{Q}\right) = \frac{4.050.000}{77.943}$$

$$= 51.96 \dots 52 \text{ kali}$$

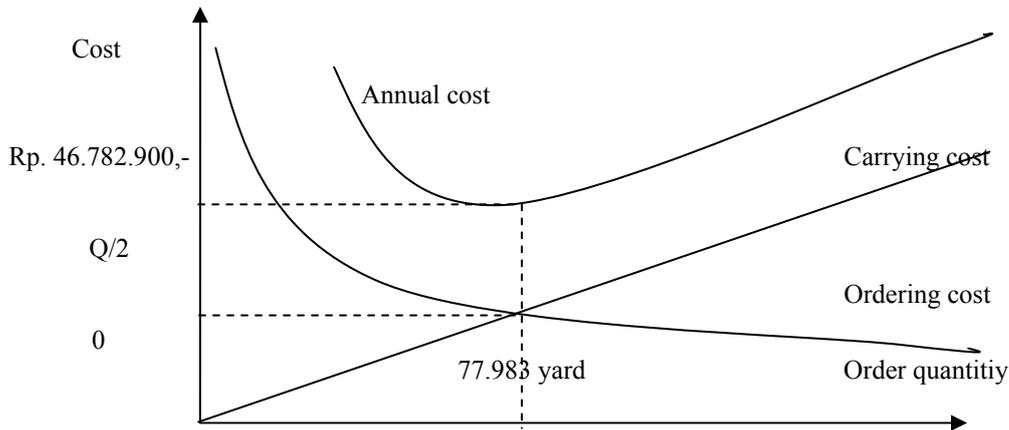
$$\text{Total biaya persediaan bahan baku} = \frac{1}{2} Q \cdot PI + S \frac{D}{Q}$$

$$= (1/2 \times 77.983 \times 600) + (\text{Rp. } 450.000,- \times 52)$$

$$= 23.382.900 + 23.400.000$$

$$= \text{Rp. } 46.782.900,-$$

$$= \text{Rp. } 46.782.900,-$$



Gambar 4. Kurva inventory bahan baku utama (cotton dan rayon)

$$\text{Biaya produksi} = \text{Biaya persediaan} + \text{Biaya Bahan baku} + \text{BTKL} + \text{BOP}$$

$$= \text{Rp. } 46.782.900,- + (77.943 \times \text{Rp. } 4.000,-) + \text{Rp. } 57.300.000,- + \text{Rp. } 1.440.000.000,-$$

$$= \text{Rp. } 1.855.845.900,-$$

## 2. Bahan baku penolong (dysetaff)

1	Kebutuhan	:	607.500 kg
2	Harga/yard	:	Rp. 4.00/kg
3	Total biaya penyimpanan	:	20% harga rata-rata bahan
4	Total biaya pesan bahan	:	Rp 100,000
5	BOP	:	Rp 1,000,000
6	BTKL	:	Rp 15,390,000

Pembelian bahan paling ekonomis (EOQ)

Pembelian bahan paling ekonomis (EOQ)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times D \times s}{F \times i}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 607.500 \times 100.000}{400 \times 20\%}}$$

$$= \sqrt{1.518.750.000}$$

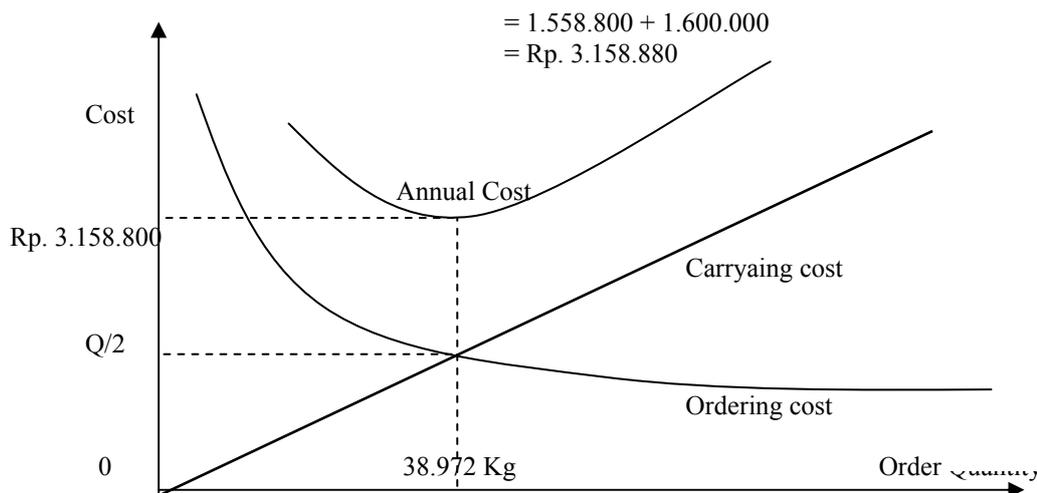
$$= 38.971,14 \dots 38.972$$

$$\text{Frekuensi Pemesanan : } \left(\frac{D}{Q}\right) = \frac{607.500}{38.972}$$

$$= 15,59 \dots 16 \text{ kali}$$

$$\text{Total biaya persediaan bahan baku : } \frac{1}{2} Q \cdot PI + S \frac{D}{Q}$$

$$= (1/2 \times 38.972 \times 80) + (\text{Rp. } 100.000,- \times 16)$$



Gambar 5. Kurva inventory bahan baku penolong (dyestaff)

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya produksi} &= \text{Biaya persediaan} + \text{Biaya Bahan baku} + \text{BTKL} + \text{BOP} \\
 &= \text{Rp. 3.158.880,-} + (38.792 \times \text{Rp. 400,-}) + \text{Rp. 15.930.000,-} + \text{Rp. 1.000.000,-} \\
 &= \text{Rp. 35.137.680,-}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Data hasil pengolahan dan kebijakan pabrik

No	Keterangan	Hasil Pengolahan		Kebijakan Pabrik	
		Cotton/Rayon	Dyestaff	Cotton/Rayon	Dyestaff
1	Pembelian bahan paling ekonomis	77.983 yard	38.972 kg	-	-
2	Frekuensi pemasaran	52 kali	16 kali	62 kali	21 kali
3	Total biaya persediaan	Rp 46,782,900	Rp 3,158,880	Rp 61,620,000	Rp 5,250,000
4	Biaya produksi	Rp 1,855,854,900	Rp35,137,680	Rp1,990,000,000	Rp42,300,000

### Analisis Data

#### a. Bahan baku utama (Cotton, Rayon)

Dengan metode jumlah pemesanan ekonomis diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \text{Total biaya persediaan} &= \text{Rp } 46,782,900 \\
 \text{Frekwensi pemesanan} &= 52 \text{ kali} \\
 \text{Biaya produksi} &= \text{Rp}1,855,854,900
 \end{aligned}$$

Sedangkan kebijakan pabrik

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya persediaan} &= \text{Rp } 61,620,000 \\
 \text{Frekwensi pemesanan} &= 63 \text{ kali} \\
 \text{Biaya produksi} &= \text{Rp}1,990,000,000
 \end{aligned}$$

Jadi selisih biaya persediaan

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp } 61,620,000 - \text{Rp } 46,782,900 \\
 &= \text{Rp } 14,837,100 \\
 &= \text{Rp } 1,990,000,000 - \text{Rp } 1,855,854,900
 \end{aligned}$$

Dan selisih biaya produksi

$$= \text{Rp } 134,145,100$$

b. Bahan baku penolong (dyestaff)

Dengan menggunakan metode jumlah pemesanan ekonomis diperoleh :

Total biaya persediaan = Rp 3,158,880

Frekwensi pemesanan = 16 kali

Biaya produksi = Rp 35,137,680

Sedangkan kebijakan pabrik

Biaya persediaan = Rp 5,250,000

Frekwensi pemesanan = 21 kali

Biaya produksi = Rp 42,300,000,000

Jadi selisih biaya persediaan

$$= \text{Rp } 5,250,000 - \text{Rp } 3,158,880$$

$$= \text{Rp } 2,091,120$$

Dan selisih biaya produksi = Rp 42,300,000 – Rp 35,137,680

$$= \text{Rp } 7,162,320$$

Tabel 3. Hasil Selisih Biaya Persediaan

No	Jenis Bahan	Selisih Biaya Persediaan	Selisih Biaya Produksi
1	Bahan baku utama (Cotton & Rayon)	Rp 14,837,100	Rp 134,145,100
2	Bahan baku penolong (Dyestaff)	Rp 2,091,120	Rp 7,162,320
<b>Total</b>		Rp 16,928,220	Rp 141,307,420

Dari hasil perhitungan di atas mendapatkan selisih biaya persediaan yang cukup banyak sehingga akan mengurangi biaya bahan baku yang nantinya akan diproses. Sedangkan untuk biaya produksi juga mendapatkan selisih yang cukup besar sehingga efisiensi biaya produksi dapat tercapai.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan menggunakan selisih biaya persediaan dari masing-masing EOQ, akan dapat diperoleh selisih biaya persediaan dari masing-masing bahan yang digunakan oleh PT. SSI TelukanGrogolSukoharjo yaitu sebagai berikut :
  - a. Untuk bahan baku utama (cotton, rayon) :  
Selisih biaya persediaan = Rp. 14.837.100,-  
Selisih biaya produksi = Rp. 134.145.100,-
  - b. Untuk bahan baku penolong (distaff) :  
Selisih biaya persediaan = Rp. 2.091.120,-  
Selisih biaya produksi = Rp. 7.162.320,-Sehingga diperoleh selisih biaya persediaan total sebesar Rp. 16.928.220,- dengan begitu nantinya dapat mengefisienkan biaya produksi.
2. Dengan metode yang sama juga didapat efisiensi biaya produksi total yaitu sebesar Rp. 134.145.100,- (untuk bahan baku utama) + Rp. 7.162.320,- (untuk bahan baku penolong) = Rp. 141.307.420,- yang dihasilkan sebesar Rp. 141.307.420,-

## DAFTAR PUSTAKA

- Arman H.N. 1999. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Guna Widya, Jakarta.
- Assauri, 1993, *Manajemen Industri dan Operasi*, Edisi Keempat, Lembaga Penerbitan, FE UI, Jakarta.
- Ahyari, 1983, *Manajemen Produksi II (Pengendalian Produksi)*, Edisi Ke-4, BPFE, Yogyakarta.
- Handoko H. 1994, *Dasar-Dasar Manajemen Produksi dan Operasi, Edisi -1*, BPFE, Yogyakarta.
- Nurmianto, Eko, 1996. *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya*.ITS.
- Wignjosebroto, Sritomo. *Teknik, Tata Cara, dan Pengukuran Kerja*. Laboratorium Ergonomi dan Teknik Tata Cara. Teknik Industri ITS. Surabaya.
- \_\_\_\_\_, 1996. *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*. Jakarta : PT. Guna Widya.

## **DESIGN OF EXPERIMENT (DOE) UNTUK MENDAPATKAN KOMPOSISI TERBAIK METHANE BERBAHAN SAMPAH PADAT PERKOTAAN.**

**Agus Mansur<sup>1</sup>, Agus Taufik<sup>2</sup>, Dian Janari<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta

Email : [gus\\_mansur@uii.ac.id](mailto:gus_mansur@uii.ac.id), [kerjadian@gamil.com](mailto:kerjadian@gamil.com)

### **ABSTRACT**

*The increasing amount of municipal solid waste (SPP), which is produced by the community, will decrease the quality of people's lives. Thus, a solution is required in order to be proceeded as a beneficial action for the society. Biogas is obtained by degrading organic material such as SPP-trap by microorganisms in the conditions which is relatively lack of oxygen. However, to get the optimum biogas, there should be a wide variety of experiments on the mixture ratio of various materials, such as water, cow dung and other organic waste solids. It is possible; adding the other materials in a certain condition can improve the scale of success of methane compounds formation. Design Of Experiment is an alternative statistics approach that can be done to formulate the optimal composition of the compounds, and it is expected to produce methane which can be a high-quality fuel. Based on data analysis that has been done, it can be concluded that factors which significantly affect the volume of the methane gas that is produced from the process are cow dung and wet garbage. The combination of optimum factor levels, based on the analysis of Signal to Noise Ratio and value effect of each factor on the methane gas volume produces the best formulations, which are A1, B2, C2, D1, E2, F1, G2 with composition of 20 grams cow dung, 12 ml of inkoulumus, 12 grams of wet garbage, 5 ml of distilled water, 82% N<sub>2</sub>, 20% CO<sub>2</sub> gas, and 25 rpm of mortar rounds.*

*Keywords: DOE, SPP, Optimal.*

### **PENDAHULUAN**

Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak dan gas, namun berkurangnya cadangan minyak, penghapusan subsidi menyebabkan harga minyak naik dan kualitas lingkungan menurun akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan. Salah satu dari energi terbarukan adalah biogas, biogas memiliki peluang yang besar dalam pengembangannya. Kuantitas sampah padat perkotaan (SPP) di Indonesia cenderung mengalami peningkatan setiap tahun seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan laju ekonomi yang sangat tinggi. Dengan asumsi setiap orang membuang 1,5 kg SPP/hari, maka ada sekitar 300 ribu ton SPP yang dibuang oleh seluruh penduduk Indonesia setiap harinya dimana lebih dari separonya ada di Pulau Jawa. Dari jumlah tersebut diperkirakan 15% merupakan sampah organik padat (SOP) yang berasal dari kegiatan rumah tangga, restoran, perhotelan dan aktivitas lain. Pembuangan SOP ke lingkungan tanpa melalui pengolahan akan menyebabkan pencemaran air dan tanah serta menjadi sumber emisi gas rumah kaca (*greenhouse gases*) berupa gas metana. Selain itu, proses pengelolaan sampah dari produsen SPP ke tempat pembuangan akhir (TPA) membutuhkan biayacukup besar baik itu dari produsen sampah (rumah tangga, restoran, perhotelan) maupun dari anggaran pemerintah. Pemanfaatan SPP sebagai bahan baku pembangkitan energi biogas merupakan salah satu solusi efektif dalam mengatasi kedua permasalahan tersebut.

Teknologi pembangkitan energi biogas dikhususkan untuk pengolahan SOP melalui proses yang dikenal dengan *anaerobic digestion* yaitu proses pembusukan (*degradation*) senyawa organik menjadi biogas (terdiri atas gas metana dan karbondioksida) serta senyawa organik yang lebih stabil sebagai pupuk organik. Proses *anaerobic digestion* untuk memproduksi biogas dari bahan organik dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: (1) substrat yang mengalami fermentasi adalah substrat yang baik (Winarno, 1992); (2) suhu pada proses fermentasi anaerob sangat peka terhadap perubahan suhu. (Wellinger and Lindeberg, 1999) sehingga peningkatan suhu dapat meningkatkan produksi biogas (Metcalf dan Eddy 2003; NAS 1981; Bitton 1999; Willinger 1999); (3) pH yang baik digunakan dalam proses perombakan anaerob adalah pH netral antara 6,6-7,6 (Ikbal et al 2003; Kadarwati 2003; Reith et al. 2002); (4) *Volatile solid* (VS) Volatile Solids merupakan bahan makanan untuk proses hidrolisis dan pembentukan asam secara anaerob (Karki et al. 1994); (5) *Total solid* adalah padatan yang diukur berdasarkan jumlah padatan (mg/l) yang tersisa pada pemanasan suhu 103-105°C (Isa.etal.,1980); (6) *hydraulic retention time* (HRT) HRT adalah lamanya substrat berada dalam reaktor sebelum keluar sebagai hasil olahan (effluent) (Kida et al. 1990).

## **METODE PENELITIAN**

### **Objek Penelitian**

Objek penelitian adalah mengetahui kapasitas volume kandungan gas metahene, penelitian dilakukan di laboratrium Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia. Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah kapasitas volume gas methane.

### **Jenis dan Sumber Data**

Data primer adalah data penelitian lapangan yang diperoleh dari aktivitas yang dilakukan pada penelitian sebelumnya. Data primer yang dipakai sebagai variabel respon adalah kapasitas volume kandungan gas methane, data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung baik dari buku-buku, literature penelitian yang berhubungan dengan pembuatan gas berbau limbah, jurnal, majalah dan data-data lain yang dapat mendukung penelitian ini.

### **Bahan dan alat**

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian adalah: sampah organik padatan, inokulum kotoran sapi, aquadest. Sedangkan alat yang dipakai adalah: blender, furnace, pengaduk magnet, alat-alat gelas, oven, digester, dan instrumen untuk karakterisasi adsorben.

### **Proses Eksperimen**

Langkah-langkah proses eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Campuran sampah yang diambil dari rumah tangga dan restoran dipisahkan komponen non organiknya kemudian dikecilkan ukurannya sampai berukuran 2 mm.
2. 10ml dan 12 ml inokulum yang telah disiapkan kemudian memasukkan ke dalam botol reaktor.
3. Selanjutnya ditambahkan campuran air, kotoran sapi dan sampah organik padatan dengan perbandingan sesuai level faktor ke dalam botol dan sambil diaduk untuk membuat campuran homogen.
4. Melakukan pengamatan suhu dan pH campuran pada botol untuk terus homogen.
5. Botol penampung yang sudah disiapkan ditutup dengan karet sumbat dan dirapatkan dengan lem kaca silicon.
6. Botol penampung kemudian direndam di dalam air untuk memastikan tidak ada kebocoran pada karet sumbat.
7. Penambahan volume gas pada botol diukur setiap hari, dimulai 1 x 24 jam sejak botol ditutup. Pengukuran dilakukan dengan cara menyuntikkan jarum syringe menembus karet sumbat.
8. Melakukan pengamatan perubahan posisi *handle syringe* menunjukkan penambahan volume gas dari proses fermentasi.
9. Bekas suntikan jarum ditutup dengan menggunakan lem kaca silicon, dan
10. Merendam botol ke dalam air selama 2 menit (untuk memastikan karet sumbat rapat).
11. Mengambil kapasitas volume gas pada hari ke 30.
12. Melakukan pengulangan empat kali campuran sesuai dengan level faktor.

### **Identifikasi Variabel Penelitian**

Variabel respon yang dipilih adalah volume gas methane.

### **Metode Pengumpulan Data**

Metode yang diperlukan dalam pengumpulan data penelitian melalui. Penelitian lapangan merupakan usaha pengumpulan data faktual dan informasi secara intensif dan disertai dengan analisis dan pengujian atas semua data yang dikumpulkan dan penelitian literatur merupakan upaya mengumpulkan data dengan studi Kepustakaan yang dilakukan untuk memperoleh data dan informasi yang akan digunakan sebagai referensi sebagai landasan teori, sistematika penulisan, dan kerangka berfikir alamiah yang diambil dari literatur serta laporan – laporan sebelumnya yang mendukung terhadap penelitian yang dilakukan.

### **Perancangan Eksperimen**

Perancangan eksperimen merupakan penyediaan informasi yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen. Tahap-tahap yang dilakukan pada perancangan eksperimen adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan karakteristik kualitas produk yang akan diteliti.
2. Identifikasi dan pemilihan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas.

3. Penentuan faktor-faktor kendali dan faktor noise serta penentuan level faktor.
4. Pemilihan matriks Orthogonal untuk faktor kendali (Inner Array) dan faktor tak terkendali (Outer Array).
5. Penentuan matrik kombinasi (Product Array).

### Analisis Hasil Eksperimen

Dalam tahap pengolahan data dilakukan penganalisaan hasil pengujian eksperimen secara statistik. Prosedur analisis hasil eksperimen dapat dijelaskan sebagai berikut :

Tahap – tahap analisis hasil eksperimen yaitu :

**Uji normalitas data**, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah data pengamatan berdistribusi normal atau tidak (Ross, 1998). Perhitungan Chi-kuadrat dilakukan dengan rumus.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \left( \frac{O_i - E_i}{E_i} \right) \dots\dots\dots(1)$$

**Uji homogenitas variansi**, pengujian ini dilakukan untuk menguji homogenitas k buah (k 2) variansi populasi yang berdistribusi normal adalah dengan uji Bartlett (Peace, 1993).

$$\chi^2_{hitung} = (\ln 10) \{ B - \sum (n_i - 1) \log s_i^2 \} \dots\dots\dots(2)$$

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^t y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^t (y_i)^2 / n \right) \right] \dots\dots\dots(3)$$

$$B = (\log s^2) \sum (n_i - 1) \dots\dots\dots(4)$$

$$s^2 = \frac{\sum (n_i - 1) S_i^2}{\sum (n_i - 1)} \dots\dots\dots(5)$$

**Analisis variansi (ANOVA)**, analisis variansi pada metode taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. Analisis variansi adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap factor pada semua pengukuran respon (Ross, 1998).

$$\bar{y}_i = \frac{\sum y_i}{n_i} \dots\dots\dots(6)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \dots\dots\dots(7)$$

$$ST = \sum y^2 \dots\dots\dots(8)$$

$$Sm = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots(9)$$

$$SA = n_{A1} \times \bar{A1}^2 + n_{A2} \times \bar{A2}^2 - Sm \dots\dots\dots(10)$$

$$Se = ST - Sm - SA - SB - SC - SD - SE - SF - SG \dots\dots\dots(11)$$

$$Mq_A = \frac{SA}{v_{fA}} \dots\dots\dots(12)$$

$$F_{ratio} = \frac{Mq}{Mqe} \dots\dots\dots(13)$$

$$S' = S - (v_{fA} \times Mq_e) \dots\dots\dots(14)$$

$$\rho = (S'/ST) \times 100 \% \dots\dots\dots(15)$$

**Signal to Noise Ratio ( SNR ) hasil eksperimen dan Efek Tiap Faktor**, S/N ratio adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. Penggunaan S/N ratio untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. S/N ratio terdiri dari beberapa tipe karakteristik kualitas (Peace, 1993), yaitu:

1. Smaller-the-Better (STB)

Karakteristik kualitas dimana semakin kecil nilainya, maka kualitas semakin baik. Nilai S/N untuk karakteristik smaller-the-better yaitu:

$$S / N_{STB} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right] \dots\dots\dots(16)$$

2. Larger-the-Better (LTB)

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik. Nilai S/N untuk karakteristik larger-the-better yaitu:

$$S / N_{LTB} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right] \dots\dots\dots(17)$$

3. Nominal-the-Better (NTB)

Karakteristik kualitas dimana ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya mendekati nilai nominal yang ditetapkan maka kualitas semakin baik. Nilai S/N untuk karakteristik nominal-the-better yaitu:

$$S / N_{NTB} = -10 \log \left[ \frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots\dots\dots(18)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1} \dots\dots\dots(19)$$

**PEMBAHASAN**

**Identifikasi dan pemilihan faktor**

Faktor-faktor yang dilibatkan dalam eksperimen ini adalah :

4. Kotoran sapi yang digunakan adalah 20gr dan 22gr, faktor level tersebut digunakan untuk melihat seberapa besar peningkatan volume gas. apabila dibawah 20 gr peningkatan volume tidak terlalu dan apabila diatas peningkatan volume terlalu jauh.
5. Inkoulumus yang digunakan adalah 10ml dan 12ml, faktor tersebut disesuaikan dengan perbandingan sampah basah.
6. Sampah basah yang digunakan adalah 10gr dan 12 gr, faktor tersebut disesuaikan dengan kotoran sapi dengan perbandingan 1:2
7. Aquades yang digunakan adalah 5ml dan 7ml, apabila dibawah 5ml campuran terlalu banyak padatan sedangkan kalau diatas 7ml campuran terlalu banyak cair.
8. Gas N2 yang digunakan adalah 80% dan 82%, apabila dibawah 80% tekanan gas didalam botol reaksi tidak vacuum sedangkan kalau diatas 82% tidak sesuai dengan kapasitas botol reaksi.
9. Gas Co2 yang digunakan adalah 20% dan 22%, apabila dibawah 20% tekanan gas didalam botol reaksi tidak vacuum sedangkan kalau diatas 22% tidak sesuai dengan kapasitas botol reaksi.
10. Putaran adukan yang digunakan untuk homogen adalah 30 Rpm dan 25 Rpm.

**Tabel 1** Faktor-faktor Kendali

No	Faktor	Level 1	Level 2
1	Kotoran sapi	20gr	22gr
2	Inkoulumus	10ml	12ml
3	Sampah basah	10gr	12gr
4	Aquades	5ml	7ml
5	gas N2	80%	82%
6	gas Co2	20%	22%
7	Putaran adukan	30 Rpm	25Rpm

## Pelaksanaan eksperimen

pelaksanaan eksperimen untuk mencari nilai daya serap air menggunakan L8 untuk inner array. Data hasil eksperimen ditunjukkan oleh tabel dibawah ini :

**Tabel 2** Data pengujian daya serap air (mL)

Trial	1	2	3	4	5	6	7	Y1	Y2	Y3	Y4
1	1	1	1	1	1	1	1	14,5	12,5	13,6	10,8
2	1	1	1	2	2	2	2	13,7	13,8	12,9	11,2
3	1	2	2	1	1	2	2	12,5	10,8	12,5	12,1
4	1	2	2	2	2	1	1	13,8	13,8	11,8	12,5
5	2	1	2	1	2	1	2	10,8	10,8	12,3	13,8
6	2	1	2	2	1	2	1	11,7	11,2	11	11,2
7	2	2	1	1	2	2	1	12,5	12,1	12,7	12,1
8	2	2	1	2	1	1	2	12,7	11,8	12,1	13,8

## Pengolahan data

**1. Uji Normalitas**, Hasil perhitungan uji normalitas dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dapat disimpulkan bahwa data mengikuti distribusi normal dengan nilai  $p=0,4$  ( $p>0,05$ ).

**2. Uji Homogenitas**, Sedangkan uji homogenitas dapat ditarik kesimpulan bahwa data kelompok memiliki varians yang sama yang ditunjukkan oleh nilai nilai  $p$  sebesar  $0,194$  pada taraf signifikansi  $0,05$ .

**3. Analisis Variansi (ANOVA)**, dari perhitungan di peroleh nilai daya serap air dari faktor A, B, C, D, E, F dan G masing-masing mempunyai  $F_{hitung}$  sebesar  $6,74$  ;  $0,52$  ;  $5,72$  ;  $0,24$  ;  $1,21$  ;  $1,97$  dan  $0,00$  dan  $F_{tabel} = 4,26$ . Dari ketujuh faktor di atas, faktor A dan faktor C mempunyai nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak, berarti faktor tersebut berpengaruh terhadap volume gas methane.

**4. Signal to Noise Ratio ( SNR )** hasil eksperimen dan Efek Tiap Faktor, berdasarkan analisis Signal to Noise Ratio dan nilai efek tiap faktor untuk respon volume gas methane diperoleh formulasi terbaiknya adalah A1,B2,C2,D1,E2,F1,G2. dengan komposisi kotoran sapi 20 gr, inkoulumus 12 mL, sampah basah 12 gr, aquades 5 ml, gas N2 82%, gas Co2 20% dan putaran adukan 25 Rpm.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan. Faktor-faktor kendali yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon volume gas methane yaitu kotoran sapi dan sampah basah. Kombinasi level faktor optimum berdasarkan analisis Signal to Noise Ratio dan nilai efek tiap faktor untuk respon volume gas methane diperoleh formulasi terbaiknya adalah A1,B2,C2,D1,E2,F1,G2 dengan komposisi kotoran sapi 20 gr, inkoulumus 12 mL, sampah basah 12 gr, aquades 5 ml, gas N2 82%, gas Co2 20% dan putaran adukan 25 Rpm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bitton, G. (1999). Wastewater Microbiology.2nd ed. Wiley Liss Inc. New York
- Deublein, D. and Steinhauser, A, (2008). "Biogas from Waste and Renewable Resource," Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA ,Weinheim.
- Ikbal, Tang, Y., Fujimura, Y., Shigematsu, T., Morimura, S., and Kida, K. (2003). " The affecting factors for optimization of mesophilic aceticlastic methanogenesis." J. Water Treatment Biology, **39**, 189-197
- Isa, Z., Yong, W. M and Singh, M. M. (1980). "Manual of Laboratory Methodes for Chemical Analysis of RubberEffluent". Kuala Lumpur, Rubber Research Institute of Malaysia.
- Kadarwati, Sri, (2003). "Studi Pembuatan Biogas dari Kotoran Kuda dan Sampah Organik Skala Laboratorium." Publikasi P3TEK Vol. 2, No.1
- Karki, A. B., Gautam, K. M. and Karki,A. (1994). "Biogas for Sustainable Development in Nepal." Paper presented at Second International Conference on Science ant Technology for Poverty

- Alleviation organized by Royal Nepal Academy for Science and Technology (RONAST), Kathmandu, Nepal.
- Kida, K., Morimura, S., Sonoda, Y., Obe M., and Kondo, T. (1990). Support media for microbial adhesion in an anaerobic fluidized-bed reactor. *J. Ferment. Bioeng.* **69**, 354~359
- Metcalf & Eddy Inc., (1991). "Wastewater Engineering Treatment," Disposal, Reuse (3rd Ed). McGraw-Hill International Edition
- National Academy of Sciences (NAS) (1981). "Methane generation from human, animal, and agricultural wastes." Second edition. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 131p.
- Peace, G. S. (1993). *Taguchi Methods*. Addison - Wesley Publishing Company.
- Ross, P.J.(1998). *Taguchi Techniques For Quality Engineering*. McGraw-Hill,Inc., New York.
- Reith, J.H., H. den Uil, H. van Veen, W.T.A.M. de Laat, Niessen, J.J., de Jong, E., Elbersen, H.W., Weusthuis, R., van Dijken, J.P. and Raamsdonk, L. (2002). "Co-production of bio-ethanol, electricity and heat from biomass residues." Proceedings Proceeding sof the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, The Netherlands. pp. 1118 - 1123.
- Wellinger A, & A. Lindeberg (1999). "Biogas upgrading and utilization." *IEA Bioenergy Task 24: energy from biological conversion of organik wastes*
- Winarno, F.G., (1992). "Kimia Pangan dan Nutrisi." Penerbit PT Gramedia Jakarta.