

Jurnal Teknologi **TECHNOSCIENTIA**

Vol. 10 No. 2 Februari 2018



SUSUNAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Dr. Ir. Sudarsono, M.T.
Ketua Penyunting : Dr. Edhy Sutanta, S.T., M.Kom.
Sekretaris Penyunting : Safriyudin, S.T., M.T.
Bendahara : Ari Santoso, S.T.

Reviewer :

1. Ellyawan Setyo Arbintarso, M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Ir. Sudarsono, M.T.
3. Dr. Ir. Amir Hamzah, M.T.
4. Dr. Ir. Hj. Titin Isna Oesman, M.M.
5. Dr. Sri Mulyaningsih, S.T., M.T.

Peer Reviewer :

1. Dr. Asti Dwi Irfianti, S.Kom., M.Kom. (UPN Surabaya)
2. Dr. Bambang Sugiantoro, M.T. (UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta)
3. Dr. Darwan, S.Kom., M.Kom. (IAIN Syekh Nurjati Cirebon)
4. Dr. Hermawan Syahputra, S.Si., M.Si. (Universitas Negeri Medan)
5. Dr. Heri Setiawan, S.Kom., M.Kom. (Univ. Indo Global Mandiri Palembang)
6. Dr. I Gede Aris Gunadi, S.Si. M.Kom. (Univ. Pendidikan Ganesha Singaraja)
7. Dr. Ir. Muhammad Hasbi, M.Kom. (STMIK Sinar Nusantara Surakarta)
8. Dr. Jumi, S.Kom., M.Kom. (Politeknik Negeri Semarang)
9. Dr. Sri Andayani, S.Si., M.Kom. (Universitas Negeri Yogyakarta)
10. Dr. WijangWidhiarso, S.Kom., M.Kom. (STMIK MDP Palembang)

Dewan Redaksi :

1. Rokhana Dwi Bakti, S.Si., M.Si.
2. Rosalia Arum Kumalasanti, S.T., M.T.
3. Dra. Yui Pratiwi., M.Si.
4. Muhammad Andang Novianta, S.T., M.T.
5. Joko Triyono, S.Kom., M.Cs.

Redaksi Pelaksana :

1. Aji Pranoto, S.Pd., M.Pd.
2. Dra. Suprih Ambawani, M.Pd.
3. Erna Kumalasari Nurnawati, S.T., M.T.
4. Blana Radetyana, S.Kom.I

DAFTAR ISI

	Hal:
Analisis Stabilitas dan Pemilihan Perkuatan Lereng pada Ruas Jalan Pemuda KM. 3 Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara Isramyano Yatjong, Fachryano	117-126
Penurunan BOD pada Biogas Kotoran Sapi Campuran Limbah Cair Rumah Potong Hewan (RPH) dengan Variasi Kecepatan dan Lama Pengadukan Rosiana Indrawati	127-134
Pengolahan Limbah Rumah Tangga dengan Menggunakan Buffled Up-Flow Reactor Wuryani Artiningsih, Rita Dewi Triastianti	135-145
Pengaruh Variasi Konsentrasi Limbah terhadap Penurunan Kandungan Tembaga pada Pengolahan Limbah Cair Proses Etching dengan Metode Elektrolisis Fifin Hindarti	146-154
Pola Sebaran Batubara Formasi Nanggulan Kabupaten Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi, Dina Tania	155-162
Maturity Level Domain Planning and Organizing dengan COBIT 4.1 pada PT Dinamika Putra Yogiek Indra Kurniawan	163-170
Fabrication, Mechanical Properties, and Interface Structure Of Ramie Fiber Composite Sudarsono	171-175
Analisis Petrografi Batugamping Formasi Sentolo Sebagai Batuan Reservoir Hidrokarbon Daerah Karang Sari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulonprogo Danis Agoes Wiloso, Khoirunnada	176-185
Studi Karakteristik Pembakaran Minyak Pirolisis Plastik Menggunakan Steam-Atomizing Burner Muhammad Sigit Cahyono, Ucik Ika Fenti Styana	186-191
Perbandingan Efektivitas Penyerapan Pb dan Co di Udara pada Tanaman Angsana (Pterocarpus Indicus) dan Glodogan Tiang (Polyalthia Longifera) Sebagai Upaya Biofilter Udara (Studi Kasus di Jalan Affandi Yogyakarta) Sri Hastutiningrum, Yuli Pratiwi, Jefriyadi Gurusinga	192-200
Evaluasi Kemampuan Transformator Daya pada Gardu Induk 150 KV Wates Muhammad Suyanto, Ridwan Setyowibowo, Prasetyono Eko Pambudi	201-207
Kendali Kecepatan Motor pada Robot Dengan Empat Roda Omni Menggunakan Metode PID Aryono Priyambudi, Beny Firman, Samuel Kristiyana	208-216

ANALISIS STABILITAS DAN PEMILIHAN PERKUATAN LERENG PADA RUAS JALAN PEMUDA KM. 3 KABUPATEN KOLAKA PROVINSI SULAWESI TENGGARA

Isramyano Yatjong¹, Fachryano²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil FST Universitas Sembilanbelas November Kolaka
Jl. Pemuda, Taha, Kolaka, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara, 93561
Email:¹isramyanost@yahoo.co.id, ²fachryano1911@gmail.com

Masuk: 1 Desember 2017, Revisi masuk: 30 Desember 2017, Diterima: 15 Januari 2018

ABSTRACT

Slope conditions have been excavated due to widening of the road from the toe to the top of the slope. High rainfall intensity causes erosion along the slope surface and circular landslide on the slope. Geotechnical investigation was conducted to obtain data of physical and mechanical properties of soil in landslide area. Slope geometry excavated based on field conditions. Slope stability is based on a safety factor of 1,3 using the Bishop limit equilibrium method via Slide v.06 and finite element method through Phase2 v.08 software and provides slope reinforcement method. The result of slope stability analysis using Slide v.06 is the value of critical safety factor equal to 1,009 with the landslide area of the first bench and the second bench. While the results of the analysis using the Phase2 v.08 is the value of critical safety factor equal to 0,980 with the landslide area of the first bench and the second bench. Both critical safety factors indicate unstable before to slope reinforcement that is still below the permit SF of 1,30 so that reinforcement is required stone retaining wall, pipe installation on slope face, make a water trench, planting and maintain vegetation at the top of the slope.

Keywords: *phase2, reinforcement, safety, slide, slope.*

INTISARI

Kondisi lereng telah tergal akibat pelebaran jalan mulai kaki lereng sampai puncak lereng. Intensitas hujan yang cukup tinggi menyebabkan erosi di sepanjang permukaan lereng dan longsoran busur pada badan lereng. Penyelidikan geoteknik dilakukan untuk mendapatkan data sifat fisik dan mekanik material tanah pada daerah longsoran. Geometrik lereng tergal didasarkan pada kondisi lapangan. Stabilitas lereng didasarkan pada nilai faktor keamanan sebesar 1,30 menggunakan metode keseimbangan batas Bishop melalui *software Slide v.06* dan metode elemen hingga melalui *software Phase2 v.08* dan memberikan metode penanganan perkuatan lereng. Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program *Slide v.06* yaitu nilai faktor keamanan kritis sebesar 1,009 dengan garis kelongsoran pada *bench* pertama dan *bench* kedua. Hasil analisis menggunakan program *Phase2 v.08* diperoleh nilai faktor keamanan kritis sebesar 0,980 dengan garis kelongsoran pada *bench* pertama dan *bench* kedua. Kedua faktor keamanan kritis tersebut menandakan lereng tidak stabil atau longsor sebelum dilakukan perkuatan lereng yaitu masih di bawah FK ijin sebesar 1,30 sehingga diperlukan perkuatan lereng berupa dinding penahan pasangan batu, pemasangan pipa air tanah pada badan lereng, pembuatan parit air hujan dan penanaman serta memelihara vegetasi di puncak lereng.

Kata-kata kunci: keamanan, lereng, perkuatan, *phase2*, *slide*.

PENDAHULUAN

Pada daerah penelitian, kondisi lerengnya telah tergal akibat pelebaran jalan mulai kaki lereng sampai puncak

lereng. Di atas atau puncak lereng terdapat beberapa bangunan pemerintah daerah Kolaka dan jalan aspal, sedangkan di bawah kaki lereng terdapat

badan jalan raya dan di bagian bawahnya merupakan area permukiman penduduk. Kolaka merupakan daerah yang memiliki intensitas curah hujan yang cukup tinggi di mana air hujan tersebut berinfiltrasi masuk ke dalam lereng tersebut dan menyebabkan erosi disepanjang permukaan lereng serta bertambahnya kecuraman lereng sehingga dapat mengurangi kestabilan. Penanganan perkuatan yang direncanakan pada lereng tergal tersebut yaitu struktur dinding penahan tanah menggunakan pasangan batu gunung. Seiring waktu, lereng yang belum terpasang oleh perkuatan menyebabkan di sebagian besar dari lereng yang tergal mengalami longsoran busur dan membentuk alur-alur air akibat erosi air hujan.

Beranjak dari fakta di lapangan ditemukan permasalahan dan dituangkan dalam rumusan masalah sebagai berikut:

- Bagaimana tingkat stabilitas lereng pada lokasi penelitian?
- Bagaimana bentuk penanganan terhadap potensi kelongsoran?

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

- Menganalisis stabilitas lereng pada ruas jalan Pemuda KM. 3 Kabupaten Kolaka.
- Memberikan penanganan perkuatan lereng pada ruas jalan Pemuda KM.3 Kabupaten Kolaka.

Data yang diperlukan untuk penelitian ini yaitu:

- data sekunder berupa peta lokasi
- data primer berupa pengukuran geometri lereng, pengeboran tanah dan pengujian sampel tanah di laboratorium mekanika tanah serta dokumentasi.

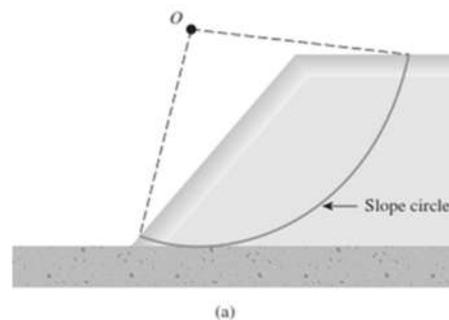
Analisis data, perhitungan, dan pemodelan terbagi menjadi tiga kegiatan utama, yaitu:

- Pendeskripsian sifat-sifat tanah.
- Perhitungan stabilitas lereng berdasarkan metode Bishop program *Slide v.06* dan metode elemen hingga *software Phase2 v.08* dengan memasukkan parameter-parameter tanah yang telah diuji.
- Analisis stabilitas lereng didasarkan pada nilai Faktor Keamanan (FK).

Setelah didapatkan tingkat stabilitas lereng hasil analisis stabilitas maka ditentukan apakah membutuhkan perkuatan lereng atau tidak. Jika dibutuhkan, dipilih metode penanganan perkuatan lereng yang cocok diterapkan sesuai nilai keamanan struktur dan kemudahan kerja.

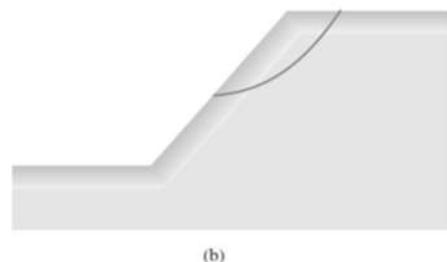
Secara umum, keruntuhan lereng dapat terjadi dari beberapa model keruntuhan yaitu:

- Bila keruntuhan terjadi sepanjang bidang gelincir dari atas (*top*) ke bawah lereng (*toe*) disebut *slope failure*/keruntuhan lereng (Gambar 1a).



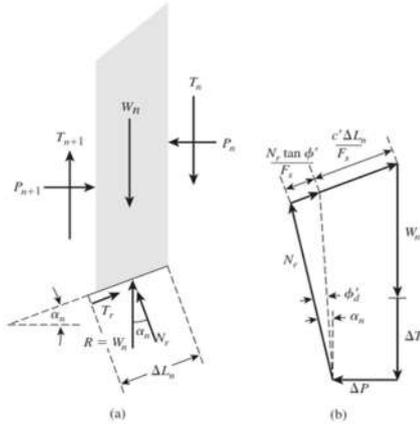
Gambar 1a. Keruntuhan lereng (Das,2010)

- Dalam keadaan tertentu, keruntuhan dapat terjadi di sebagian lereng bagian atas dinamakan *shallow slope failures*/keruntuhan dangkal (Gambar 1b).



Gambar 1b. Keruntuhan dangkal (Das, 2010)

- Bila keruntuhan terjadi sepanjang bidang gelincir mulai atas lereng (*top*) sampai melewati kaki lereng (*toe*) atau garis lingkaran busurnya keluar lereng maka disebut *base failure* /keruntuhan dasar (Gambar1c).



Gambar 3. Gaya pada salah satu irisan ke-n (Das,2010)
 a. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan ke-n
 b. Gaya kesetimbangan secara *polygon*

Pendekatan umum dalam analisis kestabilan lereng adalah menggunakan metode elemen hingga yaitu metode pengurangan kekuatan geser (*shear strength reduction*). Esensi dari metode elemen hingga dengan teknik reduksi kekuatan geser adalah pengurangan pada nilai parameter kekuatan tanah sampai tanah mengalami keruntuhan. Parameter kekuatan tanah c'_f dan w'_f digunakan dalam prosedur metode elemen hingga didefinisikan sebagai rasio antara parameter kekuatan geser aktual terhadap faktor reduksi kekuatan geser F_t , yaitu:

$$c'_f = \frac{c'}{F_t} \dots \dots \dots (4)$$

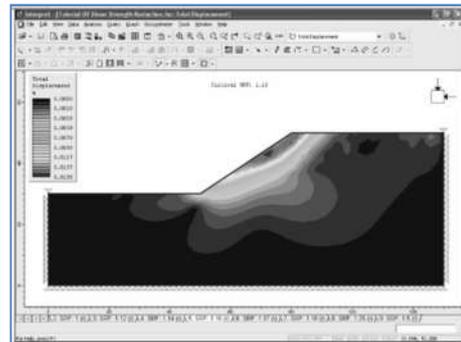
$$\phi'_f = \arctan \left(\frac{\tan \phi'}{F_t} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana F_t sama dengan faktor reduksi kekuatan geser, c'_f adalah kohesi dan ϕ'_f adalah sudut gesek dalam. Faktor Keamanan (FK) besarnya sama dengan nilai F_t pada saat tepat terjadi keruntuhan (Maosong dan Cang, 2009).

Metode numerik menggunakan program *Phase2 v.08* untuk analisis stabilitas lereng didasarkan pada metode pengurangan kekuatan geser (*Shear Strength Reduction/SSR*). Keuntungan dari metode reduksi kekuatan geser yaitu tidak perlu ditentukan keruntuhan

permukaannya atau mencari minimum keruntuhan permukaannya, regangan dan perpindahan dalam tanah/batuan dapat dihitung serta keruntuhan progresifnya dapat dimodelkan (*Manual Phase2v.8, 2007*).

Dalam program *Phase2 v.8*, input data yang dimasukkan yaitu modulus elastisitas (E), Poisson rasio (ν), berat unit (γ), kohesi (C), sudut gesek dalam (ϕ), kuat tarik (σ_t), tegangan tanah *in-situ* (σ), dan level muka air tanah. Model material dipilih sebagai material yang mengikuti mode Mohr-Coulomb sebagai kriteria keruntuhan dan tipe analisis model mengikuti konsep *plane-strain* serta model konstitutif yaitu elasto-plastik (*Manual Phase2v.8, 2007*). Contoh model simulasi perpindahan lereng dengan *Phase2 v.8* ditampilkan pada Gambar 4 (*Rocscience, 2007*).



Gambar 4. Contoh model simulasi perpindahan lereng dengan *Phase2 v.8*

Faktor aman minimum yang diijinkan tergantung pada bahaya yang ditimbulkan oleh keruntuhan maupun oleh metode analisis, tingkat dapat dipercayanya parameter-parameter kekuatan terukur, dan estimasi tekanan pori yang diambil. Banyak referensi yang memberikan batasan penentuan nilai faktor aman tersebut. Menurut Dun dkk. (1980), faktor aman minimum seperti untuk bendungan tanah, disarankan sebesar 1,3 (pada akhir pembangunan). Sedangkan menurut Cheng dan Lau (2008) nilai FK didasarkan pada tingkat resiko ekonomi dan bahaya terhadap manusia sebesar minimum 1,3 (rata-rata).

Beberapa metode penanganan potensi kelongsoran lereng untuk pencegahan atau upaya stabilitas lereng menurut Zakaria (2000) adalah:

- a. Mengurangi beban di puncak lereng dengan cara melakukan pemangkasan lereng, pemotongan lereng, biasanya digabungkan dengan pengisian/pengurangan di kaki lereng, atau pembuatan undak-undak.
- b. Menambah beban di kaki lereng dengan cara:
 - menanam tanaman keras (biasanya pertumbuhannya cukup lama),
 - membuat dinding penahan (bisa dilakukan relatif cepat, dinding penahan atau *retaining wall* harus didesain terlebih dahulu),
 - membuat "bronjong", batu-batu bentuk menyudut yang dikaitkan dengan kawat, bentuk angular atau menyudut lebih kuat dan tahan lama dibandingkan dengan bentuk bulat dan sebagainya, atau
 - membuat perkuatan lereng dengan *geotextile*.
- c. Mencegah lereng jenuh dengan airtanah atau mengurangi kenaikan kadar air tanah di dalam tubuh lereng. Kadar air tanah dan muka air tanah biasanya muncul pada musim hujan, pencegahan dengan cara:
 - membuat penyalur air (dari bambu atau pipa paralon) di kemiringan lereng dekat ke kaki lereng,
 - menanam vegetasi berdaun lebar di puncak-puncak lereng sehingga evapotranspirasi meningkat dan peliputan rerumputan.
- d. Mengendalikan air permukaan dengan cara:
 - membuat desain drainase yang memadai sehingga air permukaan dari puncak-puncak lereng dapat mengalir lancar dan infiltrasi berkurang,
 - Penanaman vegetasi dan peliputan rerumputan juga mengurangi air larian sehingga erosi permukaan dapat dikurangi.
- e. *Shotcrete* untuk perlindungan lereng dari infiltrasi air hujan yang masuk ke dalam tanah.

PEMBAHASAN

Gambaran umum lokasi penelitian

Ruas jalan Pemuda merupakan jalur jalan nasional yang menghubungkan kota Kolaka dengan semua kecamatan yang ada di wilayah kabupaten Kolaka termasuk jalan penghubung antar kabupaten dan propinsi seperti kabupaten Kolaka Utara, Kolaka dan Propinsi Sulawesi Selatan. Jalur jalan Pemuda ini berada di antara daerah perbukitan dan daerah pesisir pantai dengan arah memanjang dari utara ke selatan (Lampiran 1).

Deskripsi sifat-sifat fisik tanah

Deskripsi tanah pembentuk lereng terdiri dari Lanau Pasiran dan Lanau Lempungan berwarna coklat kemerahan pada kedalaman 0,00 m s/d 1,50 m. Pada kedalaman 1,50 m s/d 4,00 m terdiri dari Lanau Lempung, Pasir sedang berwarna coklat kemerahan. Sedangkan pada kedalaman 4,00 m s/d 10,00 m terdiri dari Semapi kasar, berkerikil, kuning keputihan.

Adapun sifat-sifat fisik tanah pada titik bor lereng BH1 dengan interval kedalaman 0,00 s/d 10,00 m, tanah pembentuk lereng memiliki kadar air tanah asli rata-rata (w_r) sebesar 16,11 %, persentase lolos saringan nomor 200 rata-rata sebesar 63,86 %, berat jenis tanah rata-rata (x_r) sebesar 2,758. Sedangkan parameter konsistensi *atterberg* tanah lereng memiliki batas cair rata-rata (LL) sebesar 42,42 %, batas plastis rata-rata (PL) sebesar 28,02 % dan nilai Indeks Plastis rata-rata (IP) sebesar 14,39 %. serta warna kemerahmerahan.

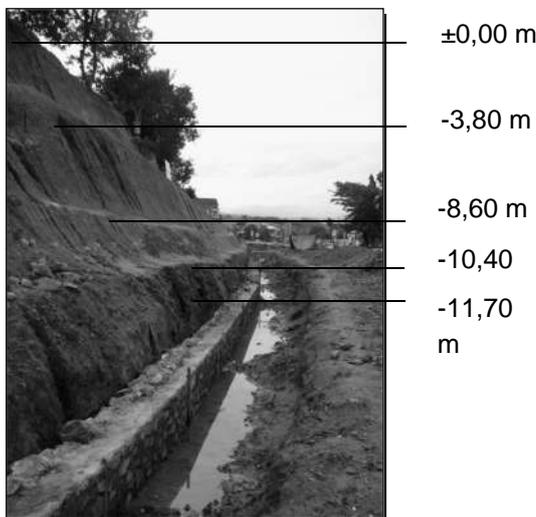
Kadar air tanah tidak terlalu tinggi disebabkan muka air tanah relatif dalam. Penambahan kadar air tanah lereng dipengaruhi oleh intensitas air hujan dan daya serap butiran tanah. Melihat lebih 50% lolos saringan no.200 (63,86 %), jadi tanah tersebut didominasi tanah berbutir halus dan selebihnya butir kasar. Kemiringan muka topografi lereng memungkinkan air tidak lama menggenangi permukaan atas lereng. Berdasarkan nilai PI yang berada pada interval 7-17, maka tanah lereng memiliki sifat plastisitas rendah dan bersifat kohesif (Hardiyatmo, H.C. 2012).

Perhitungan stabilitas lereng parameter masukan

Data geoteknik pemodelan stabilitas lereng titik Bor BH1 ditunjukkan dalam Tabel 1. Gambar 5 menampilkan tampak depan lereng tergali beserta kondisi keruntuhan pada badan lereng, Gambar 6 menampilkan tampak samping lokasi bor (BH1), sedangkan model geometri lereng menggunakan program *Slide v.06* diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Tampak depan lereng tergali beserta kondisi keruntuhan pada badan lereng (Dokumentasi, 2016)



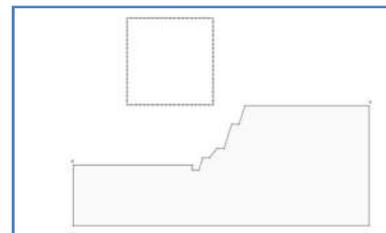
Gambar 6. Tampak samping lokasi bor (BH1) (Dokumentasi, 2016)

Tabel 1. Parameter masukan untuk pemodelan lereng (uji laboratorium)

Berat Unit, γ (MN/m ³)	Modulus Young, E (MPa)	Poisson Rasio, ν	Sudut Geser, w (°)	Kohesi, c (MPa)
0,0185	321	0,25	30,84	0,011

Analisis stabilitas lereng menggunakan software *Slide v.06*

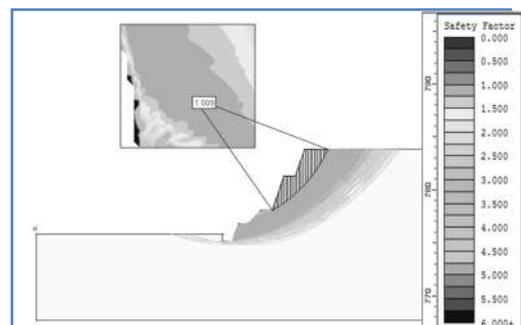
Dalam pemodelan, digunakan kriteria material homogen, material lereng seragam, tidak terdapat tekanan air pori (kering), dan area bidang gelincir berbentuk sirkular (busur). Kriteria keruntuhan digunakan *Mohr Coulomb* dengan data sifat mekanik material (Tabel 1). Metode analisis *slide v.06* didasarkan pada metode Bishop yang disederhanakan (*Bishop Simplified*).



Gambar 7. Model geometri lereng menggunakan program *Slide v.06*

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program *Slide v.06* dihasilkan deformasi lereng berbentuk garis busur dengan nilai Faktor Keamanan kritis sebesar 1,009 (Gambar 8) dengan area garis kelongsoran pada bench pertama dan bench kedua. Faktor Keamanan kritis ini sebelum dilakukan perkuatan dan menandakan lereng tersebut berada dalam kondisi tidak aman atau longsor.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa lereng secara keseluruhan berpotensi mengalami longsor dengan nilai Faktor Keamanan sebesar 1,118 selama lereng belum diberi perkuatan dan kadar air meningkat secara kontinu terutama di musim penghujan, sehingga mengakibatkan potensi kelongsoran yang lebih cepat dan volume longsor juga besar sehingga nilai Faktor Keamanan lereng berada di bawah nilai Faktor Keamanan yang diijinkan (FK < 1,30).



Gambar 8. Hasil analisis lereng menggunakan program *Slide v06*

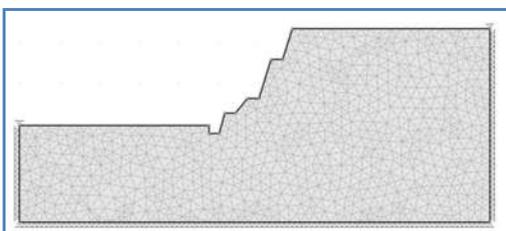
Kondisi lereng yang tergal dengan kemiringan sesuai kondisi lapangan yaitu interval 50° - 70° dengan ketinggian lereng 12,00 meter memperlihatkan potensi kurang stabil. Hal ini diperlihatkan oleh area yang berada diantara 1,00-1,50. Yang terjadi di lapangan adalah longsor pada *bench* pertama (bagian atas lereng) dan *bench* kedua (bagian tengah lereng) dikarenakan kemiringan lereng cukup besar sekitar 70° . Hasil analisis menunjukkan perilaku longsor yang sama pada zona busur longsor (Gambar 9).



Gambar 9. Longsor pada atas lereng (Dokumentasi 2016)

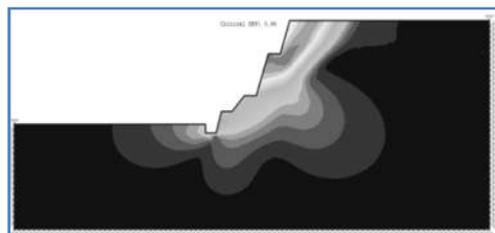
Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software *Phase2 v.08*

Dalam pemodelan, digunakan kriteria material homogen (isotropik), material lereng seragam, tidak terdapat tekanan air pori (kering), dan tipe pembebanan elemen inisial *field stress and body force*. Kriteria parameter kekuatan digunakan *Mohr Coulomb* material plastis dengan data sifat mekanik material seperti dalam tabel 1. Metode analisis berdasarkan metode *SRF (strength reduction factor)*. Model geometrik lereng diperlihatkan pada Gambar 10.



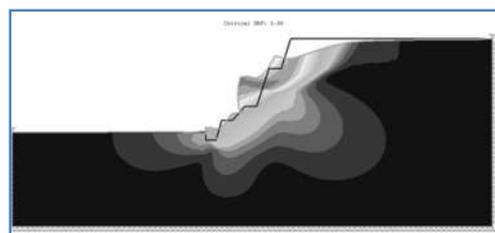
Gambar 10. Model geometri lereng menggunakan program *Phase2 v.08*

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program *Phase2 v.08* dihasilkan deformasi lereng berbentuk seperti garis busur dengan nilai *SRF* kritis sebesar 0,98 (Gambar 11) dengan area kontur perpindahan/kelongsoran pada *bench* pertama dan *bench* kedua, diikuti *bench* ketiga dan *bench* keempat. Nilai *SRF* ini merupakan nilai Faktor Keamanan kritis sebelum dilakukan perkuatan dan menandakan lereng tersebut berada dalam kondisi tidak aman atau longsor.



Gambar 11. Hasil analisis lereng menggunakan program *Phase2 v08*

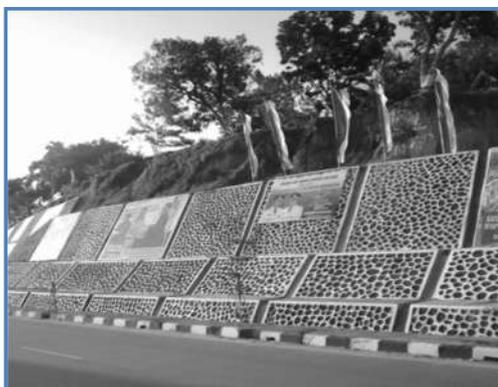
Pada Gambar 12, bentuk deformasi lereng dimulai kelongsoran dari *bench* paling atas dilanjutkan *bench* di bawahnya. Nilai *SRF* akan meningkat seiring nilai parameter kekuatan material semakin menurun. Air hujan dapat memberikan potensi kelongsoran yang lebih cepat dan volume longsor besar sehingga nilai Faktor Keamanan lereng akan berada di bawah nilai Faktor Keamanan yang diijinkan ($FK < 1,30$).



Gambar 12. Tampilan deformasi kelongsoran lereng menggunakan program *Phase2 v08*

Analisis Pemilihan Perkuatan Lereng

Berdasarkan pengamatan lapangan, hasil pemilihan perkuatan lereng berupa pasangan batu gunung pada *bench* kedua, *bench* ketiga dan *bench* keempat memperlihatkan kondisi yang aman (tidak mengalami longsor). Sedangkan pada *bench* pertama belum diberikan perkuatan seperti pasangan batu gunung, hanya ada pepohonan dan rerumputan yang memberikan tambahan kekuatan geser tanah lereng pada *bench* pertama tersebut (Gambar 13).



Gambar 13. Hasil perkuatan lereng berupa pasangan batu gunung (Dokumentasi, 2017)

Sepanjang musim penghujan tahun 2017, sejak selesai pekerjaan pasangan batu gunung, nampak lereng dalam kondisi stabil akibat perkuatan baik pasangan batu gunung maupun vegetasi yang ada di atas lereng tersebut sehingga infiltrasi air hujan tidak mempengaruhi kestabilan lereng. Penambahan pipa-pipa air tanah pada badan lereng dan pembuatan parit air hujan memberikan efek positif untuk kestabilan lereng. Tidak ada kenaikan muka air tanah pada sepanjang lereng sehingga tidak mempengaruhi kestabilan lereng. Dari hasil analisis perkuatan lereng yang diterapkan, maka nilai Faktor Keamanan (FK) meningkat diprediksi di atas 1,30 dan kondisi stabil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat ditulis kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai Faktor Keamanan (FK) lereng sebelum diberi perkuatan masih di bawah nilai FK ijin 1,30 seperti yang diperlihatkan hasil analisis program *Slide v.06* (FK kritis sebesar 1,009) dan program *Phase2 v.06* (SRF kritis sebesar 0,98) sehingga lereng dalam kondisi tidak stabil atau berpotensi longsor.
2. Dibutuhkan perkuatan lereng berupa dinding penahan dari pasangan batu gunung ketebalan minimal 30 cm, pemasangan pipa-pipa air tanah pada badan lereng, pembuatan parit air hujan dan penanaman vegetasi di badan dan di atas lereng sehingga dapat memberikan kestabilan yang baik dan potensi kelongsoran dapat dicegah.

Berdasarkan penelitian ini, terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Disarankan pada lereng yang belum diberi pasangan batu gunung terutama *bench* pertama agar diperhatikan dan dipertahankan tanaman vegetasi yang sudah tumbuh sehingga dapat menghindarkan potensi longosr di atas lereng.
2. Dilakukan pemantauan kontinu terhadap lereng yang belum diberi pasangan batu gunung terhadap gejala retakan/longsoran maupun terbentuknya alur-alur air hujan, serta pada badan lereng yang sudah diberi pasangan batu gunung terhadap gejala retakan struktur sebagai penanda awal untuk menilai kestabilan lereng dalam jangka panjang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan Terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya atas pembiayaan Penelitian ini melalui Kegiatan Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun Anggaran 2017 oleh Direktorat Riset dan Penelitian Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, sesuai dengan Kontrak Penelitian No.: 099/SP2H/LT/DRPM/IV/2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, Y.M. and Lau, C.K., 2008, *Slope Stability Analysis and Stabilization*, Routledge, London and New York.
- Das, B.M., 2010, *Principles of Geotechnical Engineering, Seventh Edition*, Chengage Learning, USA.
- Dun, I.S., Anderson, L.R., Kiefer, F.W., 1980, Dasar-dasar Analisis Geoteknik, Terjemahan IKIP Semarang Press, Cetakan Pertama 1992, Semarang.
- Goro, G.L., 2006, Studi Analisis Dinamik Stabilitas Lereng pada Timbunan dan Galian dengan Metode Elemen Hingga, Tesis, ITB, Bandung.
- Hardiyatmo, H.C., 2012, Mekanika Tanah 1, Edisi 6, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Manual Phase2 v.08, 2007, <http://www.rocscience.com>, ITB, Bandung, 2014.
- Manual Slide v.06, 2011, <http://www.rocscience.com>, ITB, Bandung, 2014.
- Maosong, H. And Cang, Q.J., 2009, *Strength Reduction FEM in Stability Analysis of Soil Slopes Subjected to Transient Unsaturated Seepage*. Computer and Geotechnics 36, ScienceDirect, Elsevier, p. 93-101.
- Zakaria, Z., 2000. Analisis Kestabilan Lereng Tanah, Diktat Laboratorium Geologi Teknik, FMIPA, Universitas Padjajaran, Bandung.

pendidikan S2 dari Universitas Hasanudin Makassar pada bidang Rekayasa Transportasi. Saat ini tercatat sebagai Pengajar Tetap pada Program Studi Teknik Sipil FST Universitas Sembilanbelas November Kolaka (USN) dengan bidang rekayasa transportasi.

BIODATA

Isramyano Yatjong, S.T., M.T., lahir di Ujung Pandang pada tanggal 10 Juli 1980, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Hasanuddin Makassar pada bidang Teknik Sipil, pendidikan S2 dari Institut Teknologi Bandung pada bidang Rekayasa Pertambangan. Saat ini tercatat sebagai Pengajar Tetap pada Program Studi Teknik Sipil FST Universitas Sembilanbelas November Kolaka (USN) dengan bidang geoteknik.

Fachryano, S.T., M.T., lahir di Ujung Pandang pada tanggal 19 Desember 1978, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Hasanuddin Makassar pada bidang Teknik Sipil,

LAMPIRAN

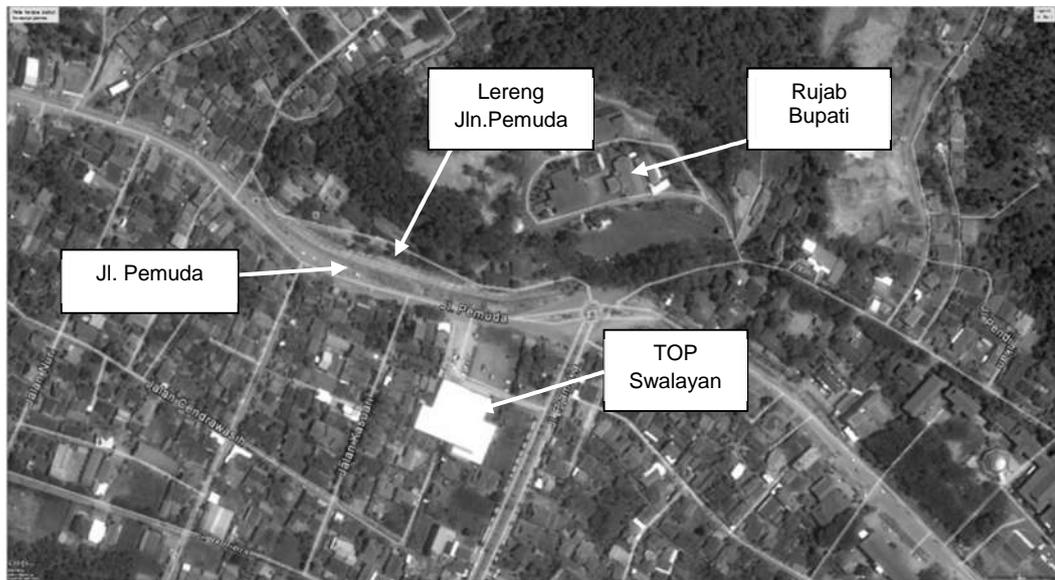


Foto Lampiran 1.
Kondisi Jalan Pemuda dilihat dari tampak atas
(Sumber: *Google Earth Pro*, 2015)



Foto Lampiran 2.
Lereng yang tergal sebelum
perkuatan Titik BH1
(Dokumentasi, 2016)



Foto Lampiran 3.
Lereng yang tergal setelah perkuatan
berupa pasangan batu gunung Titik
BH1
(Dokumentasi, 2017)

PENURUNAN BOD PADA BIOGAS KOTORAN SAPI CAMPURAN LIMBAH CAIR RUMAH POTONG HEWAN (RPH) DENGAN VARIASI KECEPATAN DAN LAMA PENGADUKAN

Rosiana Indrawati¹

¹Program Studi Teknik Energi Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Yogyakarta
Email: ¹rosiana.indrawati@gmail.com

Masuk: 02 Januari 2018, Revisi masuk: 25 Januari 2018, Diterima: 28 Januari 2018

ABSTRACT

The scarcity of energy sources, especially fuel oil (BBM) has become a world problem. The abundant cattle dung in the community has not been optimally utilized. In addition, the slaughterhouse (RPH) wastewater has not been optimally utilized. The aim of this research is to know the effect of speed and duration of stirring to biogas volume and final BOD concentration on cow dung biogas mixture the slaughterhouse (RPH) wastewater.

The experiment used biodigester reactor as much as 5 pieces, 1 as the controller without stirring and 4 others as the test digester with stirring. RPH0 as a control digester without stirring. Variation of stirring speed 5 and 10 rpm and stirring time 10 and 15 minutes. The volume of biogas is measured for 20 days. BOD levels are measured on the last day of the fermentation process.

The experiment showed that the highest biogas volume was found on PK10L10 test digester that was mixture of cow dung and the slaughterhouse (RPH) wastewater with variation of 10 rpm and duration of stirring 15 minutes ie 1,331 m³, and the lowest biogas volume was 0,243 m³ in RPH0 digester. The highest decrease in BOD content was 37% in RK10L15 digester and the lowest decrease RK5L15 digester was 12%. The stirring process has a significant effect on biogas production and decrease of BOD concentration in the digester.

Keywords: *BOD, the slaughterhouse wastewater, Biogas, Cow Dung.*

INTISARI

Kelangkaan sumber energi terutama bahan bakar minyak (BBM) telah menjadi permasalahan dunia. Kotoran sapi yang berlimpah di masyarakat belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, limbah cair Rumah Potong Hewan (RPH) belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan dan lama pengadukan terhadap volume biogas dan konsentrasi BOD akhir pada biogas kotoran sapi dengan campuran limbah cair RPH.

Percobaan menggunakan reaktor biodigester sebanyak 5 buah, 1 sebagai digester kontrol tanpa pengadukan dan 4 lainnya sebagai digester uji dengan pengadukan. RPH 0 sebagai digester kontrol tanpa pengadukan. Variasi kecepatan pengadukan 5 dan 10 rpm dan lama pengadukan 10 dan 15 menit. Volume biogas diukur selama 20 hari. Kadar BOD di ukur pada hari terakhir proses fermentasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume biogas tertinggi terdapat pada digester uji RK10L15 yaitu campuran kotoran sapi dengan limbah RPH dengan variasi kecepatan 10 rpm dan lama pengadukan 15 menit yaitu sebesar 1,331 m³, dan volume biogas terendah yaitu digester RPH0 yaitu 0,243 m³. Penurunan kadar BOD paling tinggi yaitu sebesar 37% pada digester RK10L15 dan penurunan terendah pada digester RK5L15 yaitu 12%. Proses pengadukan berpengaruh nyata terhadap produksi biogas dan penurunan konsentrasi BOD di dalam digester.

Kata kunci : *BOD, Limbah cair Rumah Potong Hewan (RPH), Biogas, Kotoran Sapi.*

PENDAHULUAN

Isu kelangkaan sumber energi terutama bahan bakar minyak (BBM) telah menjadi permasalahan yang dihadapi oleh dunia. Seiring meningkatnya jumlah penduduk yang ikut memacu peningkatan terhadap permintaan energi, baik untuk keperluan rumah tangga, maupun untuk industri dan transportasi. Peningkatan permintaan energi menyebabkan menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberikan tekanan pada setiap negara untuk segera memproduksi dan menggunakan energi terbarukan (Hambali, 2007).

Pemanfaatan limbah peternakan (kotoran ternak) merupakan salah satu alternatif yang sangat tepat untuk mengatasi naiknya harga pupuk dan kelangkaan bahan bakar minyak. Apalagi pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber bahan bakar dalam bentuk biogas. Teknologi dan produk tersebut merupakan hal baru bagi masyarakat petani dan peternak. Pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber energi, tidak mengurangi jumlah pupuk organik yang bersumber dari kotoran ternak. Hal ini karena pada pembuatan biogas kotoran ternak yang sudah diproses dikembalikan ke kondisi semula yang diambil hanya gas metana (CH_4) yang digunakan sebagai bahan bakar. Kotoran ternak yang sudah diproses pada pembuatan biogas dipindahkan ke tempat lebih kering, dan bila sudah kering dapat disimpan dalam karung untuk penggunaan selanjutnya.

Sektor peternakan merupakan salah satu sumber pendapatan bagi masyarakat di Indonesia. Selain manfaat yang cukup besar yang dihasilkan oleh sektor peternakan ini, namun di sisi lain juga menjadi penyebab timbulnya pencemaran. Hasil lain dari ternak berupa limbah yang semakin intensif sehingga dalam sektor yang besar akan menimbulkan masalah yang lebih kompleks. Selain bau yang tidak sedap, keberadaannya juga mencemari lingkungan dan mengganggu pandangan juga dapat menjadi sumber penyakit.

Menumpuknya limbah peternakan sampai dengan kapasitas tertentu akan menimbulkan dampak negatif antara lain berupa peningkatan populasi mikroba patogen sehingga mengakibatkan terjadinya pencemaran air, tanah dan pencemaran udara karena debu infeksius serta bau yang kurang sedap. Banyak negara berkembang menggunakan kotoran ternak sebagai bahan bakar, sehingga menimbulkan polusi asap yang mengakibatkan gangguan kesehatan. Akhir-akhir ini mulai menjadi perhatian karena terjadinya emisi gas metan dan karbondioksida yang dikhawatirkan akan menyebabkan terjadinya efek rumah kaca sehingga akan mempengaruhi perubahan iklim secara global. Proses digesti anaerob untuk pengolahan limbah peternakan tersebut dirasa akan memberikan beberapa keuntungan antara lain menurunkan nilai COD dan BOD, *total solid*, *volatile solid*, nitrogen nitrat, dan nitrogen organik. Di samping juga populasi bakteri coliform dan patogen, telur insekta, parasit dan bau relatif dapat diturunkan atau bahkan dihilangkan (Yazid, 2012).

Limbah ternak sapi potong adalah sisa buangan dari suatu kegiatan usaha peternakan sapi potong. Limbah tersebut meliputi limbah padat dan limbah cair seperti feses, urine, sisa makanan, embrio, kulit, lemak, darah, kuku, tulang, tanduk, isi rumen, dan lain-lain. Namun, limbah peternakan sapi potong umumnya berupa feses. Feses sapi potong merupakan buangan dari usaha peternakan sapi potong yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urine dan gas seperti metana dan amoniak (Sihombing, 2000).

Rumah Potongan Hewan (RPH) merupakan salah satu industri yang mengeluarkan limbah cair dalam jumlah besar. Limbah cair RPH mengandung bahan organik dengan konsentrasi tinggi, padatan tersuspensi, serta bahan koloid seperti lemak, protein, dan selulosa (Caixeta dkk., 2002; Masse dkk., 2003). Seiring dengan peningkatan kesadaran masyarakat pada permasalahan

lingkungan dan peraturan pemerintah yang semakin ketat, maka penanganan terhadap limbah cair di RPH ini perlu mendapat perhatian secara seksama.

Permasalahan limbah ternak, khususnya feses dapat diatasi dengan memanfaatkan menjadi bahan yang memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu sebagai bahan masukan untuk menghasilkan bahan bakar biogas. (Sutarno dan Firdaus, 2007).

Limbah cair RPH mengandung bahan organik dengan konsentrasi tinggi, padatan tersuspensi, serta bahan koloid seperti lemak, protein, dan selulosa. Bahan organik ini dapat menimbulkan permasalahan lingkungan bila dibuang langsung ke lingkungan (Roihatin, A, 2006). Limbah cair RPH mengandung kadar protein tinggi akan menyebabkan penyuburan air, sehingga memungkinkan tumbuhnya tumbuhan air yang tidak dikehendaki atau disebut dengan gulma air. Pertumbuhan gulma air yang tidak terkendali akan merusak badan air dan menyebabkan terjadinya pendangkalan. Limbah organik itu bila dibiarkan tanpa dikelola, tidak hanya akan menunjukkan keburukan sanitasi lingkungan, melainkan juga akan menarik binatang penyebab dan penyebar penyakit seperti insecta, rodentia dan lain sebagainya. Banyak jenis infeksi penyakit melalui makanan (*Food Borne Disease*) yang ditularkan melalui daging akibat daging terkontaminasi langsung atau tidak langsung oleh limbah RPH. Meat Borne Disease dapat disebabkan oleh beberapa agent seperti bakteri, jamur, virus, protozoa dan cacing.

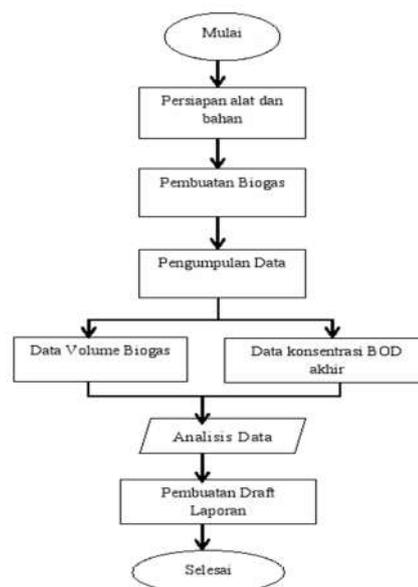
Proses pengadukan menjadi tahapan penting dalam pengolahan limbah secara fisik. Pengadukan merupakan salah satu cara yang dilakukan untuk mendapatkan campuran substrat yang homogen. Pengadukan selama proses dekomposisi berguna untuk mencegah terjadinya benda-benda mengapung pada permukaan cairan dan berfungsi mencampur metanogen dengan substrat. Pengadukan juga memberikan kondisi suhu yang seragam dalam biodigester dan menghasilkan gas secara optimal (Pambudi, 2008). Digester biogas di Indonesia umumnya bekerja tanpa

adanya pengadukan di dalam digester. Oleh karena itu dipandang perlu dievaluasi penggunaan pengaduk pada digester yang bekerja pada suhu ruang untuk mengoptimalkan produksi metan.

Karakteristik limbah cair RPH yang mengandung kadar BOD yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi oleh bakteri pada proses pembentukan biogas kotoran sapi. Berdasarkan uraian diatas, peneliti melakukan penelitian untuk mengetahui penurunan kandungan BOD akhir biogas kotoran sapi yang dicampur dengan limbah cair RPH melalui pengadukan dengan variasi kecepatan dan lama pengadukan.

Diagram Alir Metodologi Penelitian

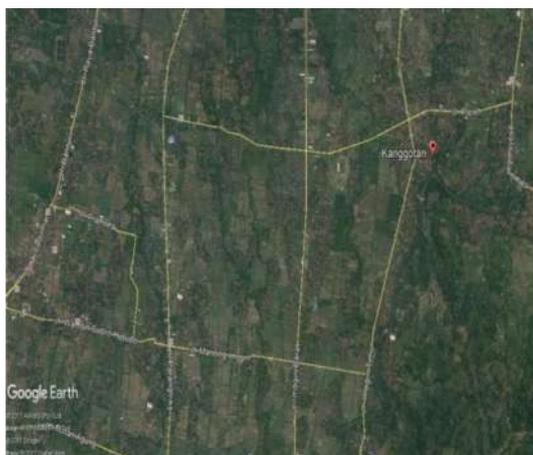
Gambar 1 menampilkan diagram alir Penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan limbah cair RPH dan kotoran sapi diambil dari petani ternak sapi di Dusun Kanggotan, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul. Lokasi pengambilan sampel berada pada koordinat 7°52'23.30"S dan 110°23'39.07"T. Lokasi titik sampling penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Titik Sampling

Peralatan

Peralatan reaktor yang digunakan dalam penelitian terdiri dari beberapa bagian diantaranya drum plastik ukuran tinggi 52 cm, pipa PVC diameter 1,25", pipa PVC diameter 0,5", ember plastik, sambungan Y, kran, gelas ukur, balon karet, serta batang pengaduk kayu.

Metode Penelitian

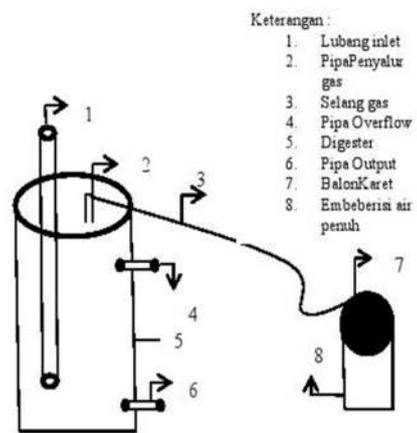
Bagian pertama dalam penelitian ini adalah penyiapan alat untuk proses fermentasi bahan-bahan campuran kotoran sapi dan limbah cair RPH. Menyiapkan drum plastik berkapasitas 26 liter sebanyak 5 buah, satu drum sebagai digester kontrol (perlakuan tanpa pengadukan) dan 4 lagi sebagai digester uji. Tutup bagian atas dilubangi seukuran pipa diameter 1,25 inchi dengan menggunakan bor listrik. Selanjutnya disiapkan pipa PVC diameter 1,25 inchi sepanjang \pm 50 cm dimasukkan ke dalam lubang yang telah dibuat tadi, dan menyisakan 10 cm dibagian atas tutup drum plastik dan pada bagian lubang diberi perekat lem tetes agar dipastikan tidak terdapat celah untuk masuknya udara karena kebocoran. Lubang ini berfungsi sebagai lubang *feedstock* atau lubang inlet. Berjarak 5 cm dari pipa *feedstock* dibuat lubang kecil untuk saluran gas dengan menggunakan selang waterpass. Dibagian bawah drum sekitar 5 cm dari bawah drum dibuat lubang kecil seukuran pipa diameter 0,5" dan diberi pipa beserta dengan dop. Lubang ini berfungsi sebagai pipa outlet untuk mengeluarkan *slurry* dan cairan

sisanya proses fermentasi. Berjarak 30 cm diatas pipa outlet dibuat lubang untuk dimasuki pipa ukuran 0,5" yang berfungsi untuk saluran *overflow*.

Tahap kedua adalah pembuatan penampung gas yaitu dengan menyiapkan ember plastik yang diisi air penuh kemudian sebuah balon udara yang dihubungkan dengan selang saluran gas. Kotoran sapi ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam ember dan ditambahkan air limbah. Untuk digester kontrol 1 kotoran sapi hanya diratakan dengan air limbah cair RPH tanpa pengadukan kemudian dimasukkan ke dalam digester kontrol melalui lubang inlet. Sedangkan pada digester uji 1,2,3 dan 4 kotoran sapi ditambah limbah cair RPH kemudian dilakukan pengadukan dengan variasi kecepatan dan lama pengadukan. Selanjutnya dimasukkan ke dalam lubang *inlet*.

- RKL0 : limbah cair RPH tanpa pengadukan
- RK5L10 : KS+RPH kecepatan pengadukan 5rpm, lama pengadukan 10 menit
- RK5L15 : KS+RPH kecepatan pengadukan 5rpm, lama pengadukan 15 menit
- RK10L10 : KS+RPH kecepatan pengadukan 10rpm, lama pengadukan 10 menit
- RK10L15 : KS+RPH kecepatan pengadukan 10rpm, lama pengadukan 15 menit

Gambar 3 menampilkan desain alat biogas, sedangkan Gambar 4 menampilkan reaktor biogas yang dibuat.



Gambar 3. Desain Alat Biogas



Gambar 4. Reaktor Biogas

Pengumpulan Data

Pengambilan data volume biogas masing-masing digester baik kontrol maupun uji diukur setiap hari selama 20 hari kemudian hasilnya diakumulasi untuk mendapatkan hasil volume biogas pada masing-masing digester.

Volume yang terbentuk tiap harinya dicatat dan dibuat grafik. Dari grafik tersebut dapat dilihat volume biogas yang dihasilkan oleh tiap reaktor. Pengukuran dilakukan dengan cara volume gas yang terbentuk tiap harinya akan diukur dengan menghitung volume gas yang ditampung pada balon udara, setelah itu balon udara tersebut dimasukkan ke dalam bak penuh air. Jumlah air yang keluar dari bak tersebut diukur volumenya dengan asumsi bahwa volume air yang keluar sama dengan volume gas yang ada pada balon udara tersebut. Setelah diperoleh data volume maka dalam satu hari volume biogas dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Volume biogas} = \frac{\text{volume sampel di balon udara (L)}}{\text{hari}} \quad (1)$$

Pengujian awal terhadap limbah cair RPH dilakukan untuk mengetahui kadar BOD sebelum proses fermentasi dilakukan. Kemudian dilakukan pengujian hasil cairan fermentasi pada akhir proses tanpa pengadukan dan dengan pengadukan untuk mengetahui kadar BOD akhir. Analisis dilakukan di

Laboratorium Teknologi Lingkungan Institut Teknologi Yogyakarta.

PEMBAHASAN

Perhitungan Volume Digester

Jenis reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor *fixed dome*. Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Jenis bahan yang digunakan untuk pembuatan reaktor ini adalah *fiber* plastik. Bahan *fiber* memiliki kelebihan diantaranya kuat, tahan lama, tidak berkarat, anti bocor serta ringan. Pengukuran suhu dilakukan pada awal dan akhir proses, pada awal proses cenderung tidak mengalami perubahan signifikan dengan suhu akhir berkisar 30°C untuk semua digester.

Konsentrasi BOD limbah cair RPH dianalisis terlebih dahulu, selanjutnya dilakukan pencampuran bahan antara kotoran sapi dengan limbah tersebut. Sebelum pencampuran bahan terlebih dahulu dilakukan pengukuran terhadap volume digester. Perhitungan volume digester menggunakan rumus sebagai berikut

a. Perhitungan volume digester

Diketahui:

$$r.\text{digester} = 10 \text{ cm}$$

$$t.\text{digester} = 50 \text{ cm}$$

$$V = \pi r^2 \cdot t$$

$$= 3,14 \cdot (12)^2 \cdot 55 = 24868 \text{ cm}^3$$

$$= 25 \text{ liter} = 0,025 \text{ m}^3$$

Volume digester adalah 25 liter.

b. Banyaknya kotoran sapi yang dibutuhkan

Terlebih dahulu dihitung massa jenis kotoran sapi () yang mana ditimbang massa kotoran sapi seberat 1,5 kg didalam wadah ember bervolume 49 liter (0,049 m³) sehingga massa jenis kotoran sapi adalah:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{1,5}{0,03}$$

$$= 50 \text{ kg/m}^3$$

Volume campuran kotoran sapi dan limbah cair RPH adalah sebesar 3/4 volume digester dengan perbandingan kotoran sapi dan limbah cair 1 : 1.

$$= \frac{3}{4} \cdot 0,025$$

$$= 0,01875 \text{ m}^3$$

Sehingga di dalam digester terdapat 0,009375 m³ limbah cair dan kotoran sapi.

- c. Massa kotoran sapi yang dibutuhkan (Ms)

$$Ms = 50 \text{ kg/m}^3 \times 0,009375 \text{ m}^3$$

$$= 0,5 \text{ kg}$$

- d. Massa air yang dibutuhkan (Ma)

$$Ma = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,009375 \text{ m}^3$$

$$= 9 \text{ kg}$$

Produksi Biogas Campuran Kotoran Sapi Dan Limbah Cair RPH

Proses fermentasi biogas dilakukan dengan memvariasikan kecepatan dan lama waktu pengadukan pada masing-masing biodigester. Kecepatan di variasikan 5 dan 10 rpm dan lama waktu pengadukan 10 dan 15 menit dengan pertimbangan proses pengadukan tidak dilakukan dengan mesin stirer tapi dengan menggunakan tenaga manusia. Sehingga variasi tersebut masih dapat dijangkau oleh tenaga tangan manusia

Pengukuran volume gas dilakukan setiap hari untuk menghindari tekanan gas yang berlebihan yang dapat mengakibatkan kebocoran pada peralatan biogas. Pengukuran dilakukan dengan cara volume gas yang terbentuk tiap harinya akan diukur dengan menghitung volume gas yang ditampung pada balon udara, setelah itu balon udara tersebut dimasukkan kedalam bak penuh air. Jumlah air yang keluar dari bak tersebut diukur volumenya dengan asumsi bahwa volume air yang keluar sama dengan volume gas yang ada pada balon udara tersebut. Tabel 1 menunjukkan hasil produksi harian biogas selama 20 hari.

Pada minggu pertama produksi biogas sudah mulai terbentuk, hal ini terjadi pada seluruh satuan percobaan. Dari Tabel 2, terlihat bahwa produksi biogas yang dihasilkan dari masing-masing komposisi memiliki volume yang berbeda-beda, total produksi terbesar terdapat pada digester RK10L15 yaitu campuran kotoran sapi dengan limbah cair RPH dengan kecepatan pengadukan

10 rpm dan lama pengadukan 15 menit dengan total produksi sebesar 1,331 m³. Hal ini bisa disebabkan karena proses pengadukan akan sangat menguntungkan karena apabila tidak diaduk solid akan mengendap pada dasar tangki dan akan terbentuk busa pada permukaan yang akan menyulitkan keluarnya gas. Selain itu proses pengadukan pada reaktor akan memungkinkan kontak secara langsung antara substrat dengan bakteri atau mikroorganisme yang menghasilkan gas. Semakin sering dilakukan pengadukan, semakin besar kesempatan bakteri untuk mendegradasi substrate (Rama dkk., 2016).

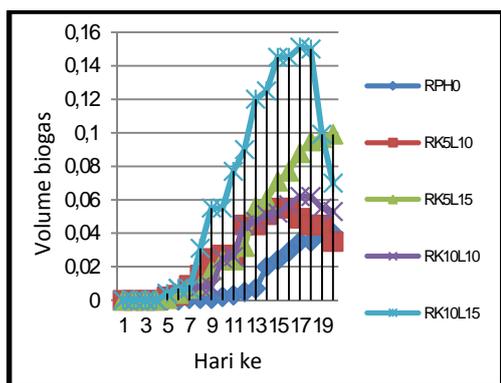
Tabel 1 Hasil Perhitungan Volume Digester

No	Data	Hasil Perhitungan
1	Volume digester	0,025 m ³
2	Massa jenis kotoran sapi	50 kg.m ⁻³
3	Perbandingan kotoran sapi dan limbah RPH	1 : 1
4	Massa kotoran sapi	0,5 kg
5	Massa air yang dibutuhkan	9 kg

Pada Gambar 5, terlihat bahwa biogas yang dihasilkan terus meningkat. Hal tersebut dapat dipahami karena perombakan yang terjadi disebabkan karena aktifitas mikroba. Pertumbuhan dan aktifitas mikroba sangat dipengaruhi oleh berbagai hal, diantaranya tersedianya nutrisi dalam substrat, pH, dan suhu.

Proses anaerobik berlangsung melalui tahap proses hidrolisis, tahap pengasaman (asidifikasi) dan tahap pembentukan gas metan. Sehingga menghasilkan biogas dan terus bertambah setiap hari selama bakteri pengurai terus bertumbuh dan beraktivitas. Pada grafik diatas terlihat bahwa biogas yang dihasilkan tiap komposisi memiliki volume yang berbeda-beda. Produksi biogas kumulatif paling lama terdapat pada komposisi pada digester RK5L15 yakni pada hari ke 20 pengamatan produksi gas masih cenderung naik. Sedangkan produksi

biogas kumulatif terendah pada komposisi digester RK5L10 yakni berhenti pada hari Ke-19. Menurut Padang dkk. (2011) perbedaan produksi biogas disebabkan karena ketersediaan nutrisi (sumber energi) bagi bakteri anaerob yang berbeda-beda dari masing-masing komposisi, sehingga berdampak pada perbedaan laju fermentasi dari setiap komposisi.



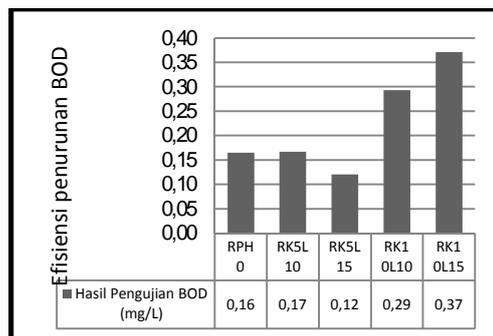
Gambar 5. Grafik Produksi Biogas

Pengamatan Kadar BOD Akhir

Pada saat pengambilan limbah cair dilakukan analisis kandungan BOD awal untuk membandingkan ada tidaknya pengaruh pengadukan terhadap penurunan kadar BOD akhir proses. Kandungan awal BOD pada limbah cair RPH adalah sebesar 540,6 mg/L. Pada akhir proses semua cairan sisa berwarna kecoklatan karena pengaruh dari proses fermentasi selama pembentukan biogas di dalam biodigester. Tabel 2 menampilkan hasil uji BOD akhir pada setiap digester. Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa telah terjadi penurunan kadar BOD akhir pada digester dengan perlakuan variasi kecepatan dan lama pengadukan. Gambar 6 menampilkan efisiensi penurunan kadar BOD.

Parameter	Hasil Pengujian BOD (mg/L)
RPH0	451,5
RK5L10	450,5
RK5L15	475,4
RK10L10	382,0
RK10L15	340,1

Sumber: Hasil Observasi Lab (2017)



Gambar 6. Efisiensi Penurunan Kadar BOD

Efisiensi penyisihan kadar BOD akhir paling tinggi untuk campuran kotoran sapi dengan limbah cair RPH adalah pada digester RK10L15 adalah 37%, sedangkan efisiensi penyisihan kadar BOD akhir paling rendah adalah digester kontrol atau RPH0 sebesar 16%. Pada digester sistem pengaduk menjadi sangat penting. Tujuan dari pengadukan adalah untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar digester. Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam digester anaerobik karena memberikan peluang material tetap tercampur dengan bakteri dan temperatur terjaga merata diseluruh bagian. Dengan pengadukan potensi material mengendap di dasar digester semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata. Selain itu dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju ke bagian penampung biogas

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- Volume biogas tertinggi terdapat pada digester RK10L15 yaitu sebesar 1,331 m³ campuran kotoran sapi dengan limbah cair RPH dengan variasi kecepatan pengadukan 10 rpm selama 15 menit.
- Konsentrasi BOD akhir dengan efisiensi penurunan paling besar adalah pada digester uji campuran kotoran sapi dengan limbah cair RPH

untuk variasi kecepatan 10 rpm dengan lama waktu pengadukan 15 menit (RK10L15) yaitu 37%.

- c. Proses pengadukan dengan variasi kecepatan dan lama pengadukan berpengaruh langsung terhadap penurunan kadar BOD dalam digester.

SARAN

- a. Sebaiknya pada awal proses dilakukan analisis bahan terlebih dahulu.
- b. Sebaiknya dilakukan variasi waktu pengambilan sampel cairan hasil fermentasi, misalnya dari 30 hari proses diambil setiap hari ke 5, ke 10, ke 15, ke 20 sampai dengan hari ke 30 untuk dianalisis di laboratorium kandungan BOD akhir.
- c. Proses pengadukan dapat disempurnakan menggunakan mesin stirer tangki berpengaduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Caixeta, C.E.T., Cammarota, M.C., and Xavier, A.M.F., 2002, Slaughterhouse Wastewater Treatment: Evaluation of A New Three-phase Separation System in A UASB Reactor, *Bioresource Technology*, 81(1): 61-69.
- Hambali E., 2007, *Teknologi Bioenergi*, PT. Agromedia Pustaka, Bogor.
- Hardjowigeno, S., 2003, *Ilmu Tanah*, Akademika Presindo, Jakarta.
- Hardoyo, Atmodjo M.C., Rosadi, D., Cahyono, M.S., 2014, *Panduan Praktis Membuat Biogas Portable Skala Rumah Tangga dan Industri*, Andi Publisher, Yogyakarta.
- Kusnoputranto, 1983, *Kesehatan Lingkungan*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Masse, L., Masse, D.I., and Kennedy, K.J., 2003, Effect of hydrolysis pretreatment on fat degradation during anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater. *Process Biochemistry* 38(9): 1365-1372.
- Padang, Y.A., Nurchayati, dan Suhandi, 2011, Meningkatkan Kualitas Biogas dengan Penambahan Gula, *Jurnal Teknik Rekayasa*, 12(1): 53-62.

Pambudi, N. A. 2008. *Pemanfaatan Biogas Sebagai Energi Alternatif*. www.dikti.org. Akses : 13 November 2013.

Rama, M., Soeroso, F., Pradana, S., Akbar, Sudarno, dan Wardhana, I.W., 2016. Pengaruh Pengenceran dan Pengadukan Terhadap Produksi Biogas pada Anaerobic Digestion dengan Menggunakan Ekstrak Rumen Sapi Sebagai Starter dan Limbah Dapur sebagai Substrat, *Jurnal Presipitasi*, 13(2): 88-93.

Roihatin, A., 2006, *Pengolahan Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH) dengan Cara Elektrokoagulasi Aliran Kontinyu*, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang. <http://www.clicktoconvert.com>.

Sihombing, D.T.H., 2000. *Teknik Pengelolaan Limbah Kegiatan/Usaha Peternakan*, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian, Institut Pertanian Bogor.

Sutarno dan Firdaus, F., 2007, Analisis Prestasi Produksi Biogas (CH₄) dari Polyethylene Biodigester Berbahan Baku Limbah Ternak Sapi, *Jurnal Logika*, 4(1).

Yazid, F.R., 2012,. Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Debit Pada Pengolahan Air Artificial (Campuran Grey Water dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), Universitas Diponegoro Semarang.

BIODATA PENULIS

Rosiana Indrawati, S.T., M.Eng., lahir di Sukoharjo pada tanggal 22 Desember 1985, menyelesaikan Pendidikan S1 bidang Teknik Lingkungan dari Universitas Diponegoro Semarang tahun 2009, dan S2 bidang Magister Sistem Teknik Konsentrasi Teknologi Pengelolaan dan Pemanfaatan Sampah dan Limbah Perkotaan tahun 2011. Minat keilmuan saat ini adalah biogas, air bersih, AMDAL/UKL-UPL dan Audit Energi. Saat ini penulis bekerja sebagai staf pengajar di Program Studi Teknik Energi Institut Teknologi Yogyakarta (STTL-YLH).

PENGOLAHAN LIMBAH RUMAH TANGGA DENGAN MENGGUNAKAN BUFFLED UP-FLOW REACTOR

Wuryani Artiningsih¹, Rita Dewi Triastianti²

^{1,2}Dosen Tetap Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Yogyakarta

¹Email: kurniafw21@gmail.com

Masuk: 21 Juni 2017, Revisi masuk: 10 Januari 2018, Diterima: 28 Januari 2018

ABSTRACT

Environmental problems occur because the act of a human hand which then cause disturbance to the environment. Household or domestic activities such as can be and has been shown to cause a decline in water quality. With increasing liquid waste disposal, pollution is increasing so that pollute the environment. Therefore, the authors wish to conduct research of domestic waste water with the aim to reduce levels of phosphate, nitrite and detergent.

In domestic wastewater/sewage household, the authors chose to use anaerobic processing using buffled up-flow reactor were made using glass with a length of 100cm, width 25 cm and height 30 cm. The results obtained for the effluent phosphate levels for 0.3502 mg/L on the second replay (the second day), nitrite by 0.1206 mg/L on the second replay (the second day) and detergent was 0.2799 mg/L in the first repeat (on the first day) in terms of the processing of the buffled up-flow reactor capable of lowering the levels of phosphate, nitrite and detergent in water and wastewater. Removal efficiency obtained from the results of wastewater treatment with buffled up-flow reactor for phosphate content of 47.3%,-13.30% and detergents nitrite 57.8%.

Keywords: *Buffled Up-Flow Reactor, Detergent, Nitrite, Phosphate.*

INTISARI

Pembuangan limbah cair mencemari lingkungan. Oleh karena itu penulis ingin melakukan penelitian terhadap air limbah domestik dengan tujuan untuk mengetahui hasil effluent dari pengolahan anaerobik limbah rumah tangga/domestik, mengetahui kemampuan menurunkan parameter fosfat, nitrit dan deterjen dan untuk mengetahui efisiensi pengolahan limbah cair rumah tangga dengan *buffled up-flow reactor* yang dibuat menggunakan kaca dengan panjang 100 cm, lebar 25 cm dan tinggi 30 cm.

Penelitian ini dilakukan di daerah Sorowajan Lama No 193 Banguntapan Bantul Yogyakarta, waktu penelitian dimulai pada bulan Juni-Juli 2014. Variabel penelitian adalah: variabel bebas menggunakan pengolahan secara anaerobik dengan lama waktu perlakuan 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, 5 hari dan variabel terikat meliputi parameter fosfat, nitrit, dan deterjen.

Hasil effluent yang didapat untuk kadar fosfat sebesar 0,3502 mg/L pada ulangan kedua (di hari kedua), nitrit sebesar 0,1206 mg/L pada ulangan kedua (hari kedua) dan deterjen sebesar 0,2799 mg/L pada ulangan pertama (di hari pertama). Ditinjau dari hasil pengolahan, *buffled up-flow reactor* mampu menurunkan kadar fosfat, nitrit dan deterjen dalam air limbah. Efisiensi penurunan yang didapat dari hasil pengolahan air limbah dengan buffled up-flow reactor untuk kadar fosfat 47,3%, nitrit - 13,30% dan deterjen 57,8%.

Kata kunci: *Buffled Up-Flow Reactor, Detergen, Nitrit, Fosfat.*

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan untuk hajat hidup orang banyak, bahkan oleh semua makhluk hidup. Oleh karena itu sumber daya air

harus dilindungi agar tetap dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia serta makhluk hidup yang lain. Kegiatan rumah tangga atau domestik misalnya dapat dan telah terbukti menyebabkan

menurunkan kualitas air. Dalam kehidupan saat ini, tempat permukiman lebih terpusat pada sebuah kawasan. Hal ini menimbulkan masalah-masalah baru terutama pada sistim saluran pembuangan limbah cair di perkotaan. Cara pembuangan limbah cair secara alamiah sebelumnya yaitu mengalirkannya ke sungai pernah dianggap berhasil dan mula-mula tidak menimbulkan permasalahan. Namun dengan meningkatnya pembuangan limbah cair, pencemaran semakin meningkat sehingga mencemari lingkungan.

Hal ini seperti yang telah terjadi di Wilayah Sewon Bantul, menunjukkan hasil pemeriksaan air limbah domestik untuk kadar fosfat 35,90 mg/L, nitrit 1,9155 mg/L dan deterjen 2,531 mg/L.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan terhadap air limbah domestik

Parameter	Satuan	Hasil pemeriksaan	Kadar maksimum
Phospat	mg/L	35,90	5
Nitrit	mg/L	1,9155	1
Deterjen	mg/L	2,531	5

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar fosfat, nitrit, dan deterjen pada air limbah domestik. Dalam pengolahan air limbah domestik/limbah rumah tangga, dipilih menggunakan pengolahan anaerobik dengan menggunakan *buffled up-flow reactor*. Pengolahan *anaerobik* adalah pengolahan air limbah dengan menggunakan bakteri anaerob atau tanpa membutuhkan oksigen dalam proses pengolahan atau penguraian air limbahnya oleh bakteri. Pengolahan anaerob dapat digunakan dalam proses pengolahan air limbah industri dan air limbah domestik. Dan telah direkomendasikan oleh beberapa peneliti (Nachaiyasit and Stucky, 1997; Barber and Stucky, 1999; Wang et al., 2004).

Berdasarkan latar belakang di atas dirumuskan masalah: 1) apakah limbah rumah tangga dapat diolah dengan *buffled up-flow reactor*, 2) apakah *buffled up-flow reactor* dapat menurunkan kadar fosfat, nitrit, dan deterjen sebagai parameter dalam karakteristik kimia dalam air limbah, dan 3) faktor apa yang

mempengaruhi proses pengolahan air limbah. Tujuan penelitian ini adalah: 1) untuk mengetahui hasil effluent dari pengolahan anaerobik limbah rumah tangga, 2) untuk mengetahui kemampuan menurunkan parameter fosfat, nitrit dan deterjen dalam mengolah limbah rumah tangga, dan 3) untuk mengetahui efesiensi pengolahan limbah cair rumah tangga dengan *buffled up-flow reactor*.

Limbah cair domestik adalah hasil buangan dari perumahan, bangunan perdagangan, perkantoran dan sarana sejenisnya. Menurut Hammer (1985), volume limbah cair dari daerah perumahan bervariasi dari 200 sampai 400 liter per orang per hari tergantung pada tipe rumah. Aliran tersebut berasal dari rumah keluarga tunggal yang mempunyai beberapa kamar mandi, mesin cuci otomatis, dan peralatan lain yang menggunakan air.

Buffled up-flow reactor adalah unit operasi pengolahan limbah untuk air buangan limbah rumah tangga yang sebagian berupa komponen sabun terlarut diantaranya unsur fosfat dan nitrat yang dapat menimbulkan pendangkalan (eutropikasi) suatu perairan. Dalam reaktor ini limbah rumah tangga akan diolah oleh mikroorganisme yang ada dalam limbah itu sendiri.

Berdasarkan proses pengolahannya, limbah cair dapat dibedakan menjadi tiga yaitu: 1) pengolahan fisik, 2) pengolahan kimia, dan 3) pengolahan biologi. Dalam pengolahan limbah cair ada beberapa proses tahapan pengolahan yang harus dilakukan diantaranya: 1) pengolahan pendahuluan (*pre treatment*), 2) pengolahan pertama (*primary treatment*), 3) pengolahan kedua (*secondary treatment*), 4) pengolahan ketiga (*tertiary treatment*), dan 5) pengolahan lanjutan (*ultimate disposal*).

Berdasarkan proses pengolahannya, pengolahan biologis terdiri dari: 1) pengolahan secara aerobik, bakteri memerlukan oksigen dalam menguraikan zat-zat yang ada di dalam limbah cair, 2) pengolahan anaerobik, bakteri yang ada di unit pengolahan biologi tidak memerlukan oksigen dalam menguraikan zat-zat yang ada di dalam limbah cair.

Dalam pengolahan air limbah domestik menggunakan pengolahan anaerobik, yaitu pengolahan air limbah dengan menggunakan bakteri anaerob atau tanpa membutuhkan oksigen dalam proses pengolahan atau penguraian air limbahnya oleh bakteri. Pengolahan anaerob dapat digunakan dalam proses pengolahan air limbah industri dan air limbah domestik (McCarty and Smith, 1986). Dan telah direkomendasikan oleh beberapa peneliti (Nachaiyasit and Stucky, 1997; Barber and Stucky, 1999; Wang et al., 2004).

Pengolahan air limbah secara anaerobik mempunyai kelebihan dan kekurangan bila dibandingkan dengan proses pengolahan lainnya. Kelebihan pengolahan anaerob antara lain efisiensi yang tinggi, mudah dalam konstruksi dan pengoperasiannya, membutuhkan lahan/ruang yang tidak luas, membutuhkan energi yang sedikit, menghasilkan lumpur yang sedikit, membutuhkan nutrisi dan kimia yang sedikit berikut (Metcalf and Eddy, 2003). Kekurangan pada pengolahan anaerob adalah penyisihan kandungan nutrisi dan patogen yang rendah, membutuhkan waktu yang lama untuk *start-up*, menimbulkan bau.

Air limbah bila tidak diolah dengan baik akan menimbulkan dampak atau pengaruh yang tidak baik terhadap lingkungan, maupun terhadap kehidupan terutama di daerah pemukiman seperti gangguan terhadap kesehatan, gangguan terhadap kehidupan biotik, dan gangguan terhadap keindahan.

Penelitian ini dilakukan di Sorowajan Lama No 193 Banguntapan Bantul Yogyakarta, pada awal bulan Juni-Juli 2014. Variabel penelitian terdiri dari: 1) variabel bebas (*independent variable*) meliputi: lama waktu perlakuan 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, 5 hari; dan 2) variabel terikat (*dependent variable*) meliputi fosfat, nitrit dan deterjen.

Bahan yang digunakan penelitian adalah air limbah domestik dari IPAL Sewon, Bantul, sedangkan alat-alat yang digunakan meliputi: *beaker* gelas 1 liter, botol aqua 300 ml 5 buah, jerigen, *buffled up-flow reactor* yang dibuat

menggunakan kaca dengan bagian dalam bersekat, gayung, ember.

Tahap penelitian meliputi: 1) Pengambilan sampel menggunakan ember, kemudian dimasukkan ke jerigen sebanyak 75 L. 2) Menyiapkan alat (*buffled up-flow reactor*) yang dibuat menggunakan kaca dengan panjang 100 cm, lebar 25 cm dan tinggi 30 cm. Setelah dijadikan reaktor lalu dicat hitam supaya diperoleh nuansa gelap agar terhindar dari kontak sinar matahari. 3) Pemeriksaan parameter air limbah sebelum diolah. 4) Langkah kerja penelitian adalah uji pengolahan limbah rumah tangga dengan *buffled up-flow reactor* dilakukan dengan proses anaerobik. 5) Limbah cair rumah tangga yang diambil dari inlet IPAL dimasukkan ke dalam *buffled up-flow reactor* dengan waktu tinggal 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari. 6) Untuk proses *batch*, volume limbah yang diolah tetap pada nilai tertentu tanpa dilakukan penambahan cairan lain ke dalam reaktor yang sudah berisi limbah cair rumah tangga. Dengan model satu kali masuk setelah hari ke 5 dilakukan *sampling* efluen dengan parameter pada 1 hari pertama saat air limbah eter fosfat, nitrit dan deterjen dengan berulang masing-masing 3 kali. 7) Menyiapkan botol aqua untuk mengisi air limbah pada 1 hari pertama saat air limbah diolah dan dilakukan terus hingga 5 hari itu terisi. 8) Sampel efluen dibawa ke laboratorium untuk dianalisa dengan volume masing-masing 300 ml. Perhitungan volume adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= P \times L \times T \\ &= 100 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ &= 75000 \text{ cm}^3 = 75 \text{ liter.} \end{aligned}$$

Analisis data penelitian menggunakan analisis efisiensi, dengan rumus efisiensi:

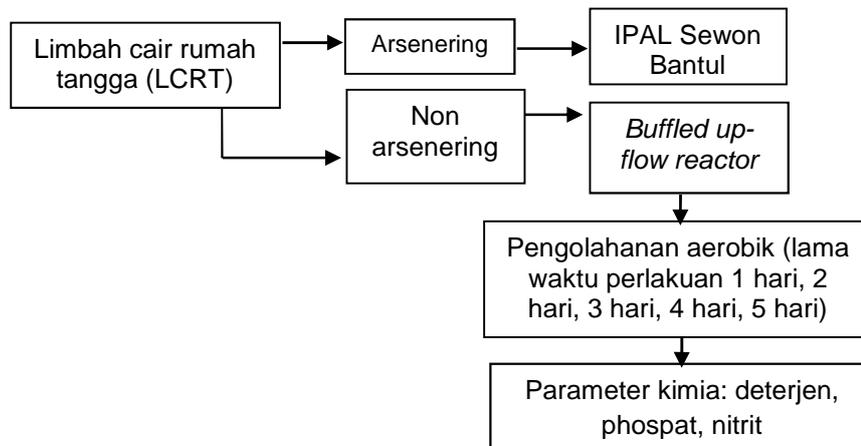
$$\text{Ef} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan:

Ef : efisiensi

C1 : limbah akhir

C0 : limbah awal



Gambar 1. Diagram alir penelitian

PEMBAHASAN

Tabel 2 menampilkan hasil penelitian sebelumnya, sedangkan Tabel 3 adalah limbah awal/kontrol. Dalam Tabel 4 pada ulangan pertama terjadi penurunan kadar fosfat mulai hari pertama sebesar 0,4237 mg/L, hari kedua 0,4140 mg/L, hari ketiga 0,3920 mg/L sampai hari keempat sebesar 0,3540 mg/L dan kembali naik pada hari ke lima sebesar 0,3824 mg/L. Ini dikarenakan pada hari kelima nutrisi yang ada di air limbah sudah berkurang sehingga bakteri semakin sedikit untuk mengurai air limbah.

Berdasarkan Tabel 4 pada ulangan kedua menunjukkan penurunan kadar fosfat pada hari pertama sebesar 0,4226 mg/L sampai hari kedua sebesar 0,3502 mg/L dan kembali naik pada hari ketiga sebesar 0,3649 mg/L, hari

keempat sebesar 0,3920 mg/L dan hari kelima sebesar 0,4044 mg/L. Ini dikarenakan di hari ketiga sampai hari kelima nutrisi di dalam air limbah sudah berkurang sehingga bakteri semakin sedikit untuk mengurai air limbah.

Pada ulangan ketiga berdasarkan Tabel 4, menunjukkan adanya penurunan kadar fosfat pada hari pertama sebesar 0,4092 mg/L, hari kedua sebesar 0,3845 mg/L sampai hari ke tiga sebesar 0,3778 mg/L dan kembali naik pada hari ke empat sebesar 0,4081 mg/L dan hari kelima sebesar 0,4210 mg/L. Ini dikarenakan di hari keempat dan hari kelima nutrisi yang ada dalam air limbah sudah berkurang sehingga bakteri semakin sedikit untuk mengurai air limbah.

Tabel 2. Hasil penelitian sebelumnya (Aditya, 2008)

Parameter	Satuan	Data Sekunder	Metode Uji	Kadar Maksimum
Phospat**	Mg/L	35,90	SNI 06-6989.31-2005	5
Nitrit**	Mg/L	1,9155	SNI 06-6989.9-2004	1,0
Deterjen*	Mg/L	2,531	SNI 06-6989.51-2005	5

(*)Baku mutu menurut Peraturan Gubernur DIY No.7 Tahun 2010 Kegiatan IPAL Domestik Komunal
(**) Baku mutu menurut Peraturan Gubernur DIY No.7 Tahun 2010 untuk Kegiatan Lainnya

Tabel 3. Limbah awal/kontrol

Parameter	Satuan	Limbah Awal	Metode Uji	Kadar Maksimum
Phospat**	Mg/L	0,6899	SNI 06-6989.31-2005	5
Nitrit**	Mg/L	0,1082	SNI 06-6989.9-2004	1,0
Deterjen*	Mg/L	0,9028	SNI 06-6989.51-2005	5

(*)Baku mutu menurut Peraturan Gubernur DIY No.7 Tahun 2010 Kegiatan IPAL Domestik Komunal
(**) Baku mutu menurut Peraturan Gubernur DIY No.7 Tahun 2010 untuk Kegiatan Lainnya
Kadar maksimum berdasarkan Lampiran I, Kep.Gub.DIY No.7 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair Domestik. Phospat dan Nitrit tidak dipersyaratkan (-)

Hasil penurunan fosfat

Data hasil penelitian kadar fosfat dalam pengolahan limbah rumah tangga dengan menggunakan *buffled up-flow reactor* dapat dilihat pada Tabel 4.

Hasil penurunan nitrit

Hasil penurunan Nitrit dalam pengolahan limbah rumah tangga dengan menggunakan *buffled up-flow reactor* dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, pada ulangan pertama menunjukkan adanya penurunan kadar nitrit mulai dari hari pertama sebesar 0,1406 mg/L, hari kedua sebesar 0,1349 mg/L, hari ketiga sebesar 0,1292 mg/L sampai hari ke empat sebesar 0,1255 mg/L dan kembali naik pada hari ke lima sebesar 0,1339 mg/L. Ini dikarenakan di hari keempat dan hari kelima nutrisi yang ada dalam air limbah sudah berkurang sehingga bakteri semakin sedikit untuk mengurai air limbah.

Pada ulangan kedua berdasarkan Tabel 5, menunjukkan adanya penurunan kadar Nitrit pada hari pertama sebesar 0,1430 mg/L sampai hari ke dua sebesar 0,1206 mg/L dan kembali naik pada hari ke tiga sebesar 0,1232 mg/L sampai hari keempat sebesar 0,1351

mg/L dan pada hari kelima turun sebesar 0,1332 mg/L. Ini dikarenakan pada ulangan pertama di atas menyisihkan kandungan nutrisi dan patogen yang rendah sehingga pada ulangan kedua menghasilkan variasi penurunan karena tingkat beban yang dihasilkan nutrisi tidak stabil.

Berdasarkan Tabel 5 pada ulangan ketiga menunjukkan adanya penurunan kadar nitrit pada hari pertama sebesar 0,1396 mg/L, hari kedua sebesar 0,1345 mg/L sampai hari ketiga sebesar 0,1217 mg/L dan kembali naik pada hari keempat sebesar 0,1394 mg/L dan pada hari kelima turun sebesar 0,1393 mg/L. Ini dikarenakan di hari pertama sampai hari ketiga dalam mempercepat proses penguraian membutuhkan efisiensi yang tinggi sehingga di hari keempat kandungan nutrisi sudah berkurang sehingga pada hari keempat kadar Nitrit kembali naik dan di hari kelima kembali turun karena tingkat beban yang dihasilkan nutrisi sedikit.

Hasil penurunan deterjen

Data hasil penelitian kadar deterjen dalam pengolahan limbah rumah tangga dengan menggunakan *buffled up-flow reactor* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 4. Hasil penurunan fosfat ulangan I,II, dan III

Parameter	Limbah Awal (mg/L)	Hasil Uji (mg/L)				
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Phospat ulangan 1	0,6899	0,4237	0,4140	0,3920	0,3542	0,3824
Phospat ulangan 2	0,6899	0,4226	0,3502	0,3649	0,3920	0,4044
Phospat ulangan 3	0,6899	0,4092	0,3845	0,3778	0,4081	0,4210

Tabel 5. Hasil penurunan nitrit ulangan I, II dan III

Parameter	Limbah Awal (mg/L)	Hasil Uji (mg/L)				
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Nitrit ulangan 1	0,1082	0,1406	0,1349	0,1292	0,1255	0,1339
Nitrit ulangan 2	0,1082	0,1430	0,1206	0,1232	0,1351	0,1332
Nitrit ulangan 3	0,1082	0,1396	0,1345	0,1217	0,1394	0,1393

Tabel 6. Hasil penurunan deterjen ulangan I, II dan III

Parameter	Limbah Awal (mg/L)	Hasil Uji (mg/L)				
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Deterjen ulangan 1	0,9028	0,2799	0,3060	0,3288	0,3411	0,4111
Deterjen ulangan 2	0,9028	0,4142	0,4381	0,4426	0,4456	0,4462
Deterjen ulangan 3	0,9028	0,4804	0,4662	0,4487	0,4735	0,4624

Berdasarkan Tabel 6 pada ulangan pertama menunjukkan adanya penurunan kadar deterjen pada hari pertama sebesar 0,2799 mg/L dan kembali naik pada hari ke dua sebesar 0,3060 mg/L, hari keempat sebesar 0,3288 mg/L sampai hari kelima sebesar 0,4111 mg/L. Ini dikarenakan di hari kedua sampai hari kelima kandungan nutrisi yang ada di dalam limbah berkurang sehingga kandungan bakteri juga semakin sedikit untuk mengurai air limbah.

Berdasarkan Tabel 6 pada ulangan kedua menunjukkan adanya penurunan kadar deterjen pada hari pertama sebesar 0,4142 mg/L dan kembali naik pada hari ke dua sebesar 0,4381 mg/L dan di hari ke tiga sebesar 0,4426 mg/L, hari keempat 0,4456 mg/L sampai hari kelima sebesar 0,4462 mg/L. Ini dikarenakan di hari ke dua sampai hari kelima kandungan nutrisi yang ada di dalam limbah berkurang sehingga kandungan bakteri juga semakin sedikit untuk mengurai air limbah.

Pada ulangan ketiga menunjukkan adanya penurunan kadar deterjen pada hari pertama sebesar 0,4804 mg/L, hari kedua sebesar 0,4662 mg/L sampai hari ketiga sebesar 0,4487 mg/L dan kembali naik pada hari keempat sebesar 0,4735 mg/L dan turun lagi di hari ke lima sebesar 0,4624 mg/L. Ini dikarenakan di hari pertama sampai hari ketiga dalam mempercepat proses penguraian membutuhkan efisiensi yang tinggi sehingga di hari ke empat kandungan nutrisi sudah berkurang sehingga pada hari keempat kadar deterjen kembali naik dan di hari kelima kembali turun karena tingkat beban yang dihasilkan nutrisi sedikit.

Efisiensi Penurunan Phospat

Berdasarkan Gambar 2, efisiensi penurunan kadar fosfat dari hari pertama sampai hari keempat ini dikarenakan di hari pertama sampai hari ketiga dalam mempercepat proses penguraian membutuhkan efisiensi yang tinggi sehingga di hari ke empat kandungan nutrisi sudah berkurang sehingga pada hari keempat kadar fosfat kembali naik dan di hari kelima kembali turun karena tingkat beban yang dihasilkan nutrisi sedikit sehingga bakteri juga semakin sedikit untuk mengurai nutrisi dalam air limbah.

Berdasarkan Gambar 3 efisiensi penurunan fosfat dari hari pertama sampai hari kedua dan kembali naik pada hari ketiga sampai hari kelima. Ini dikarenakan di hari ke dua sampai hari kelima kandungan nutrisi yang ada di dalam limbah berkurang sehingga kandungan bakteri juga semakin sedikit untuk mengurai air limbah.

Berdasarkan Gambar 4 efisiensi penurunan kadar Fosfat pada hari pertama sampai hari ketiga dan kembali naik di hari keempat dan hari kelima Ini dikarenakan di hari pertama sampai hari ketiga dalam mempercepat proses penguraian membutuhkan efisiensi yang tinggi sehingga di hari keempat sampai hari kelima kandungan nutrisi sudah berkurang sehingga bakteri juga berkurang dalam mengurai nutrisi yang ada dalam air limbah.

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar fosfat pada Gambar 2. Berdasarkan Tabel 8, diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar fosfat pada Gambar 3. Berdasarkan Tabel 9 diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar fosfat pada Gambar 4.

Tabel 7. Efisiensi penurunan fosfat air limbah ulangan pertama

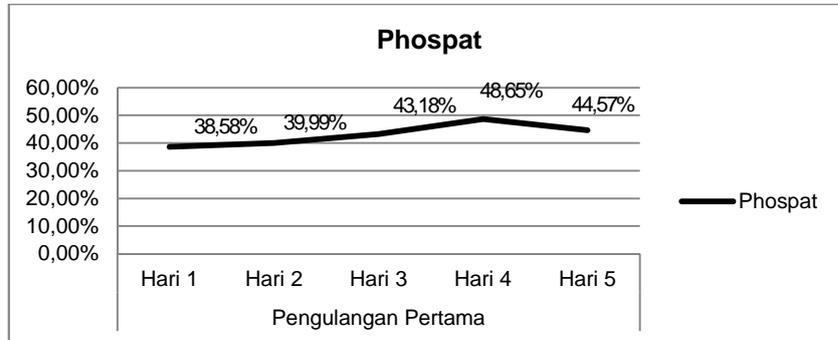
Parameter	Pengulangan Pertama				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Phospat	38,58%	39,99%	43,18%	48,65%	44,57%

Tabel 8. Efisiensi penurunan fosfat air limbah ulangan kedua

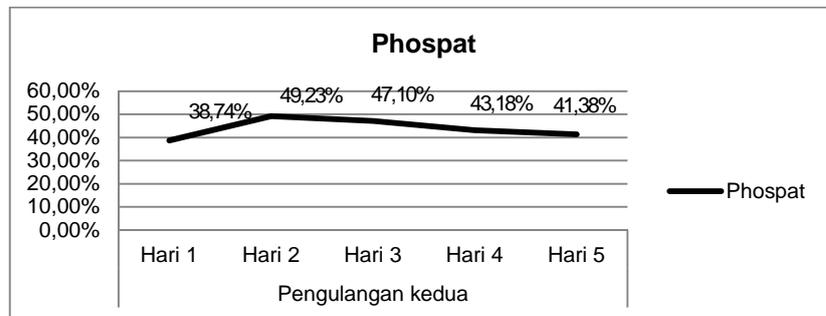
Parameter	Pengulangan Kedua				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Phospat	38,74%	49,23%	47,10%	43,18%	41,38%

Tabel 9. Efisiensi penurunan air limbah ulangan ketiga

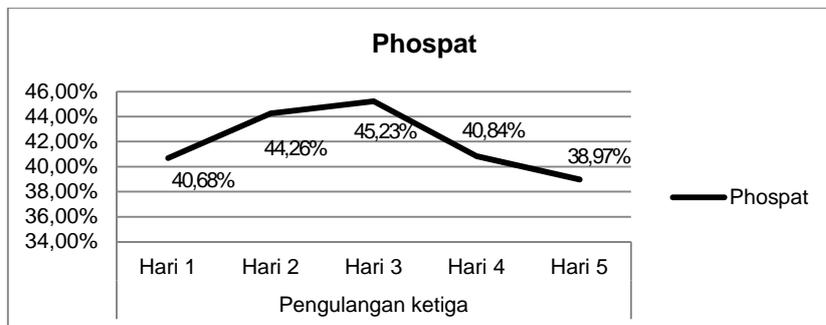
Parameter	Pengulangan Ketiga				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Phospat	40,68%	44,26%	45,23%	40,84%	38,97%



Gambar 2. Grafik efisiensi penurunan phospat



Gambar 3. Grafik efisiensi penurunan phospat



Gambar 4. Grafik efisiensi penurunan phospat

Efisiensi penurunan nitrit

Dilihat dari Gambar 5 efisiensi penurunan nitrit dari hari pertama sampai hari keempat. Ini dikarenakan di hari pertama sampai hari keempat dalam mempercepat proses penguraian membutuhkan efisiensi yang tinggi sehingga di hari keempat kandungan nutrisi sudah berkurang sehingga pada hari kelima kadar Phospat kembali naik karena tingkat beban yang dihasilkan nutrisi sedikit sehingga bakteri juga

semakin sedikit untuk mengurai nutrisi dalam air limbah.

Berdasarkan Gambar 6 efisiensi penurunan Nitrit dari hari pertama sampai hari kedua dan kembali naik pada hari ketiga sampai hari keempat dan turun lagi di hari kelima. Ini dikarenakan di hari kedua sampai hari ketiga kandungan nutrisi yang ada di dalam limbah berkurang sehingga kandungan bakteri juga semakin sedikit untuk mengurai air limbah. Dan pada hari

kelima kembali naik karena dalam air limbah Terjadi kontak dengan biomassa sehingga ada penurunan kadar nitrit

Dilihat dari Gambar 7 efisiensi penurunan kadar nitrit pada hari pertama sampai hari ketiga dan kembali naik pada hari keempat dan dari kelima. Ini dikarenakan dalam proses penguraian nutrisi dalam air limbah bakteri membutuhkan efisiensi yang tinggi sehingga pada hari keempat dan hari kelima kandungan nutrisi dan bakteri sudah berkurang sehingga tidak ada penurunan pada hari keempat dan kelima.

Efisiensi penurunan deterjen

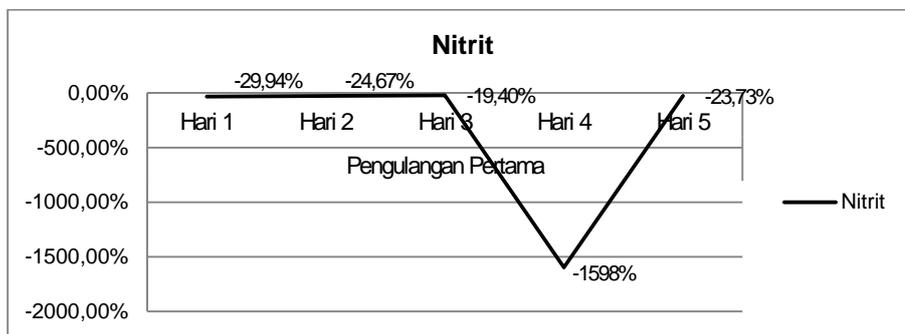
Dilihat dari Gambar 8 efisiensi penurunan deterjen dari hari pertama sampai hari kelima tidak terlihat adanya penurunan, ini dikarenakan penyisihan kandungan nutrisi dan bakteri yang rendah sehingga berpengaruh pada kecepatan proses penguraian.

Berdasarkan Gambar 9 efisiensi penurunan deterjen dari hari pertama sampai hari kelima tidak terlihat adanya penurunan, ini dikarenakan penyisihan kandungan nutrisi dan bakteri yang rendah sehingga berpengaruh pada kecepatan proses penguraian.

Dilihat dari Gambar 10, efisiensi penurunan deterjen pada hari pertama sampai hari ketiga dan naik kembali di hari keempat dan turun lagi pada hari kelima. Ini dikarenakan di hari pertama sampai hari ketiga dalam mempercepat proses penguraian membutuhkan efisiensi yang tinggi sehingga di hari keempat kandungan nutrisi sudah berkurang sehingga pada hari keempat kadar nitrit kembali naik dan di hari kelima kembali turun karena tingkat beban yang dihasilkan nutrisi sedikit sehingga bakteri semakin sedikit untuk mengurai air limbah. Berdasarkan Tabel 10 diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar nitrit seperti pada Gambar 5. Berdasarkan Tabel 11 diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar nitrit seperti Gambar 6. Berdasarkan Tabel 12 diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar nitrit seperti Gambar 7. Dari Tabel 13 diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar deterjen pada Gambar 8. Dari Tabel 14 diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar deterjen pada Gambar 9. Dari Tabel 15 diperoleh grafik efisiensi penurunan kadar deterjen pada Gambar 10.

Tabel 10. Efisiensi penurunan air limbah ulangan pertama

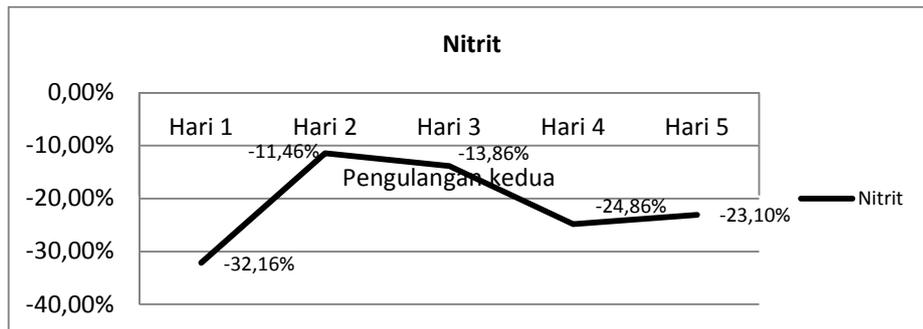
Parameter	Pengulangan Pertama				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Nitrit	-29,94%	-24,67%	-19,40%	-15,98%	-23,73%



Gambar 5. Grafik efisiensi penurunan nitrit

Tabel 11. Efisiensi penurunan air limbah ulangan kedua

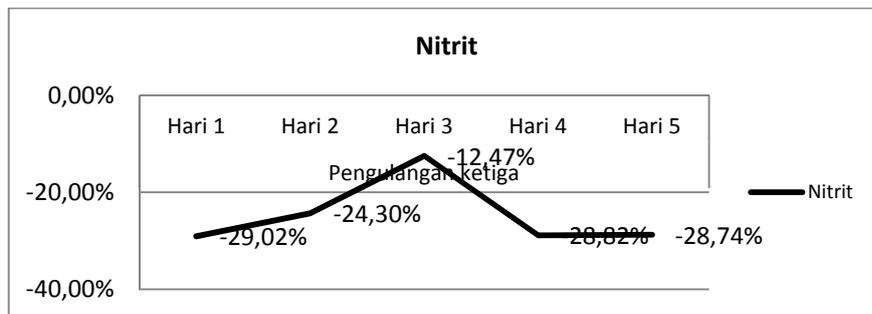
Parameter	Pengulangan ketiga				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Nitrit	-29,02%	-24,30%	-12,47%	-28,82%	-28,74%



Gambar 6. Grafik efisiensi penurunan nitrit

Tabel 12. Efisiensi penurunan air limbah ulangan ketiga

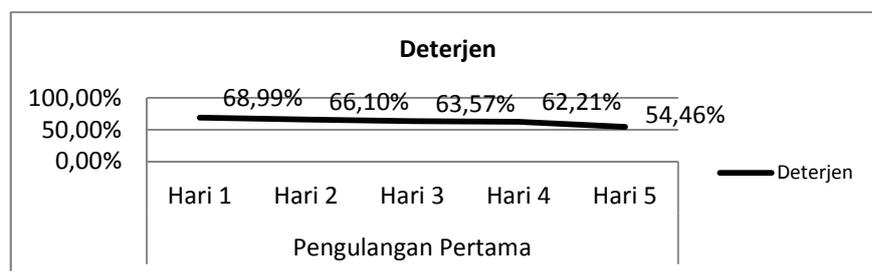
Parameter	Pengulangan kedua				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Nitrit	-32,16%	-11,46%	-13,86%	-24,86%	-23,10%



Gambar 7. Grafik efisiensi penurunan nitrit

Tabel 13. Efisiensi penurunan air limbah ulangan pertama

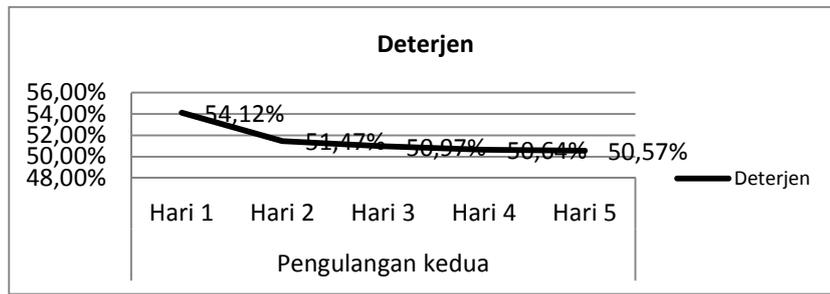
Parameter	Pengulangan Pertama				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Deterjen	68,99%	66,10%	63,57%	62,21%	54,46%



Gambar 8. Grafik efisiensi penurunan deterjen

Tabel 14. Efisiensi penurunan air limbah ulangan kedua

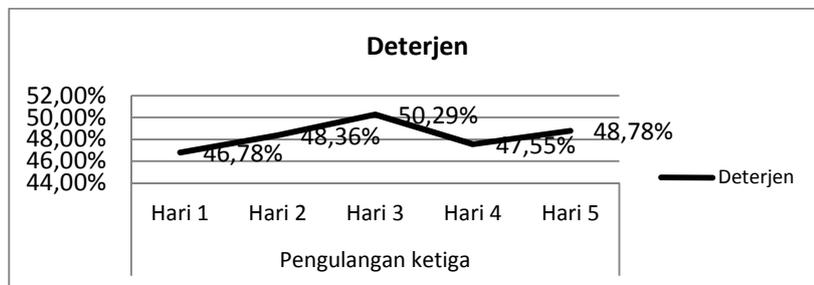
Parameter	Pengulangan Kedua				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Deterjen	54,12%	51,47%	50,97%	50,64%	50,57%



Gambar 9. Grafik efisiensi penurunan deterjen

Tabel 15. Efisiensi penurunan air limbah ulangan ketiga

Parameter	Pengulangan Ketiga				
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5
Deterjen	46,78%	48,36%	50,29%	47,55%	48,78%



Gambar 10. Grafik efisiensi penurunan deterjen

PEMBAHASAN

Phospat

Pada Gambar 2, 3, dan 4 dapat dilihat penurunan kadar phospat setelah pengolahan secara anaerobik dari hari pertama sampai hari keempat dan di hari kelima kembali naik. Efisiensi penurunan kadar phospat dari pengulangan pertama (hari keempat) sebesar 48,65%, pada pengulangan kedua (hari kedua) sebesar 49,23%, dan pada pengulangan ketiga (hari ketiga) sebesar 45,23%. Adanya penurunan kadar phospat disebabkan karena pada pengulangan pertama sampai ketiga bakteri anaerobik lebih cepat mengurai air limbah yang mengandung unsur phospat. Berdasarkan hasil analisa kadar phospat setelah pengolahan, *buffled up-flow reactor* mampu menurunkan kadar phospat dari 0,6899 mg/L menjadi 0,3502 mg/L dengan efisiensi rata-rata sebesar 47,3%.

Nitrit

Pada Gambar 5, 6, dan 7 dapat dilihat penurunan kadarn nitrit setelah melalui

pengolahan secara anaerobik mengalami penurunan dari hari pertama sampai hari keempat dan di hari kelima kembali naik. Efisiensi penurunan kadar nitrit pada pengulangan pertama (hari keempat) sebesar -15,98%, pada pengulangan kedua (hari kedua) sebesar -11,46%, dan pada pengulangan ketiga (hari ketiga) sebesar -12,47%. Adanya penurunan kadar nitrit disebabkan karena pada pengulangan pertama sampai ketiga dalam mempercepat proses penguraian, bakteri anaerobik (patogen) lebih cepat mengurai air limbah yang mengandung unsur phospat. Berdasarkan hasil analisa kadar phospat setelah pengolahan, *buffled up-flow reactor* mampu menurunkan kadar nitrit dari 0,1082mg/L menjadi 0,1206 mg/L dengan efisiensi rata-rata sebesar -13,30%.

Deterjen

Pada gambar 8, 9, 10 dapat dilihat penurunan kadar deterjen setelah pengolahan secara anaerobik dari hari pertama sampai hari ketiga dan di hari keempat kembali naik dan turun lagi di

hari kelima. Efisiensi penurunan kadar deterjen dari pengulangan pertama (hari pertama) sebesar 68,99%, pada pengulangan kedua (hari kedua) sebesar 54,12% dan pengulangan ketiga (hari ketiga) sebesar 50,29%. Adanya penurunan kadardeterjen disebabkan karena pada pengulangan pertama sampai ketiga, karena bakteri anaerobik (patogen) lebih cepat mengurai air limbah yang mengandung unsur deterjen. Berdasarkan hasil analisa kadar phospat setelah pengolahan, *buffled up-flow reactor* mampu menurunkan kadar deterjen dari 0,9028 mg/L menjadi 0,2799 mg/L dengan efisiensi rata-rata sebesar 57,8%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut. Pertama, hasil effluent yang didapat untuk kadar phospat sebesar 0,3502mg/L pada ulangan kedua (di hari kedua), nitrit sebesar 0,1206mg/L pada ulangan kedua (hari kedua) dan deterjen sebesar 0,2799 mg/L pada ulangan pertama (di hari pertama). Kedua, ditinjau dari hasil pengolahan maka *buffled up-flow reactor* mampu menurunkan kadar phospat, nitrit dan deterjen dalam air limbah. Ketiga, efisiensi penurunan yang didapat dari hasil pengolahan air limbah dengan *buffled up-flow reactor* untuk kadar phospat 47,3%, nitrit -13,30% dan deterjen 57,8%.

Saran

Agar hasil effluent di bawah nilai ambang batas yang dipersyaratkan, maka pengolahan air limbah rumah tangga setelah diolah secara biologi, dilanjutkan proses secara kimia dan fisika. Perlu adanya penelitian dengan parameter yang lebih lengkap. Dalam proses pengolahan dapat menggunakan proses anaerob dan aerob.

DAFTAR PUSTAKA

- Barber, W.P., Stuckey D.C., 1999, *The Use of The Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment*.
McCarty, P.L. and Smith, D.P., 1986, *Anaerobic Wastewater*

Treatment. Environmental Science & Technology.

Metcalf and Eddy, 1974, *Waste Water Engineering, Collection, Treatment Disposal*, Mc.Graw Hill Sems in Water Desources and Environment Engineering, USA.

Nachaiyasit, S., Stuckey, D.C., 1997, *The Effect of Shock Loads on The Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR): I, Step Changes in Feed Concentration at Constant Retention Time*.

Wang, J.L., Huang, Y.H., Zhao, X., 2004, *Performance & Characteristics of an Anaerobic Baffled Reactor*, Bioresour, Technol.

BIODATA PENULIS

Ir. Wuryani Artiningsih, M.Sc., lahir di Bantul pada tanggal 10 Februari 1960, menyelesaikan pendidikan S1 tahun 1991 bidang Teknik Lingkungan di Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan dan S2 bidang Ilmu Ekonomi di UPN "Veteran" Yogyakarta. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap Jurusan Teknik Lingkungan pada Institut Teknologi Yogyakarta dengan Jabatan Akademik Lektor.

Ir. Rita Dewi Triastianti, M.Si. lahir di Yogyakarta pada tanggal 22 Mei 1963, menyelesaikan pendidikan S1 tahun 1990 pada bidang Teknik Lingkungan di Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan dan S2 tahun 2007 bidang Kependudukan di Universitas Gadjah Mada. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap Jurusan Teknik Lingkungan pada Institut Teknologi Yogyakarta dengan Jabatan Akademik Lektor.

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI LIMBAH TERHADAP PENURUNAN KANDUNGAN TEMBAGA PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PROSES *ETCHING* DENGAN METODE ELEKTROLISIS

Fifin Hindarti

Teknik Energi, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Yogyakarta
Email: viendarti@yahoo.co.id

Masuk: 21 Juni 2017, Revisi masuk: 10 Januari 2018, Diterima: 28 Januari 2018

ABSTRACT

The waste water of copper board etching process in Printed Circuit Board (PCB) production is kind of heavy metal waste water, that is copper, which has not been treated yet. In order to prevent the environment contamination process the waste water should be treated before thrown to environment. The kind of waste water treatment that will be applied to the waste water with heavy metal content, specially copper metal (Cu) is electrolysis method.

The experiment was done in laboratory scale. The batch electrolysis reactor was used in this experiment, with the copper as katoda and stainless steel as anoda. Electrolysis process was conducted with waste concentration variation that was equal to 124,16; 110,96 ; and 35,84 ppm.

The result of the experiment shows that, the electrolysis method could reduce copper concentration in the waste water of etching process. The biggest efficiency degradation for the variation of waste concentration was happened at waste concentration 35,84 ppm, that was equal to 100%, with end result equal to 0 ppm. Waste concentration equal to 124,16 of ppm its result 96,24 ppm, and for concentration 110,96 ppm was got by result 0,35 ppm.

Keywords: Copper, Concentration, Electrolysis, Waste Water.

INTISARI

Limbah cair proses *etching* (pelarutan) papan tembaga dalam pembuatan Papan Rangkaian Tercetak (PRT) merupakan limbah cair yang mengandung logam berat yaitu tembaga (Cu), yang selama ini tidak diperhatikan pengolahannya. Untuk menghindarkan terjadinya pencemaran lingkungan maka diperlukan suatu pengolahan air limbah yang mampu menurunkan kandungan tembaga (Cu) di dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan, yaitu dengan metode elektrolisis.

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Alat yang dipakai dalam percobaan ini berupa reaktor elektrolisis secara *batch*, dengan katoda dari logam tembaga dan anodanya menggunakan stainless steel. Proses elektrolisis dilakukan dengan variasi konsentrasi limbah yaitu 124,16 ppm; 110,96 ppm; dan 35,84 ppm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode elektrolisis dapat menurunkan konsentrasi logam tembaga pada limbah cair proses *etching*. Proses elektrolisis pada konsentrasi awal 110,96 ppm, dengan variasi konsentrasi limbah diperoleh hasil efisiensi penurunan kadar Cu paling besar terjadi pada konsentrasi limbah 35,84 ppm, mencapai 100%, dengan hasil akhir sebesar 0 ppm. Konsentrasi limbah sebesar 124,16 ppm hasilnya 96,24 ppm, dan untuk konsentrasi 110,96 didapatkan hasil 0,35 ppm.

Kata-kata kunci: Elektrolisis, Limbah Cair, Tembaga (Cu), Konsentrasi

PENDAHULUAN

Pembuangan bahan kimia ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu, akhir-akhir ini semakin meningkat. Meskipun volumenya kecil,

namun jika hal ini dibiarkan dan terus menerus dilakukan, maka dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dan atau menimbulkan kerusakan lingkungan yang cukup serius.

Proses-proses sederhana yang menggunakan bahan kimia dalam tahap *finishing*, terkadang kurang memperhatikan dampak terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh pembuangan residu dari proses tersebut tanpa proses netralisasi terlebih dahulu. Sebagai contoh adalah limbah cair dari proses *etching* (pelarutan) dalam pembuatan Papan Rangkaian Tercetak (PRT) atau *Printed Circuit Board* (PCB), selama ini masih tidak dipikirkan.

Pengelolaan terhadap residu dari proses *etching* (pelarutan) dalam pembuatan Papan Rangkaian Tercetak (PRT) atau *Printed Circuit Board* (PCB), selama ini masih diabaikan. Pengguna biasanya membuang begitu saja ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu.

Bahan kimia yang umum digunakan dalam pembuatan PCB adalah *Ferri Chloride* (FeCl_3). Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses ini mempunyai sifat bahaya seperti korosif, asam kuat yang panas, iritan terhadap kulit manusia, dan dapat membunuh mikroorganisme dalam tanah, dan lain-lain. Selain residu *ferri Chloride*, proses pelarutan PCB tersebut juga menghasilkan air limbah dengan kandungan logam berat yaitu tembaga (Cu) yang cukup tinggi. Hal itu memerlukan adanya suatu pengolahan air limbah yang mampu menurunkan kandungan tembaga (Cu) di dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah 1) Apakah variasi konsentrasi limbah dalam proses elektrolisis berpengaruh terhadap penurunan kadar Cu (tembaga) yang terkandung dalam limbah proses pelarutan PCB? dan 2) Seberapa besar efisiensi variasi konsentrasi limbah dalam proses elektrolisis terhadap penurunan kandungan Cu dalam limbah cair proses pelarutan PCB?

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi limbah dalam pengolahan elektrolisis terhadap penurunan kadar tembaga (Cu) yang terkandung dalam limbah proses

pelarutan dan mengetahui efisiensi variasi konsentrasi limbah dalam proses elektrolisis terhadap penurunan kandungan Cu dalam limbah cair proses pelarutan PCB.

Pencemaran atau polusi adalah suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan yang lebih buruk. Pergeseran bentuk tatanan dari kondisi asal yang buruk ini dapat terjadi sebagai akibat masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan. Bahan polutan tersebut pada umumnya mempunyai sifat racun (toksik) yang berbahaya bagi organisme hidup. Toksisitas atau daya racun dari polutan inilah yang kemudian menjadi pemicu terjadinya pencemaran

Suatu lingkungan hidup dikatakan tercemar apabila telah terjadi perubahan-perubahan dalam tatanan lingkungan itu sehingga tidak sama lagi dengan bentuk asalnya, sebagai akibat dari masuk dan atau dimasukkannya suatu zat atau benda asing ke dalam tatanan lingkungan itu. Perubahan yang terjadi sebagai akibat dari masuknya benda asing itu, memberikan pengaruh (dampak) buruk terhadap organisme yang sudah ada dan hidup dengan baik dalam tatanan lingkungan tersebut.

Pencemaran yang dapat menghancurkan tatanan lingkungan hidup, biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) yang tinggi. Limbah-limbah yang sangat beracun pada umumnya merupakan limbah kimia, baik yang berupa persenyawaan kimia ataupun hanya dalam bentuk unsur atau ionisasi. Biasanya senyawa kimia yang sangat beracun bagi organisme hidup dan manusia adalah senyawa-senyawa kimia yang mempunyai bahan aktif dari logam berat.

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga), yang lebih dikenal sebagai sampah, yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Bila ditinjau secara kimiawi, limbah ini terdiri dari bahan kimia Senyawa organik dan

Senyawa anorganik. Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah.

Karakteristik limbah dipengaruhi oleh ukuran partikel (mikro), sifatnya dinamis, penyebarannya luas dan berdampak panjang atau lama. Sedangkan kualitas limbah dipengaruhi oleh volume limbah, kandungan bahan pencemar dan frekuensi pembuangan limbah. Berdasarkan karakteristiknya, limbah industri dapat digolongkan menjadi 4 yaitu limbah cair, limbah padat, limbah gas dan partikel serta limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) Untuk mengatasi limbah diperlukan pengolahan dan penanganan limbah. Pada dasarnya pengolahan limbah ini dapat dibedakan menjadi: pengolahan menurut tingkatan perlakuan pengolahan menurut karakteristik limbah.

Industri PCB tumbuh dan berkembang seiring dinamika yang menuntut produk elektronika memiliki bentuk yang kompak, ringkas dan sederhana. Dilaporkan peningkatan permintaan papan PCB dunia mencapai 8,7% pertahun [Perry's Chemical Engineers' Handbook, 2008].

Papan rangkaian tercetak (PRT) atau *Printed Circuit Board* (PCB) merupakan papan pemasangan komponen elektronika yang jalur hubungannya menggunakan papan berlapis tembaga.

Pembentukan jalur PCB dilakukan dengan cara *etching* (pelarutan), yang sebagian tembaga dilepaskan secara kimia dari suatu papan lapis tembaga kosong. Tembaga yang tersisa beserta alasnya itulah yang akan membentuk PCB. Untuk menghilangkan lapisan tembaga pada PCB yang tidak tergambar pola jalur adalah dengan melakukan *etching* (pelarutan).

Pelarutan dilakukan dengan menggunakan bahan kimia, diantaranya : *Ferri Chloride* (FeCl_3), *Natrium Sulfat* (Na_2SO_4), *Asam Nitrat* (HNO_3), dan *Asam Chloride. Hidrogen Peroksida* (HCl

+ H_2O_2). Dari proses pembuatan PCB dihasilkan air limbah yang mempunyai pH rendah. Larutnya tembaga pada air menyebabkan kadar tembaga (Cu) dalam air limbah proses pelarutan menjadi tinggi

Dari hasil pengujian laboratorium terhadap limbah cair sisa proses *etching* menunjukkan karakteristik yang sangat ekstrim dengan angka keasaman kisaran 0 – 1, konsentrasi tembaga yang dikandungnya sekitar 10% - 14% (140.000 mg/liter). Sehingga jika dihitung jumlah tembaga yang terlarut dalam limbah cair minimal 4.000 gram atau 4 kg dalam sehari. Secara visual, bau asam (HCl) sangat terasa serta warna larutan hijau pekat kehitaman [Handaru B.C., 2013].

Tembaga dengan nama kimia *Cuprum* dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodik unsur-unsur kimia, tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai berat atom (BA) sebesar 63,546.

Tembaga (Cu) adalah salah satu logam berat yang banyak digunakan dalam aktivitas manusia. Tembaga banyak digunakan dalam pewarna tekstil, bahan pembuatan peralatan dapur, dan katalisator dalam industri kimia. Cu merupakan logam berat esensial yaitu dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme dan dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan efek toksik. Tembaga bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan di atas 0,1 ppm. Konsentrasi yang aman bagi air minum manusia tidak lebih dari 1 ppm. Kadar baku mutu logam berat pada ikan untuk Cu sebesar 0,02 ppm (Achmad Rukaesih, 2004).

Dalam tubuh manusia keracunan Cu dapat menimbulkan kerusakan otak, penurunan fungsi ginjal, dan pengendapan Cu dalam kornea mata. Keracunan kronis Cu pada manusia dapat menimbulkan penyakit Wilson's dan Kinsky. Penyakit Wilson's disebabkan oleh tersimpannya Cu secara berlebihan dalam tubuh karena Cu tidak dapat direaksikan oleh hati melalui empedu. Penyakit ini dapat menyebabkan

kerusakan otak dan hati. Penyakit Kinsky disebabkan karena kadar Cu pada hati dan otak rendah sementara kadar Cu pada jaringan lain sangat tinggi. Cu juga tidak bisa diuraikan di alam, sehingga Cu akan diakumulasi di dalam tanaman dan hewan melalui tanah. Tanah yang kaya Cu berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme tanah dan cacing tanah serta menyebabkan dekomposisi senyawa organik sehingga mengurangi kesuburan tanah (Wahyu Widowati, dkk, 2008).

Tembaga dapat masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan secara alamiah sebagai akibat dari berbagai peristiwa alam. Unsur ini dapat bersumber dari peristiwa pengikisan (erosi) dari batuan mineral, debu-debu dan atau partikulat-partikulat tembaga yang ada dalam lapisan udara yang dibawa turun oleh air hujan. Selain itu tembaga dapat masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat dari aktivitas manusia.

Melihat bahaya yang ditimbulkan oleh logam Cu terhadap makhluk hidup, maka keberadaan Cu sebagai pencemar di lingkungan harus segera ditanggulangi. Namun harus diperhatikan pula penggunaan metode pengolahan yang dipilih tidak menimbulkan beban pencemaran yang baru, serta merupakan metode yang efektif dan efisien.

Untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup agar tetap bermanfaat bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya maka Menteri Lingkungan Hidup telah mengatur batasan kandungan logam tembaga dalam limbah cair industri yang boleh dibuang ke lingkungan sesuai dengan Baku Mutu Air Limbah (PermenLH, 2014).

Pengolahan limbah bertujuan untuk menurunkan kadar pencemar dari limbah dan mendapatkan *effluent* dari unit pengolahan limbah yang mempunyai kualitas yang dapat diterima lingkungan tanpa ada gangguan fisik, kimia dan biologi.

Air limbah mempunyai tiga karakteristik, yaitu karakter fisikawi, kimiawi, dan biologis. Karakter fisikawi, seperti warna, kekeruhan, suhu, kandungan padatan. Karakter kimiawi meliputi pH, alkalinitas, BOD, COD, N, P,

S, dan kemungkinan keberadaan logam berat. Sedangkan untuk karakter biologis ditandai dengan jumlah coliform, keberadaan jamur, virus, dan sebagainya.

Apabila limbah tidak dikelola dengan baik dan hanya langsung dibuang diperaian maka akan sangat mengganggu lingkungan disekitarnya. Sebagian industri yang akan membuang limbah diwajibkan mengolahnya terlebih dahulu untuk mencegah pencemaran lingkungan hidup di sekitarnya (Widjajanto, 2011).

Jika hal ini dibiarkan saja dan terus menerus, logam tembaga yang masih terkandung didalam limbah cair tersebut akan mencemari lingkungan. Limbah cair proses pelarutan PCB untuk saat ini hanya dibuang ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Jika hal ini dibiarkan saja dan terjadi terus menerus, maka bahan-bahan kimia yang masih terkandung di dalam residu proses tersebut akan mengganggu dan merusak lingkungan. Oleh karena itu suatu paket rancangan proses pengolahan limbah perlu dikembangkan. Salah satu paket rancangan yang akan dikembangkan adalah sistem koagulasi dan proses elektrolisis

Elektrolisis merupakan perubahan kimia atau reaksi dekomposisi dalam suatu elektrolit oleh arus listrik. Elektrolit larut dalam pelarut polar (semisal air) dengan terdisosiasi menjadi ion-ion positif (kation-kation) dan ion-ion negatif (anion-anion). Ion negatif melalui larutan tertarik ke muatan positif pada anoda, sedang ion positif melalui larutan akan bergerak menuju muatan negatif pada katoda (Isana, 2010).

Umumnya industri menyukai pengolahan limbah cair yang sederhana dan tidak membutuhkan biaya operasional yang tinggi. Beberapa referensi menyebutkan proses pengolahan skala laboratorium terhadap limbah cair kandungan/unsur tembaga memanfaatkan proses elektrolisis memberikan hasil efektif, persentase removal berkisar antara 96,88-99%. Namun ternyata dalam aplikasi dilapangan proses ini memerlukan biaya

operasional yang sangat mahal (Cahyono dan Ariani, 2014)

Cara-cara pengolahan logam berat pada umumnya memerlukan proses yang rumit dengan penambahan bahan-bahan kimia tertentu. Hal ini membuat pengolahan logam berat selain membutuhkan biaya pengolahan yang tinggi, juga dapat menimbulkan limbah baru akibat penambahan bahan-bahan kimia tertentu di dalam pengolahan tersebut.

Proses elektrolisis merupakan salah satu proses pengolahan limbah yang diharapkan dapat menurunkan kandungan logam berat dalam limbah dan tidak menimbulkan limbah baru dengan penambahan bahan-bahan kimia dalam pengolahan limbah

Pada proses elektrolisis jarak antar elektroda akan berpengaruh terhadap keberhasilan proses elektrolisis. Pada saat elektrolisis berlangsung terdapat ruang yang cukup antar elektroda untuk menampung deposit tembaga yang terbentuk. Dengan semakin lamanya proses elektrolisis menyebabkan menyempitnya ruang antar elektroda. Hal inilah yang menghambat laju proses elektrolisis (Cahyono dan Ariani, 2014).

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas pengolahan secara elektrolisis antara lain: penggunaan katalisator, luas permukaan elektroda, sifat logam bahan elektroda, dan konsentrasi pereaksi (Farid dkk., 2012). Selain itu, kuat arus dan tegangan listrik dapat mempengaruhi kinerja elektrolisis karena tergantung dari spesifikasi sumber listrik (Topayung, 2011).

Secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis antara lain:

- a. Kerapatan arus listrik
Kenaikan kerapatan arus akan mempercepat ion bermuatan membentuk inti kristal (flok)
- b. Waktu kontak/elektrolisis
Menurut Farady, jumlah ekuivalen bahan yang dihasilkan pada salah satu elektroda selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah listrik yang mengalir melalui sel elektrolisis, karena itu semakin lama

waktu elektrolisis maka semakin banyak endapan yang terbentuk.

- c. Tegangan
Arus listrik yang menghasilkan perubahan kimia mengalir melalui medium (logam atau elektrolit) karena adanya beda potensial atau tegangan listrik, karena tahanan listrik pada elektrolit jauh lebih besar daripada logam maka yang kita perhatikan adalah elektrolitnya dan batas antar logam (elektroda) dan elektrolitnya.
- d. Jarak Antar Elektroda
Besarnya jarak antar elektroda mempengaruhi besarnya hambatan elektrolit, makin besar jarak makin besar hambatannya, sehingga makin kecil arus yang mengalir.
- e. Kadar keasaman (pH)
Dalam proses elektrolisis ini terjadi reaksi pembentukan gas hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-), dengan semakin lama waktu kontak yang digunakan, maka semakin cepat juga pembentukan gas hidrogen dan ion hidroksida, apabila ion hidroksida yang dihasilkan semakin banyak maka akan menaikkan pH dalam air/larutan.
- f. Ketebalan Plat
Semakin tebal plat elektroda yang digunakan, daya kemagnetannya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam di dalam larutan juga semakin besar

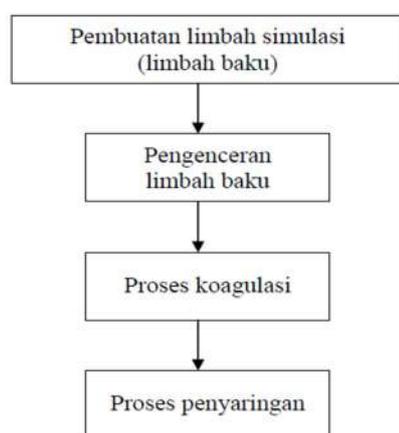
Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses elektrolisis terhadap penurunan kadar Cu (tembaga) dalam pengolahan limbah cair proses pelarutan PCB merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan dalam skala laboratorium. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi PCB polos ukuran 20 x 10 cm, *Ferri Chloride* ($FeCl_3$), $Ca(OH)_2$, dan Aquades.

Alat yang dipakai dalam percobaan pengolahan limbah cair pelarutan PCB adalah beaker glass, anoda stainless steel, katoda tembaga, adaptor dan kabel penghubung.

Ada 2 (dua) tahapan pokok dalam penelitian ini, yaitu : tahap persiapan dan

tahap penelitian. Tahap persiapan meliputi : mempersiapkan limbah simulasi, pengenceran limbah, dan proses koagulasi dengan koagulan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Setelah proses koagulasi, kemudian dilakukan penyaringan, sehingga Fe yang telah terendap tidak ikut dalam proses elektrolisis. Tahap persiapan tampak dalam diagram alir di Gambar 1.

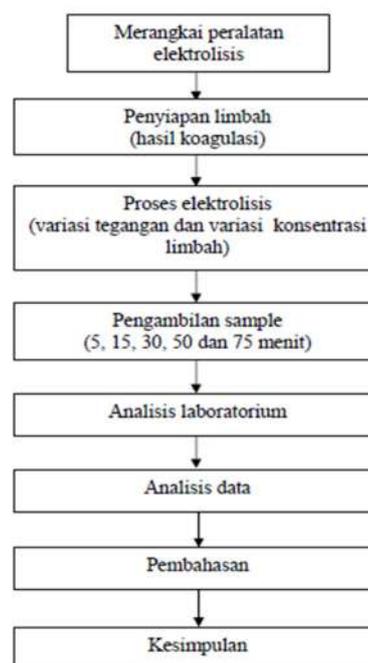


Gambar 1. Tahap Persiapan

Untuk tahap yang kedua adalah tahap penelitian. Tahap penelitian ini merupakan tahapan proses elektrolisis limbah pelarutan papan tembaga, yang sebelumnya telah dilakukan proses koagulasi. Gambar 2 menunjukkan diagram alir tahap penelitian.

Proses elektrolisis dengan variasi konsentrasi limbah, dilakukan untuk limbah yang diencerkan 5 kali, 10 kali, dan 15 kali (sebagai variasi konsentrasi), namun dilakukan hanya pada tegangan 12 V DC. Proses penelitian dimulai dengan memasukkan limbah pengenceran 5 kali yang telah dikoagulasi ke dalam peralatan elektrolisis. Kemudian mengambil air sampel sebanyak 25 ml, untuk waktu kontak 0 menit dan tegangan 0 V kemudian ditampung ke dalam botol sampel. Selanjutnya menyalakan adaptor pada tegangan 12 V dan mengambil air sampel hasil pengolahan setelah proses pengolahan berlangsung 5, 15, 30, 50, dan 75 menit dengan menggunakan pipet volume sebanyak 25 ml dan ditampung dalam gelas kimia. Setelah diendapkan selama 30 menit, kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel dan

diberi kode sesuai dengan waktu dan besarnya pengenceran. Untuk percobaan dengan pengenceran 10 kali dan 15 kali, dilakukan dengan langkah seperti pada proses elektrolisis dengan pengenceran 5 kali.



Gambar 2. Tahap Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimen dengan maksud untuk mengetahui pengaruh dan efisiensi proses elektrolisis terhadap penurunan dan penetralan kadar bahan pencemar dengan menggunakan variasi konsentrasi limbah yang masuk.

Hasil penelitian limbah cair dari proses pelarutan tembaga dalam pembuatan PCB sebelum dan sesudah proses elektrolisis dengan variasi konsentrasi limbah dianalisis dengan menggunakan alat AAS, kemudian dibandingkan. Dari hasil analisis dapat diketahui berapa besar penurunan kandungan tembaga (Cu) setelah dilakukan pengolahan dengan metode elektrolisis. Tingkat efisiensi proses elektrolisis dinyatakan dengan nilai sebelum dan sesudah proses, yaitu:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{S_0 - S_i}{S_0} \times 100\% \quad (1)$$

S_0 = kadar Cu sebelum perlakuan
 S_i = kadar Cu setelah perlakuan

PEMBAHASAN

Limbah baku yang digunakan merupakan limbah simulasi (buatan) dengan data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Bahan Limbah Simulasi

No	Bahan	Satuan	Banyaknya
1	Ferri Chloride	gram	100
2	PCB polos (10 x 20 cm)	gram	47,0876
3	Air	liter	1

Hasil penelitian karakteristik limbah baku yang dilakukan di laboratorium Analisis dengan Instrumen (ADIN) Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, ditampilkan pada Tabel 2. Data limbah hasil pengenceran dari limbah baku ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 2. Data Parameter Limbah Simulasi

No	Parameter	Satuan	Hasil uji
1	Cu	mg/l	3430,48
2	Fe	Mg/l	25403,67
3	pH	-	2

Tabel 3. Data Limbah Hasil Pengenceran

No	Parameter	Pengenceran	Hasil Uji (mg/l)	pH
1	Cu	5 kali	479,62	2
2	Cu	10 kali	239,81	2
3	Cu	15 kali	159,87	2

Jumlah kapur (Ca(OH)₂) yang diperlukan untuk proses koagulasi limbah setelah dilakukan pengenceran ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Koagulan

Pengenceran	Koagulan	Jumlah (gr)
5 kali	Ca(OH) ₂	13,6615
10 kali	Ca(OH) ₂	6,8307
15 kali	Ca(OH) ₂	4,5538
Pelarut		Jumlah (ml)
H ₂ O (Aquadess)		136,7
H ₂ O (Aquadess)		68,3
H ₂ O (Aquadess)		45,6

Data limbah hasil koagulasi dari limbah yang telah dilakukan pengenceran yang akan digunakan sebagai variasi konsentrasi limbah dalam proses elektrolisis ditunjukkan pada Tabel 5.

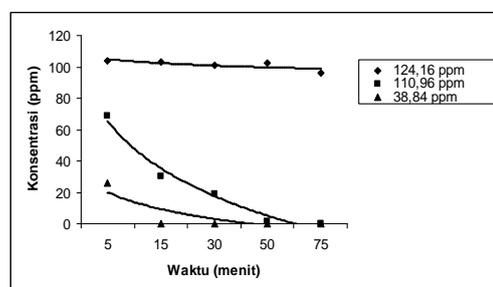
Tabel 5. Data Limbah Hasil Koagulasi

No	Parameter	Pengenceran	Hasil Uji (mg/l)	pH
1	Cu	5 kali	124,16	4
2	Cu	10 kali	110,96	4
3	Cu	15 kali	35,84	4

Hasil proses elektrolisis system BATCH terhadap limbah cair proses pelarutan PCB yang dianalisis secara laboratorium menggunakan AAS Hitachi 170-50A di laboratorium Analisis dengan Instrumen (ADIN) Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, menunjukkan penurunan kadar tembaga. Kuat arus yang digunakan sebesar 3 Ampere dan jarak plat 3 cm, variabel bebas yang digunakan terdiri dari variasi konsentrasi limbah yaitu 124,16 ppm, 110,96 ppm, dan 35,84 ppm. Hasil pengamatan terhadap penurunan konsentrasi Cu pada limbah cair proses pelarutan PCB setelah dilakukan pengolahan dengan metode elektroisis dengan memvariasi konsentrasi limbah dengan tegangan operasi 12 volt, ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 3.

Tabel 6. Hasil Elektrolisis Variasi Konsentrasi

Waktu (menit)	Konsentrasi Limbah (ppm)		
	124,16	110,96	35,84
5	104,16	68,51	25,94
15	103,17	29,90	0,20
30	101,19	19,01	0
50	102,18	1,08	0
75	96,24	0,35	0
pH = 9			



Gambar 3. Grafik Elektrolisis Variasi Konsentrasi Tegangan 12 V

Hasil pengamatan terhadap perubahan konsentrasi limbah

menunjukkan konsentrasi limbah 124,16 ppm, diperoleh konsentrasi hasil sebesar 96,24 ppm, sedangkan untuk konsentrasi umpan 110,96 didapatkan konsentrasi akhir sebesar 0,35 ppm, dan untuk konsentrasi limbah sebesar 35,84 ppm, diperoleh konsentrasi akhir 0 ppm (tidak terdeteksi). Tabel 7 berikut ini menunjukkan hasil perhitungan besarnya efisiensi penurunan konsentrasi tembaga setelah dilakukan proses elektrolisis dengan memvariasi konsentrasi limbah.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan Kadar Tembaga dengan Variasi Konsentrasi Limbah

Waktu (menit)	Efisiensi Penurunan (%)		
	124,16	110,96	35,84
5	16,11	38,26	27,62
15	16,91	73,05	99,44
30	18,50	82,87	100
50	17,70	99,03	100
75	22,49	99,68	100

Berdasarkan tabel 7 tersebut dapat dilihat penurunan konsentrasi tembaga pada masing-masing perlakuan variasi konsentrasi limbah, dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan kadar tembaga paling besar terjadi pada konsentrasi limbah 35,84 ppm, yaitu mencapai 100%.

Pada pengolahan limbah cair proses pelarutan PCB dengan konsentrasi 124,16 ppm terlihat bahwa kadar Cu yang dihasilkan masih tinggi, hal ini disebabkan oleh limbah yang terlalu pekat. Konsentrasi limbah yang besar (pekat) akan mempunyai daya hantar yang besar, sehingga akan menimbulkan arus listrik (*current density*) yang besar juga. Dengan adanya arus listrik yang besar maka ion bermuatan akan cepat membentuk flok, sehingga pada saat pengolahan flok yang dihasilkan sangat banyak dan menutupi permukaan katoda. Ketika permukaan plat katoda telah dipenuhi logam Cu, maka nilai kuat arus pada katoda menurun dan menyebabkan tahanan di katoda menjadi besar, sehingga kemungkinan mengikat Cu oleh katoda menjadi lambat atau kemampuan mengikat Cu turun.

Dari Tabel 6 untuk konsentrasi 35,84 ppm terlihat bahwa kadar Cu yang

dihasilkan sangat rendah. Dengan pemberian tegangan tetap (12 volt), maka pada pengolahan limbah dengan konsentrasi kecil didapatkan arus dan daya hantar yang kecil, serta nilai hambatan (R) yang cukup besar. Dengan kondisi tersebut pembentukan flok oleh ion bermuatan dalam air limbah tidak banyak, sehingga permukaan katoda masih dapat mereduksi Cu yang ada. Pada konsentrasi limbah yang kecil maka ion Cu yang akan direduksi lebih sedikit jumlahnya, sehingga dengan perlakuan tegangan yang sama (12 volt), Cu sudah dapat banyak tereduksi pada waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan pengolahan untuk limbah konsentrasi pekat. Berdasarkan pembahasan tersebut diketahui pengaruh konsentrasi limbah terhadap penurunan kadar Cu, yaitu konsentrasi kecil akan lebih cepat tereduksi dibanding konsentrasi yang besar.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, ternyata kadar Cu (tembaga) pada limbah proses pelarutan PCB mengalami penurunan setelah dilakukan pengolahan secara elektrolisis dengan variasi konsentrasi limbah, yang sebelumnya dilakukan perlakuan pendahuluan yaitu pengenceran dan proses koagulasi terhadap limbah baku. Hal tersebut menunjukkan terdapat perubahan kimia yang terjadi di dalam proses elektrolisis yang disebabkan oleh perubahan energi, yaitu dari energi listrik menjadi energi kimia. Arus listrik yang menghasilkan perubahan kimia mengalir melalui media (dalam penelitian yang dilakukan, arus listrik mengalir melalui media plat elektroda logam).

Reaksi reduksi dan oksidasi berlangsung pada bagian-bagian elektroda, elektroda tempat terjadinya proses oksidasi disebut anoda, dan elektroda tempat terjadinya proses reduksi disebut katoda. Di katoda akan terjadi pelepasan elektron sehingga elektron tersebut akan ditarik oleh ion tembaga (Cu^{2+}) ke bentuk Cu, hal ini dapat dilihat dalam reaksi katoda sebagai berikut:



Dalam proses di atas, Cu mengalami reduksi dengan menurunnya bilangan

oksidasi Cu dari (+2) menjadi Cu (s). Sehingga Cu^{2+} akan tereduksi sesuai muatan dan elektron yang diterimanya dari katoda, sehingga terjadi penurunan kadar tembaga dalam limbah proses pelarutan PCB.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi limbah berpengaruh terhadap besar kecilnya penurunan dan efisiensi penurunan kadar tembaga dalam limbah cair proses pelarutan PCB. Semakin kecil konsentrasi limbah dalam pengolahan maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan effluent dengan kadar tembaga rendah dari pengolahan secara elektrolisis.
2. Hasil proses elektrolisis dengan variasi konsentrasi limbah, efisiensi penurunan kadar tembaga dalam limbah cair proses pelarutan PCB tertinggi terjadi pada konsentrasi 35,84 ppm yaitu sebesar 100%.

SARAN

1. Agar proses elektrolisis berjalan dengan optimum dan juga untuk efisiensi alat, sebaiknya dilakukan penggantian plat elektroda, apabila plat telah banyak mengalami korosi, karena akan mempengaruhi proses dan efisiensi penurunan parameter limbah
2. Pengenceran limbah dapat dilakukan apabila konsentrasi atau kandungan logam dalam limbah sangat tinggi dan terdapat perbedaan potensial yang sangat besar antara elektroda dan elektrolit dengan kapasitas kuat arus yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, H.B. dan Ariani, N.M., 2014, Reduksi Tembaga dalam Limbah Cair Proses *Etching Printing Circuit Board* (PCB) dengan Proses Elektrokimia, *Journal of Industrial Research*, 8 (2).
- Handaru, B.C., 2013, Laporan Penelitian Perolehan Kembali Tembaga dalam Limbah Cair Industri Printing Circuit

Board dengan Proses Elektrolisis, (Baristand Industri Surabaya).

- Isana, S.Y.L., 2010, Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia & Pendidikan Kimia*, Yogyakarta, 30 Oktober 2010, hal. 1-9.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Jakarta.

Perry's Chemical Engineers' Handbook, 2008, 8th Edition, Mc Graw Hill.

Rukaesih, A., 2004, Kimia Lingkungan, Yogyakarta: Penebit Andi.

Topayung, D., 2011, Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan yang Terbentuk pada Proses Elektroplating Pelat Baja, *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(1).

Widjajanto, D., 2011, *Penurunan Logam Berat dan Kekeruhan Air Limbah Menggunakan Proses Elektrokoagulasi*, Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Jakarta, 2(1).

Widowati, W., Sastiono, A., Jusuf R., 2008, Efek Toksik Logam. Yogyakarta: Penerbit Andi.

BIODATA PENULIS

Fifin Hindarti, S.Pd.T., M.T. lahir di Yogyakarta tanggal 9 Februari 1978, menyelesaikan pendidikan D3 pada bidang Teknik Elektro dari Universitas Negeri Yogyakarta tahun 2002, S1 pada bidang Pendidikan Teknik Elektro dari Universitas Negeri Yogyakarta tahun 2005, dan S2 bidang Teknik Sistem/ Teknologi Pengelolaan dan Pemanfaatan Limbah/Sampah Perkotaan tahun 2007. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Energi, Institut Teknologi Yogyakarta dengan bidang minat ilmu bahan dan teknologi bahan; elektronika daya; teknik tenaga listrik, dan instrumen, alat bantu dan alat ukur.

POLA SEBARAN BATUBARA FORMASI NANGGULAN KABUPATEN KULONPROGO DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi¹, Dina Tania²

^{1,2}Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta
Email: ¹nurwidi@akprind.ac.id, ²dina.geoakprind@gmail.com

Masuk: 05 Januari 2018, Revisi masuk: 20 Januari 2018, Diterima: 30 Januari 2018

ABSTRACT

Coal is one of the energy resources still become the primary needs of strategic energy for sustaining national energy in Indonesia. This study discusses coal existence in Nanggulan Formation at Yogyakarta area. Coal distribution pattern in Nanggulan Formation can provide the geometry conception base on the geological research in Watupuru area encountered three coal outcrop (OC_1, OC_2, and OC_3) stratigraphically is at the bottom layer. Coal distribution in the research area influenced by the pattern of anticline structure which has the position of the wing of East and West with the relative anticline axis of north-south direction. Reconstruction results show there is two-seam of coal, for the first seam layer have 0,55 meters thickness and for the second seam layer have 20,57 meters thickness. Seam 1 of reconstructed surface data has spread on the East side of the anticline. Seam 2 stratigraphically under seam 1 of the reconstruction results indicate that the spread is close to the anticline axis and spreads on the east side of the anticline with a 26° slope and the western wing side of the anticline with a slope 10°.

Keywords: *Nanggulan Formation, distribution pattern, coal geometry, coal seam*

INTISARI

Batubara merupakan salah satu sumberdaya energi yang saat ini masih menjadi andalan strategis dalam menopang kebutuhan energi nasional. Salah satu obyek studi tentang batubara yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta adalah batubara yang berada di Formasi Nanggulan. Melihat pola sebaran batubara dapat memberikan gambaran bagaimana geometri batubara yang ada pada Formasi Nanggulan. Geologi penelitian di daerah Watupuru dan sekitar tersusun oleh Formasi Nanggulan yang di lapangan dijumpai 3 singkapan batubara (OC_1, OC_2, dan OC_3) yang secara stratigrafi berada di bagian bawah dari formasi ini. Sebaran batubara pada daerah penelitian dipengaruhi oleh pola struktur antiklin yang memiliki kedudukan sayap timur dan barat dengan sumbu antiklin relatif berarah utara selatan. Hasil rekonstruksi menunjukkan terdapat 2 *seam* batubara yaitu *seam 1* ketebalan 0,55 meter dan *seam 2* ketebalan 0,57 meter. *Seam 1* dari data permukaan direkonstruksi memiliki penyebaran pada sisi timur antiklin, sedangkan *seam 2* yang secara stratigrafi berada di bawah *seam 1*. Hasil rekonstruksi menunjukkan penyebaran berada dekat dengan sumbu antiklin dan menyebar pada sisi sayap timur antiklin dengan kemiringan 26° dan sisi sayap barat antiklin dengan kemiringan 10°.

Kata-kata kunci: Formasi Nanggulan, Pola Distribusi, Geometri Batubara, *Seam* Batubara.

PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumberdaya energi yang saat ini masih menjadi andalan strategis dalam menopang kebutuhan energi nasional. Studi tentang batubara terus dilakukan

untuk pengenal bagaimana batubara dipandang dari segi keilmuan maupun terapan. Salah satu obyek studi tentang batubara yang ada di daerah Daerah Istimewa Yogyakarta adalah batubara pada Formasi Nanggulan. Kondisi

geologi daerah Nanggulan dan sekitarnya memiliki karakteristik geologi yang menarik. Formasi Nanggulan yang berumur Eosen secara stratigrafi berada tidakselaras di bawah Formasi Andesit Tua (Raharjo, dkk, 1977).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola sebaran batubara melalui identifikasi karakteristik batubara di lapangan pada pengamatan profil singkapan dan pola struktur geologi. Dengan melihat pola sebaran batubara dapat memberikan gambaran geometri batubara yang ada pada Formasi Nanggulan tersebut. Penelitian ini bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan di bidang batubara dan diharapkan dapat menambah keyakinan terhadap faktor kontrol geologi yang mempengaruhi pola sebaran batubara sehingga memudahkan jika diaplikasikan pada kondisi geologi yang sama di daerah lain.

Lokasi penelitian berada di daerah Watupuru, Kecamatan Nanggulan dan Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta, berjarak 35 km ke arah barat dari Kota Yogyakarta. Secara kartografis Daerah penelitian tercatat di dalam Peta Rupabumi Digital Indonesia (RBI) terbitan Bakosurtanal dalam Lembar Sendang Agung 1408-232, serta termasuk dalam cakupan Peta Geologi Lembar Yogyakarta terbitan P3G, Bandung, 1995 (Rahardjo, dkk., 1995).



Gambar 1. Lokasi penelitian

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu studi pustaka, penelitian lapangan, analisis laboratorium dan pembuatan laporan.

Studi pustaka dilakukan guna memperoleh informasi dan mengumpulkan data sekunder melalui *review* publikasi penelitian terdahulu dan kajian teoretik, terutama tentang peranan kontrol geologi terhadap karakteristik dan pola sebaran batubara.

Penelitian di lapangan meliputi pengambilan data karakteristik lithologi baik itu batubara maupun batuan sedimen selain batubara, berupa struktur, tekstur dan komposisi mineral penyusun, bentang alam (morfologi) yang disusun oleh batuan tersebut, penggunaan lahan. Pengambilan data di lapangan meliputi: *plotting* lokasi pengamatan; identifikasi batuan dan pencatatan data geologi.

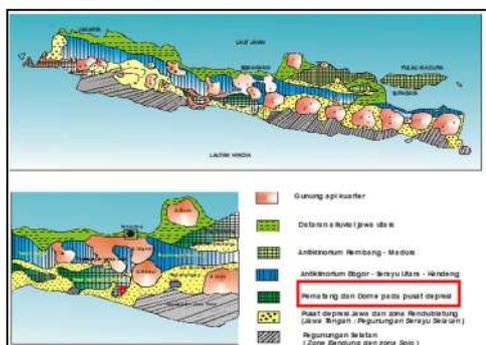
Simulasi di studio meliputi: pengeplotan lokasi data lapangan, korelasi data, rekonstruksi pola sebaran batubara di permukaan maupun bawah permukaan melalui penggambaran penampang 2 dan 3 dimensi. Bersama dengan penelitian lapangan dan laboratorium/ studio, dilakukan pula penelitian pustaka yang relevan.

Hasil data lapangan dan studio dikorelasikan dengan data sekunder dan pendekatan pemodelan teori yang terkait dengan pola sebaran batubara di permukaan maupun di bawah permukaan melalui rekonstruksi data berikut kondisi geologi pengontrolnya yang diinterpretasikan dengan melakukan sintesa terhadap data sekunder dari peneliti terdahulu dan informasi teknologi terkini yang memungkinkan untuk diterapkan.

PEMBAHASAN Tinjauan Umum

Daerah penelitian, secara fisiografi regional menurut Bemmelen (1949) merupakan bagian dari *Oblong Dome* yaitu *dome* yang luas, bagian dari zona Jawa Tengah bagian selatan; berada di pada pusat depresi, bagian dari rangkaian Pegunungan Serayu Utara bagian paling timur.

Keberadaan daerah penelitian pada fisiografi regional dengan mengacu pada Bemmelen (1949) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sketsa fisiografi Jawa (Bemmelen, 1949)

Berdasarkan pembagian fisiografi regional tersebut maka daerah Kulon Progo termasuk bagian dari Zona Depresi Tengah.

Geologi di daerah Kalisonggo dan Kali Watupuru tersusun oleh Formasi Nanggulan yang merupakan Formasi tertua di daerah Kulon Progo yang oleh Martin (1916) dinamakan *Nanggulan Beds* (Purnamaningsih dan Pringgoprawiro, 1981). Menurut Raharjo dkk. (1977) Pegunungan Kulonprogo tersusun oleh beberapa formasi batuan yang dari tua ke muda adalah Formasi Nanggulan, Formasi Andesit Tua, Formasi Jonggrangan, Formasi Sentolo serta Endapan Gunungapi Kuartar, dan Endapan Alluvial.

Formasi Nanggulan terdiri atas batu pasir sisipan lignit, napal pasiran, betulempung dengan konkresi limonit, sisipan napal dan batu gamping, batu pasir dan tuff. Berdasarkan analisis foraminifera plankton, umur Formasi Nanggulan adalah Eosen Tengah hingga Oligosen Awal. Di atas Formasi Nanggulan tidak selaras tersusun oleh Formasi Andesit Tua (OAF) yang diperkirakan berumur setelah Oligosen Awal dan berdasarkan posisi stratigrafi yang berada di atas Formasi Nanggulan. Pringgoprawiro dan Riyanto (1987) merevisi penamaan Formasi Andesit Tua menjadi dua formasi yaitu Formasi Kaligesing dan Formasi Dukuh.

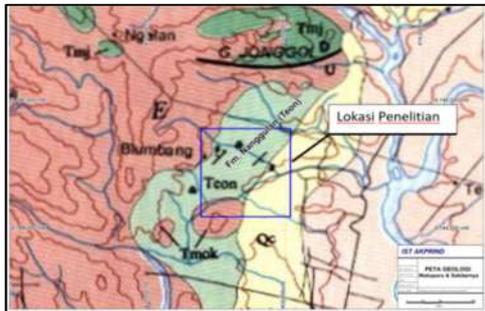
Rahardjo dkk. (1995) menamakan formasi ini sebagai Formasi Kebobutak yang tersusun atas batuan breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat dan sisipan lava andesit. Umur formasi

tersebut adalah Oligosen Akhir–Miosen Awal. Bagian atas Formasi Andesit Tua mempunyai kontak satuan batuan tidak selaras dengan Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo (Rahardjo, dkk, 1995).

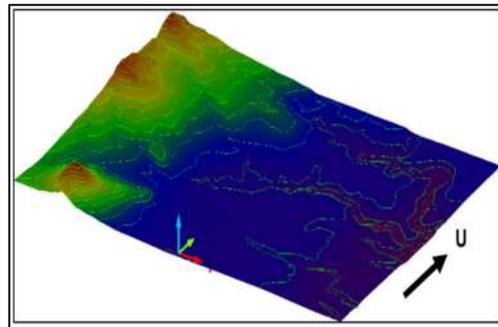
Formasi Nanggulan menurut Bemmelen (1949) terbagi menjadi 3 sub satuan dari bawah ke atas, yaitu:

1. *Axinea beds*; merupakan lapisan paling bawah dari Formasi Nanggulan dengan ketebalan 40 m dengan tipe endapan laut dangkal yang terdiri dari batu pasir, serpih dengan perselingan napal dan lignit yang semuanya berfasies litoral dan banyak mengandung fosil *Pelecypoda*.
2. *Yogyakarta beds*; berada pada bagian tengah Formasi Nanggulan yang diendapkan secara selaras di atas *Axinea beds* dengan ketebalan 60 m. Lapisan ini terdiri atas napal pasiran berselang-seling dengan batu pasir dan batu lempung yang di dalamnya terdapat fosil *Nummulites djogjakartae* berumur Eosen.
3. *Discocyclina Beds*; merupakan anggota Formasi Nanggulan yang terletak di paling atas yang diendapkan secara selaras di atas *Yogyakarta beds* dengan ketebalan 200 m. Lapisan ini terdiri atas napal dan batu gamping berselingan dengan batu pasir dan serpih. Batubara pada Formasi Nanggulan terdapat pada sub satuan *Axinea Beds* dengan nilai reflektansi *vitrinite* (Rv) rata-rata berkisar 0,27 - 0,37 yang termasuk peringkat batubara *lignite* (Rachmad dan Maha, 2010).

Secara geologi regional, daerah penelitian bagian dari Formasi Nanggulan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Geologi regional daerah Watupuru dan sekitarnya (Rahardjo dkk., 1995)

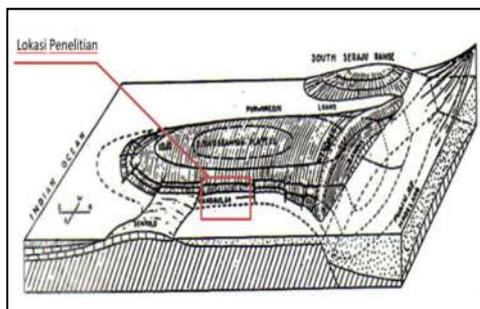


Gambar 5. Kenampakan 3 dimensi morfologi daerah penelitian

Perkembangan struktur geologi daerah penelitian tidak terlepas dari proses geologi yang membentuk kubah Kulon Progo (Gambar 4). Gaya yang membentuk kubah Kulon Progo ada dua fase pengangkatan, fase pertama terjadi pada akhir aktivitas Gunung Menoreh pada Kala Oligo-Miosen yaitu pada waktu kubah terbentuk. Fase kedua terjadi pada Kala Pleistosen atau fase yang menyebabkan pegunungan ini terangkat kembali dan mengakibatkan terjadinya sesar-sesar yang secara umum membentuk pola *radier* (Bemmelen, 1949).



Gambar 6. Kenampakan bentang alam morfologi daerah penelitian dari arah utara

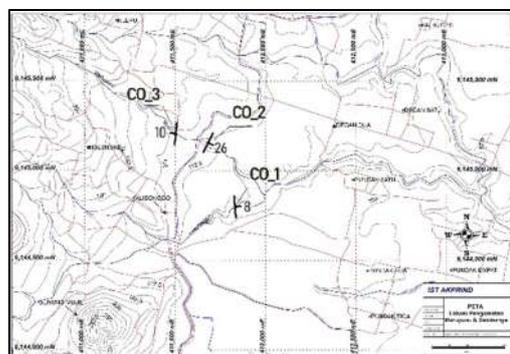


Gambar 4. Skema blok kubah Kulon Progo (Bemmelen, 1949)

Data Lapangan

Daerah penelitian memiliki morfologi berlereng landai yang merupakan bagian dari Pegunungan Kulon Progo bagian timur. Morfologi berlereng landai pada bagian barat dan ke arah timur semakin datar yang tercermin dalam relief 3 dimensi morfologi dan kenampakan foto pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Litologi Formasi Nanggulan yang tersingkap pada daerah penelitian dijumpai tersusun oleh perselingan batu lempung dan batu pasir, sisipan napal dan batubara. Singkapan batubara di lapangan dijumpai pada 3 lokasi singkapan. Batubara tersingkap pada daerah sungai, terutama pada kelokan sungai di Kali Songgo dan Kali Watupuru seperti tampak pada Gambar 7.

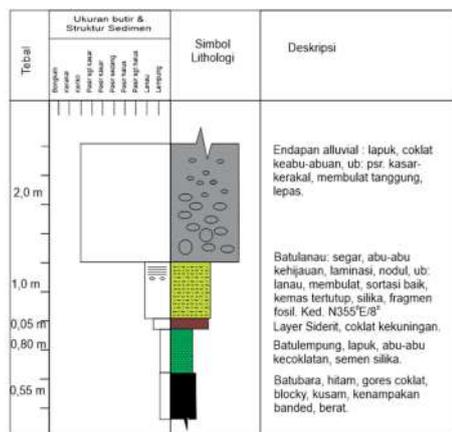


Gambar 7. Peta lokasi pengamatan singkapan batubara daerah penelitian

Singkapan pertama (CO_1) dijumpai pada kelokan Sungai Kali Songgo berupa batubara dengan kenampakan berwarna hitam kusam, gores coklat, *blocky*, kenampakan *banded*, berat, kandungan air tinggi, ketebalan tersingkap 0,55 meter, bagian *floor* batubara tidak terlihat karena terendam air dan endapan sungai, dengan kedudukan $N355^{\circ}E/8^{\circ}$, seperti ditampilkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Kenampakan singkapan batubara CO_1 di Kali Songgo

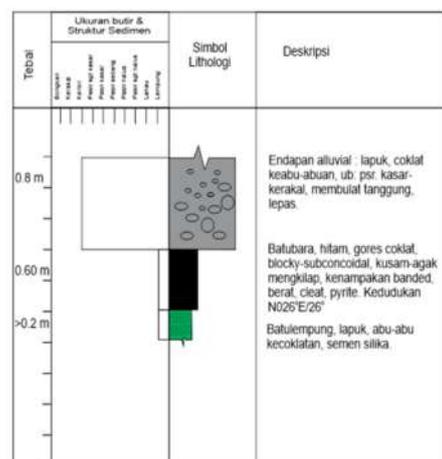


Gambar 9. Profil litologi singkapan CO_1 di Kali Songgo

Singkapan kedua (CO_2) dijumpai pada Sungai Watupuru dengan kenampakan berwarna hitam kusam agak mengkilap, gores coklat, *blocky* sampai *sub concoidal*, kenampakan *banded*, berat, kandungan air tinggi, terdapat *cleat* dan *pyrite*, ketebalan 0,60 meter. Pengukuran kedudukan batubara didapatkan $N026^{\circ}E/26^{\circ}$ seperti tampak pada Gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10. Kenampakan singkapan batubara CO_2 di Sungai Watupuru

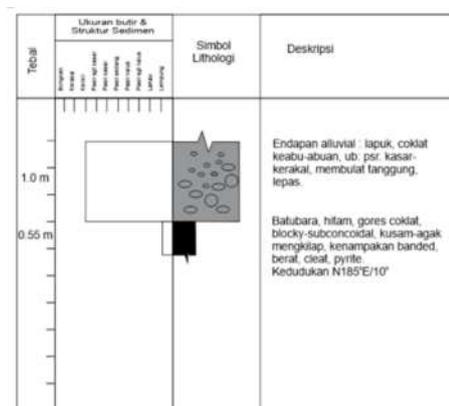


Gambar 11. Profil litologi singkapan CO_2 di Sungai Watupuru

Singkapan kedua (CO_3) dijumpai pada Sungai Watupuru dengan kenampakan berwarna hitam kusam agak mengkilap, gores coklat, *blocky* sampai *sub concoidal*, kenampakan *banded*, berat, kandungan air tinggi, terdapat *cleat* dan *pyrite*, ketebalan 0,55 meter. Bagian *floor* batubara tidak terlihat karena terendam air dan endapan sungai. Pengukuran kedudukan batubara didapatkan kedudukan $N185^{\circ}E/10^{\circ}$ seperti tampak pada Gambar 12 dan Gambar 13. Koordinat singkapan batubara daerah penelitian ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 12. Kenampakan singkapan batubara CO_3 di Sungai Watupuru



Gambar 13. Profil litologi singkapan CO_3 di Sungai Watupuru

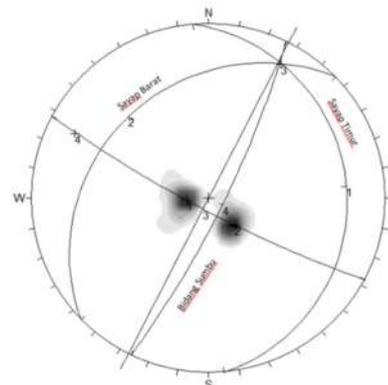
Tabel 1. Koordinat singkapan batubara

Kode Singkapan	Koordinat UTM Zona 49S	
	X	Y
CO_1	411831	9144800
CO_2	411682	9145156
CO_3	411503	9145206

Pola Sebaran Batubara

Singkapan batubara di daerah Kali Songgo dan Sungai Watupuru dapat direkonstruksi berdasarkan ciri-ciri fisik, ketebalan batubara, sedimen pengapit dan pola struktur geologi seperti pada Tabel 2. Hasil pengamatan dan rekonstruksi memperlihatkan bahwa penyebaran batubara di daerah penelitian menunjukkan pola yang relatif searah dengan struktur antiklin yang berkembang di Formasi Nanggulan yang relatif berarah timur laut-barat daya.

Hasil pengukuran kedudukan batuan didapatkan arah umum kedudukan sayap barat N226°E/14° dan kedudukan sayap timur N355°E/14°. Sedangkan kedudukan bidang sumbu antiklin N026°E/80° dengan garis sumbu 08°,N027°E (Gambar 14). Hal ini menunjukkan bahwa peran struktur geologi mempengaruhi pola sebaran batubara.



Gambar 14. Pola umum struktur antiklin Kali Songgo

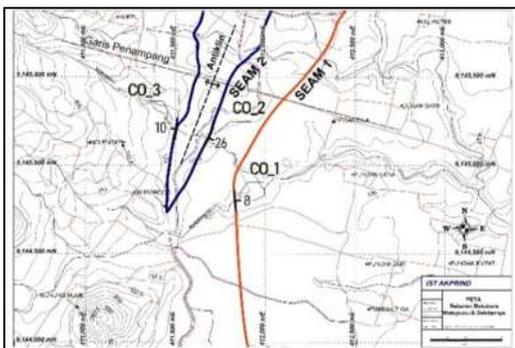
Tabel 2. Identifikasi data *seam* batubara

Kode Singkapan	Lithologi	Ketebalan (m)	Identifikasi Seam	Kedudukan	
				Strike N...E	Dip
CO1	Batubara	0,55	Seam 1	355	8
CO2	Batubara	0,60	Seam 2	26	26
CO3	Batubara	0,55	Seam 2	185	10

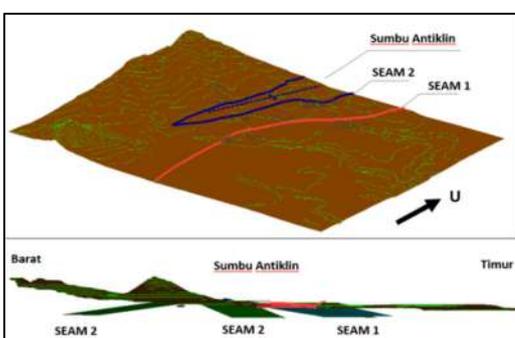
Hasil rekonstruksi *seam* dari data singkapan batubara menunjukkan bahwa batubara daerah Kali Songgo berjumlah 2 *seam* batubara yaitu *seam* 1 dan *seam* 2. Ketebalan rata-rata *seam* 1 adalah 0,55 meter dan *seam* 2 adalah 0,57 meter (Tabel 3 dan Gambar 15).

Tabel 3. Urutan *seam* batubara Watupuru

Urutan Seam	Ketebalan rata-rata (m)	Deskripsi
Seam 1	0,55 m	Batubara, hitam kusam, gores coklat, blocky, kenampakan banded, berat, kandungan air tinggi
Seam 2	0,57 m	Batubara, hitam kusam- agak mengkilap, gores coklat, blocky sampai sub conoidal, kenampakan banded, berat, kandungan air tinggi, terdapat cleat dan pyrite

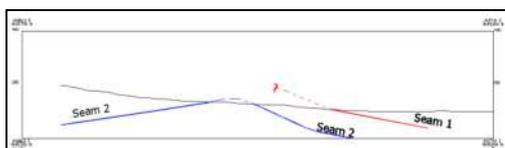


Gambar 15. Peta sebaran batubara daerah Watupuru



Gambar 16. Kenampakan 3 dimensi sebaran batubara daerah Watupuru dan sekitarnya

Batubara pada daerah penelitian tersingkap dekat dengan sumbu antiklin yang ditunjukkan pada penampang 2 dimensi (Gambar 17). Hal ini menunjukkan bahwa batubara secara stratigrafi berada pada bagian bawah dari Formasi Nanggulan.



Gambar 17. Kenampakan penampang 2 dimensi rekonstruksi batubara daerah Watupuru dan sekitarnya

Pola sebaran batubara memiliki arah relatif utara selatan yang mengikuti pola antiklin Kali Songgo. *Seam 1* merupakan *seam* bagian atas yang penyebarannya berada di sayap timur dari antiklin, sedangkan bagian sayap barat antiklin tidak ada data permukaan tersingkap.

Seam 2 merupakan *seam* bagian bawah, yang mana penyebaran *seam* ini dekat dengan sumbu antiklin, penyebaran *seam 2* terdapat pada sisi sayap timur antiklin dengan kemiringan 26° dan sisi sayap barat antiklin dengan kemiringan 10° , pada bagian selatan dari hasil rekonstruksi menunjukkan pola menunjam (Gambar 15 dan 16).

KESIMPULAN

Batubara daerah penelitian merupakan batubara Formasi Nanggulan bagian bawah yang tersingkap pada 3 lokasi singkapan di Kali Songgo dan Watupuru. Hasil rekonstruksi didapatkan bahwa pada daerah penelitian terdapat 2 *Seam* batubara yaitu *Seam 1* dan *Seam 2* dengan ketebalan rata-rata *seam 1* adalah 0,55 meter dan *seam 2* adalah 0,57 meter. Batubara memiliki kenampakan fisik berwarna hitam kusam-agak mengkilap, gores coklat, *blocky* sampai *sub concoidal*, kenampakan *banded*, berat, kandungan air tinggi, terdapat *cleat* dan *pyrite*. Pola sebaran batubara memiliki arah relatif utara selatan yang mengikuti pola antiklin Kali Songgo. *Seam 1* dari data permukaan direkonstruksi memiliki penyebaran pada sisi sayap timur antiklin, sedangkan *Seam 2* penyebaran berada dekat dengan sumbu antiklin dan menyebar pada sisi sayap timur antiklin dengan kemiringan 26° dan sisi sayap barat antiklin dengan kemiringan 10° .

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2001), Peta Rupa Bumi Digital Indonesia Lembar Sedang Agung, Skala 1 : 25.000, Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional, Bogor.
- Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Vol IA. Netherland: The Haque Martinus Nijhroff, Government Printing Office.
- Rachmad, B. dan Maha, M. (2010). Endapan Batubara Paleogen Formasi Nanggulan Kulon Progo-Yogyakarta: Kajian Geologi Batubara dan Fasies Batubara, Prosiding PIT IAGI 2010, Lombok, Indonesia.

- Purnamaningsih, S. dan Pringgoprawiro, H. (1981). *Stratigraphy and planktonic foraminifera of the Eocene-Oligocene Nanggulan Formation, Central Java*, Geological Research and Development Center Palentology Serie No.1,9-28, Bandung.
- Pringgoprawiro, H. and Riyanto, B. (1987). *Formasi Andesit Tua: Suatu Revisi*, Prosiding PIT IAGI XVI, Bandung.
- Rahardjo,W., Sukandarrumidi. dan Rosidi H.M.D. (1977). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*,Skala 1 : 100.000. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Rahardjo,W., Sukandarrumidi. dan Rosidi H.M.D. (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*,Skala 1 : 100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

BIODATA PENULIS

Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi, S.T., M.T., lahir di Sleman pada tanggal 21 Agustus 1979, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta tahun 2003 pada bidang Teknik Geologi dan pendidikan S2 dari Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta tahun 2012 pada bidang Teknik Geologi. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Geologi IST AKPRIND Yogyakarta dengan Jabatan Akademik Tenaga Pengajar dengan bidang minat Geologi Batubara.

Dina Tania, S.T., M.T. lahir di Bangka pada tanggal 18 Mei 1982, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran Yogyakarta tahun 2006 pada bidang Teknik Geologi dan pendidikan S2 dari Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran Yogyakarta tahun 2013 pada bidang Teknik Geologi. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Geologi IST AKPRIND Yogyakarta dengan Jabatan Akademik Tenaga Pengajar dengan bidang minat Paleontologi.

MATURITY LEVEL DOMAIN PLANNING AND ORGANIZING DENGAN COBIT 4.1 PADA PT DINAMIKA PUTRA

Yogiek Indra Kurniawan¹

¹Informatika, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Email: yogiek@ums.ac.id

Masuk: 05 Januari 2018, Revisi masuk: 20 Januari 2018, Diterima: 30 Januari 2018

ABSTRACT

Information Technology (IT) Governance plays a role in corporate governance in whole aspect. Organized IT management will have a significant impact on business processes and the viability of a company. In managing IT governance, there are many frameworks can be used, one of which is CobIT version 4.1 which is a comprehensive framework and guideline for IT management. In CobIT version 4.1 contains some assessments that can be done, one of which is the assessment of maturity level that serves to see the condition of a company in the field of IT at the present time and hope in the future. This research was conducted to measure the maturity level of a company, namely PT Dinamika Putra, an IT consultant company in Surakarta city in Planning and Organizing (PO) domain with CobIT version 4.1. From the results of the assessment, the maturity level of the Planning and Organizing (PO) domain in PT Dinamika Putra currently reaches 3.21, ie at the defined process level, whereas the future expected by the company is reaching 4.16, ie at managed and measurable level. This shows the gap between present and future conditions, so strategic steps are needed to cut the gap between current conditions and expected conditions in the future.

Keywords: COBIT 4.1, IT Governance, Maturity Level, Planning and Organizing

INTISARI

Tata kelola Teknologi Informasi (TI) memegang peranan dalam tata kelola sebuah perusahaan secara keseluruhan. Pengelolaan TI yang terorganisir akan memberikan dampak yang signifikan terhadap proses bisnis dan kelangsungan sebuah perusahaan. Dalam mengolah tata kelola TI, terdapat banyak kerangka kerja yang dapat digunakan, salah satunya adalah CobIT versi 4.1 yang merupakan framework dan pedoman secara menyeluruh terhadap manajemen TI. Dalam CobIT versi 4.1 termuat beberapa penilaian yang dapat dilakukan, salah satunya adalah penilaian tingkat kematangan (*maturity level*) yang berfungsi untuk melihat kondisi sebuah perusahaan dalam bidang IT pada saat sekarang dan harapannya di masa mendatang. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur *maturity level* dari sebuah perusahaan, yaitu PT Dinamika Putra, sebuah perusahaan consultant IT di kota Surakarta pada domain *Planning and Organizing* (PO) dengan CobIT versi 4.1. Dari hasil penilaian yang dilakukan, maturity level pada domain *Planning and Organizing* (PO) di PT Dinamika Putra pada saat ini mencapai 3.21, yaitu pada level *defined process*, sedangkan yang diharapkan di masa mendatang oleh perusahaan tersebut adalah mencapai 4.16, yaitu pada level *managed and measurable*. Hal ini menunjukkan gap (jarak) antara kondisi sekarang dan kondisi di masa mendatang, sehingga perlu dilakukan langkah-langkah strategis untuk memangkas jarak antara kondisi saat ini dengan kondisi yang diharapkan di masa mendatang.

Kata-kata kunci: COBIT 4.1, Maturity Level, Planning and Organizing, Tata Kelola TI

PENDAHULUAN

Tata kelola Teknologi Informasi (TI) merupakan salah satu aspek penting dari tata kelola perusahaan secara keseluruh-

an. Pengelolaan TI yang baik akan menjamin efisiensi dan pencapaian kualitas layanan yang baik bagi tujuan bisnis perusahaan. Ghofar dan Kurnia-

wan (2018), menyatakan bahwa dengan pengelolaan teknologi informasi yang baik, maka *output* dari sebuah perusahaan akan mendapatkan hasil yang maksimal. Peran TI di perusahaan sangat penting, sehingga bisa dikatakan apabila tidak dikelola dengan baik, akan menyebabkan kurang efisiennya proses internal dan eksternal serta mempengaruhi kinerja dan performa perusahaan.

Salah satu kerangka kerja tata kelola TI adalah CobIT Versi 4.1 yang merupakan pedoman yang paling lengkap dari praktik-praktik terbaik untuk manajemen TI yang mencakup 4 (empat) domain, yaitu perencanaan dan organisasi, perolehan dan implementasi, penyerahan dan pendukung dan monitoring.

PT Dinamika Putra adalah sebuah perusahaan konsultan yang bergerak dalam bidang *software development* (pengembangan perangkat lunak) dalam bidang TI di kota Surakarta. Sebagai sebuah perusahaan pengembang *software*, maka perusahaan ini harus menempatkan pengelolaan TI sebagai landasan utama proses bisnisnya. Pengelolaan TI yang baik di perusahaan tersebut akan mendukung keberlangsungan perusahaan di masa depan, sehingga perlu adanya penilaian pengelolaan TI di perusahaan tersebut.

Untuk mengetahui pengelolaan TI di PT Dinamika Putra, diberikan penilaian terhadap tingkat kematangan (*maturity level*) dari pengelolaan TI-nya. *Maturity level* dapat mengukur kesiapan sebuah organisasi dalam mengelola IT di dalam perusahaannya (Wijaya, 2018).

Salah satu pengukuran kinerja TI tersebut dapat menggunakan CobIT versi 4.1 yang dilakukan dengan model *Maturity Level* bertujuan untuk melihat gambaran kondisi perusahaan saat ini dan harapannya dimasa yang akan datang. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran terhadap *maturity level* dari PT Dinamika Putra pada domain *Planning and Organizing* (PO) dengan menggunakan CobIT versi 4.1.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini diperlihatkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Studi literatur/kepuustakaan

Pada tahap ini, dilakukan pencarian studi literatur mengenai materi penelitian yang meliputi Tata kelola teknologi informasi, CobIT serta cara-cara pengujian *maturity level*. Pencarian didasarkan pada penelitian-penelitian terdahulu mengenai teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan serta teori-teori yang sedang berkembang saat ini. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan kuesioner *maturity level* berdasarkan studi literatur yang ada. Kuesioner tersebut akan digunakan pada saat pengambilan data.

2. Penentuan Metode

Pada tahap ini, dilakukan penentuan metode yang digunakan dalam tata kelola teknologi informasi. Selain itu, ditentukan pula pengukuran teknologi informasi di dalam perusahaan yang nantinya akan dilakukan. Beberapa dasar dan metode yang digunakan pada penelitian ini adalah tentang COBIT 4.1, Domain *Planning and Organizing* (PO), serta pengukuran *maturity level*.

COBIT (*Control Objectives for Information and Related Technology*) merupakan sekumpulan dokumentasi dan panduan yang mengarahkan pada IT *governance* yang dapat membantu auditor, manajemen, dan pengguna (*user*) untuk menjembatani pemisah antara resiko bisnis, kebutuhan kontrol, dan permasalahan-permasalahan teknis. COBIT dikembangkan oleh IT *Governance Institute* (ITGI), bagian dari *Information Systems Audit and Control Association* (ISACA).

Menurut Campbell (2005), COBIT merupakan suatu cara untuk menerapkan IT *governance*. COBIT berupa kerangka kerja yang harus digunakan

oleh suatu organisasi bersamaan dengan sumber daya lainnya untuk membentuk suatu standar yang umum berupa panduan pada lingkungan yang lebih spesifik. Secara terstruktur, COBIT terdiri dari seperangkat *control objectives* untuk bidang teknologi informasi, diran-cang untuk memungkinkan tahapan bagi audit.

Menurut ITGI, COBIT (saat ini edisi ke-5) adalah sekumpulan dokumentasi *best practices* untuk *IT governance* yang dapat membantu auditor, manajemen and pengguna untuk menjembatani gap antara risiko bisnis, kebutuhan kontrol, dan permasalahan-permasalahan teknis (ITGI, 2007). COBIT muncul pertama kali pada tahun 1996 yaitu COBIT versi 1 yang menekankan pada bidang audit, COBIT versi 2 pada tahun 1998 yang menekankan pada tahap kontrol, COBIT versi 3 pada tahun 2000 yang berorientasi kepada manajemen, dan COBIT versi 4 yang lebih mengarah kepada *IT governance* (Campbell, 2005). COBIT terdiri dari 4 domain (ISACA, 2015), yaitu:

- *Planning & Organization* (PO), domain ini mencakup level strategis dan taktis, dan konsennya pada identifikasi cara TI yang dapat menambah pencapaian terbaik tujuan-tujuan bisnis.
- *Acquisition & Implementation* (AI), untuk merealisasikan strategi TI, solusi TI yang perlu diidentifikasi, dikembangkan atau diperlukan, juga diimplementasikan dan diintegrasikan dalam proses bisnis.
- *Delivery & Support* (DS), domain ini menyangkut penyampaian aktual dari layanan yang diperlukan, dengan menyusun operasi tradisional terhadap keamanan dan aspek kontinuitas sampai pada pelatihan, domain ini termasuk proses data aktual melalui sistem aplikasi, yang sering diklasifikasikan dalam pengendalian aplikasi.
- *Monitoring & Evaluation* (ME), semua proses TI perlu dinilai secara teratur atas suatu waktu untuk kualitas dan pemenuhan kebutuhan pengendalian. Domain ini mengarahkan kesalahan manajemen pada proses pengendalian organisasi dan penjaminan independen yang disediakan.

Menurut Campbell (2005), dalam hirarki COBIT terdapat 4 domain COBIT yang terbagi menjadi 34 proses dan 318 *control objectives*, serta 1547 *control practitices*. Dalam setiap domain dan proses di dalamnya tersedia pula panduan manajemen, panduan audit, dan ringkasan bagi pihak eksekutif.

Di samping itu, dalam ISACA (2015), kerangka kerja COBIT juga memasukkan bagian-bagian seperti di bawah ini:

- *Maturity models*: untuk menilai tahap *maturity* IT dalam skala 0-5
- *Critical Success Factors* (CSFs): arahan implementasi bagi manajemen dalam melakukan pengendalian atas proses IT.
- *Key Goal Indicators* (KGIs): berisi mengenai arahan kinerja proses-proses IT sehubungan dengan kebutuhan bisnis.
- *Key Performance Indicators* (KPIs): kinerja proses-proses IT sehubungan dengan sasaran/tujuan proses (*process goals*).

Kedalaman penerapan tata kelola TI pada suatu organisasi/perusahaan dapat menggunakan *IT Governance Maturity Model* dari ITGI dengan tingkatan sebagai berikut:

- Skala 0: *Nonexistent*
Di sini sama sekali tidak ada proses-proses manajemen yang dapat diakui, bahkan perusahaan tidak menyadari bahwa ada isu tata kelola TI di dalamnya yang patut dikemukakan.
- Skala 1: *Initial/Ad Hoc*
Ada bukti bahwa perusahaan mengakui adanya isu-isu tata kelola TI yang perlu dikemukakan, tetapi belum ada penyelesaian dengan prosedur yang baku, sifatnya masih sebatas pendekatan penyelesaian secara *ad hoc*, yang cenderung diselesaikan sendiri-sendiri *case by case* dan belum sepenuhnya *organized*.
- Skala 2: *Repeatable but Intuitive*
Di sini tidak ada prosedur-prosedur yang baku bagi pelatihan atau komunikasi formal, dan tanggung jawab sepenuhnya diserahkan kepada masing-masing individu. Di sini ada

tingkat ketergantungan kepada pengetahuan para individu.

- Skala 3: *Defined Process*
Prosedur telah dibakukan dan didokumentasikan serta dikomunikasikan melalui pelatihan. Di tingkat ini, sudah ditetapkan bahwa proses harus diikuti/dijalankan, walaupun ada kecenderungan bahwa penyimpangan-penyimpangan tidak akan dapat dideteksi.
- Skala 4: *Managed and Measurable*
Manajemen telah melakukan monitoring dan pengukuran ketaatan terhadap proses-proses yang berlaku dan mengambil tindakan bilamana ada proses yang tidak berjalan dengan efektif. Di tingkat ini berbagai proses masih dalam tahap penyempurnaan secara terus menerus untuk menghasilkan praktek-praktek yang baik. Otomasi dan berbagai cara digunakan secara terbatas atau masih dalam bentuk penggalan yang belum utuh. Penentuan target dilaksanakan secara *sophisticated* dengan menghubungkan antara tujuan hasil yang ingin dicapai dari segi bisnis dan peningkatan proses TI. Hasil nyata dilaporkan ke manajemen dalam bentuk pelaporan yang berbasiskan *balanced scorecard*.
- Skala 5: *Optimised*
Berbagai proses telah disempurnakan sehingga menjadi praktek yang baik, berdasarkan hasil penyempurnaan yang terus menerus dan juga melakukan upaya *maturity modeling* dengan perusahaan-perusahaan lainnya. TI dimanfaatkan secara terintegrasi untuk mengotomasikan *work-flow*, menyediakan berbagai cara untuk meningkatkan kualitas dan *effectiveness*, sehingga perusahaan cepat beradaptasi terhadap perubahan. Praktek tata kelola TI telah dilakukan dengan pendekatan yang *sophisticated* dengan menggunakan teknik yang efektif dan efisien. Disini terdapat transparansi aktivitas TI yang nyata, sehingga *board* merasa mengendalikan strategi TI. Aktivitas TI telah dioptimalkan menuju prioritas bisnis yang sesungguhnya, dan nilai tambah yang dihasilkan bagi perusa-

haan dapat diukur; demikian juga dengan langkah-langkah yang dilakukan dalam waktu yang sesuai untuk melakukan koreksi bila ada masalah. Pendekatan *balanced scorecard* telah berevolusi untuk fokus pada pengukuran yang paling penting terkait dengan strategi bisnis perusahaan secara keseluruhan. Langkah-langkah untuk melaksanakan manajemen resiko dan aktivitas pengelolaan TI lainnya telah dirampingkan dengan mengadopsi proses baku dan terotomasi. Biaya TI dimonitor secara efektif dan perusahaan telah mencapai pengeluaran TI yang optimal melalui peningkatan proses internal yang berkesinambungan.

Surendro (2010) menyatakan salah satu alat pengukuran dari kinerja suatu sistem teknologi informasi adalah model kematangan (*maturity level*). Model kematangan untuk pengelolaan dan pengendalian pada proses teknologi informasi didasarkan pada metode evaluasi organisasi sehingga dapat mengevaluasi sendiri dari level tidak ada (0) hingga optimis (5). Model kematangan dirancang sebagai profil proses teknologi informasi, sehingga organisasi akan dapat mengenali deskripsi kemungkinan keadaan teknologi informasi sekarang dan mendatang.

Anas dkk. (2017) menyatakan untuk mendapatkan index *maturity level*, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Maturity Level = \frac{Jumlah\ Jawaban}{Jumlah\ Responden} \quad (1)$$

Kerangka kerja COBIT mengidentifikasi 34 proses TI yang dikelompokkan ke dalam 4 domain utama, yaitu domain *Plan and Organize* (PO), *Acquire and Implement* (AI), *Deliver and Support* (DS), dan *Monitor and Evaluate* (ME). Setiap domain memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Domain yang digunakan dalam penelitian tingkat kematangan (*maturity*) ini adalah domain *Plan and Organize* (PO) yang terdiri dari:

- a. PO1 - *Define a strategic IT plan*
- b. PO2 - *Define the information architecture*
- c. PO3 - *Determine technological direction*

- d. PO4 - *Define the IT Process, Organisation and Relationships*
- e. PO5 - *Manage the investment*
- f. PO6 - *Communicate management aims and direction*
- g. PO7 - *Manage IT human resources.*
- h. PO8 - *Manage Quality*
- i. PO9 - *Assess and Manage IT Risks*
- j. PO10 - *Manage projects*

Masing-masing sub domain akan berpengaruh terhadap hasil penilaian *maturity*, sehingga penilaian terhadap masing-masing sub domain tersebut dijadikan salah satu aspek penilaian dalam penelitian ini.

3. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara menyebarkan kuesioner yang telah disusun kepada seluruh karyawan di PT Dinamika Putra. Karyawan tersebut diminta untuk mengisi kuesioner yang ada dengan memberikan *checklist* (v) pada kolom yang sesuai dengan kondisi perusahaan. Kuesioner tersebut nantinya akan diolah untuk menentukan *maturity level* perusahaan PT Dinamika Putra.

4. Analisa Hasil Kuesioner

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan terhadap hasil kuesioner yang telah disebarkan kepada pegawai PT Dinamika Putra. Setelah dilakukan perhitungan dan diketahui *maturity level* dari perusahaan tersebut, lalu dilakukan analisa terhadap hasil yang diperoleh.

PEMBAHASAN

Studi kasus penelitian pengukuran *maturity* ini adalah sebuah perusahaan konsultan IT bernama PT Dinamika Putra yang terletak di kota Surakarta. PT Dinamika Putra merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang *software development* (pembuatan aplikasi perangkat lunak) untuk berbagai macam user (*client* dan *stakeholder*), seperti sekolah, perusahaan swasta, BUMN dan pemerintahan daerah. Perusahaan ini berdiri di tahun 2013 dengan beranggotakan 5 orang pegawai. Pada tahun 2018 ini, jumlah pegawai dalam perusahaan sudah mencapai 30 orang yang terbagi ke dalam berbagai divisi dan jabatan.

Latar belakang pendirian PT Dinamika Putra adalah adanya banyak permintaan terhadap pembuatan aplikasi / *software* di wilayah Solo. Tenaga kerja dalam bidang IT pun banyak dibutuhkan, sehingga *owner* perusahaan tersebut berinisiatif untuk mendirikan sebuah perusahaan berbasis IT di solo untuk mengakomodasi kebutuhan-kebutuhan pembuatan aplikasi yang ada.

PT Dinamika Putra bergerak di bidang TI, sehingga hampir seluruh pegawai di perusahaan tersebut berasal dari lulusan yang memiliki akar rumpun komputer. Dengan alasan ini, maka kemampuan pegawai di bidang TI dapat dipandang sebagai sebuah keharusan ketika bergabung masuk di perusahaan tersebut, sehingga pegawai tidak ada yang awam terhadap TI.

Visi dan Misi Organisasi

Visi PT Dinamika Putra adalah "Menjadi perusahaan yang unggul dalam penyediaan kebutuhan di bidang Manajemen dan Teknologi Informasi di Solo dan sekitarnya". Dari visi organisasi, dapat dijabarkan misi dari PT Dinamika Putra adalah sebagai berikut:

1. Memenuhi kebutuhan terhadap aplikasi berbasis teknologi informasi.
2. Terus melakukan transisi untuk tumbuh secara mandiri, berkelanjutan, dan mempunyai tata kelola yang baik.
3. pengembangan untuk meningkatkan nilai tambah *client* dan *stakeholder*.

Hasil Pengukuran Tingkat *Maturity* pada Domain PO

Maturity level dari pengelolaan TI di PT Dinamika Putra dapat ditentukan dari 2 faktor, yaitu dari visi, misi dan tujuan organisasi serta dari hasil pengolahan kuesioner (Surendro, 2010). Visi, misi dan tujuan organisasi dari PT Dinamika Putra dapat merujuk kepada:

- a. Memenuhi kebutuhan terhadap aplikasi berbasis teknologi informasi.
- b. Terus melakukan transisi untuk tumbuh secara mandiri, berkelanjutan, dan mempunyai tata kelola yang baik.
- c. Melakukan inovasi dan pengembangan untuk meningkatkan nilai tambah *client* dan *stakeholder*.

Questioner diberikan kepada 30 orang pegawai dari PT Dinamika Putra, mulai dari staff, manajer sampai CEO/Owner dari perusahaan dengan merujuk pada domain *Plan and Organize* (PO) yang terdiri dari 6 prinsip antara lain : *awareness and communication/AC*; *policies, plan, and procedures/PPP*; *tools and automation/TA*; *skills and expertise/SE*; *responsibility and accountability/RA*; dan *goal setting and measurement/GM*. Setiap aspek terdiri dari 10 pertanyaan untuk *as-is* (kondisi perusahaan saat ini) dan 10 pertanyaan untuk *to-be* (harapan untuk kondisi perusahaan yang akan datang), sehingga dengan 10 pertanyaan masing-masing dan terdapat 30 orang pegawai yang mengisi kuesioner, maka total jumlah pertanyaan yang dinilai untuk masing-masing prinsip adalah 300. Setiap pertanyaan merujuk pada prinsip domain PO dengan pilihan nilai dari 1 naik sampai ke nilai 5. Setiap responden akan mengisi dengan kondisi yang ada di perusahaan dengan memilih angka 1 sampai 5 tersebut. Hasil pengolahan questioner dapat ditunjukkan oleh Tabel 1. Dari semua pengolahan questioner di Tabel 1, nilai indeks kematangan untuk saat ini adalah sebagai berikut:

$$M_{\text{Maturity Level}}^{\text{Plan and Organize}} (PO) = \frac{3.15 + 3.02 + 2.88 + 2.98 + 3.00 + 3.14}{6} = 3.031$$

Hasil penilaian di atas menunjukkan *maturity level* untuk domain *Plan and Organize* (PO) dari PT Dinamika Putra saat ini adalah **Defined Process**.

Sedangkan untuk indeks kematangan dari organisasi PT Dinamika Putra yang diharapkan oleh responden adalah sebagai berikut:

$$M_{\text{Maturity Level}}^{\text{Plan and Organize}} (PO) = \frac{4.24 + 4.04 + 3.99 + 4.24 + 4.31 + 4.24}{6} = 4.18$$

Hasil penilaian di atas menunjukkan *maturity level* untuk domain *Plan and Organize* (PO) dari PT Dinamika Putra saat ini baik penilaian berbasis prinsip *maturity* maupun berbasis sub domain *maturity* menunjukkan masih di level *defined*

Organize (PO) dari PT Dinamika Putra yang diharapkan adalah **Managed and Measurable**.

Hasil questioner terhadap 30 responden karyawan di PT Dinamika Putra di atas dapat juga diolah dengan merujuk berdasarkan sub domain dari *Plan and Organize* (PO) yang terdiri dari 10 sub domain, yaitu: *Define a strategic IT plan* (PO1); *Define the information architecture* (PO2); *Determine technological direction* (PO3); *Define the IT Process, Organisation and Relationships* (PO4); *Manage the investment* (PO5); *Communicate management aims and direction* (PO6); *Manage IT human resources* (PO7); *Manage Quality* (PO8); *Assess and Manage IT Risks* (PO9); dan *Manage projects* (PO10). Hasil pengolahan questioner tersebut dapat diperlihatkan oleh Tabel 2. Dari semua pengolahan questioner di Tabel 2, nilai indeks kematangan untuk saat ini adalah sebagai berikut:

$$M_{\text{Maturity}} (PO) = \frac{(2.84+3.14+2.69+3.25+3.28+3.28+3.21+3.42+3.26+3.74)}{10} = 3.21$$

Hasil penilaian di atas menunjukkan *maturity level* untuk domain *Plan and Organize* (PO) dari PT Dinamika Putra saat ini adalah **Defined Process**.

Sedangkan untuk indeks kematangan dari organisasi PT Dinamika Putra yang diharapkan di masa mendatang oleh responden adalah sebagai berikut:

$$M_{\text{Maturity}} (PO) = \frac{(4.5+4.1+3.81+4.13+4.31+4.18+4.18+4.05+4.1+4.24)}{10} = 4.16$$

Hasil penilaian di atas menunjukkan *maturity level* untuk domain *Plan and Organize* (PO) dari PT Dinamika Putra yang diharapkan adalah **Managed and Measurable**.

process sedangkan yang diharapkan oleh PT Dinamika Putra di masa mendatang adalah untuk mencapai level *managed and measurable*. Hal ini berarti bahwa proses pengelolaan teknologi informasi di PT Dinamika Putra saat ini telah dijalankan oleh organisasi.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Quesioner *Maturity Model* berdasarkan prinsip domain PO

Prinsip		Jawaban						Total Pertanyaan	Total Nilai	Indeks	<i>Maturity Level</i>
		0	1	2	3	4	5				
AC	<i>As Is</i>	0	12	66	122	65	35	300	945	3,15	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	14	12	161	113	300	1273	4,24	<i>Managed and Measurable</i>
PPP	<i>As Is</i>	5	19	57	110	99	9	299	904	3,02	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	17	19	198	66	300	1213	4,04	<i>Managed and Measurable</i>
TA	<i>As Is</i>	12	21	56	135	55	21	300	863	2,88	<i>Repeatable but Intuitive</i>
	<i>To Be</i>	0	0	34	38	125	103	300	1197	3,99	<i>Defined Process</i>
SE	<i>As Is</i>	8	20	85	76	78	33	300	895	2,98	<i>Repeatable but Intuitive</i>
	<i>To Be</i>	0	0	25	33	88	154	300	1271	4,24	<i>Managed and Measurable</i>
RA	<i>As Is</i>	9	18	53	105	113	2	300	901	3,00	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	1	7	23	135	134	300	1294	4,31	<i>Managed and Measurable</i>
GM	<i>As Is</i>	15	17	57	65	75	51	280	881	3,15	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	18	28	117	137	300	1273	4,24	<i>Managed and Measurable</i>

Tabel 2. Hasil Pengolahan Quesioner *Maturity Model* berdasarkan sub domain

Sub Domain		Jawaban						Total Pertanyaan	Total Nilai	Indeks	<i>Maturity Level</i>
		0	1	2	3	4	5				
PO1	<i>As Is</i>	0	1	30	122	7	0	160	455	2,84	<i>Repeatable but Intuitive</i>
	<i>To Be</i>	0	0	14	12	14	120	160	720	4,5	<i>Managed and Measurable</i>
PO2	<i>As Is</i>	1	3	32	80	24	20	160	503	3,14	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	17	19	55	69	160	656	4,1	<i>Managed and Measurable</i>
PO3	<i>As Is</i>	0	3	47	107	2	1	160	431	2,69	<i>Repeatable but Intuitive</i>
	<i>To Be</i>	0	0	34	38	12	76	160	610	3,81	<i>Defined Process</i>
PO4	<i>As Is</i>	0	5	30	78	14	33	160	520	3,25	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	5	33	58	64	160	661	4,13	<i>Managed and Measurable</i>
PO5	<i>As Is</i>	0	3	13	105	13	26	160	526	3,28	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	1	7	23	135	134	300	1294	4,31	<i>Managed and Measurable</i>
PO6	<i>As Is</i>	0	1	6	104	45	4	160	525	3,28	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	2	35	55	68	160	669	4,18	<i>Managed and Measurable</i>
PO7	<i>As Is</i>	0	4	5	110	35	6	160	514	3,21	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	4	32	56	68	160	668	4,18	<i>Managed and Measurable</i>
PO8	<i>As Is</i>	0	5	4	89	43	19	160	547	3,42	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	5	45	47	63	160	648	4,05	<i>Managed and Measurable</i>
PO9	<i>As Is</i>	0	3	6	97	54	0	160	522	3,26	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	3	49	37	71	160	656	4,1	<i>Managed and Measurable</i>
PO10	<i>As Is</i>	0	2	4	98	75	51	230	859	3,74	<i>Defined Process</i>
	<i>To Be</i>	0	0	18	28	117	137	300	1273	4,24	<i>Managed and Measurable</i>

Sudah terdapat prosedur atau SOP (*Standar Operation Procedure*) yang dimiliki oleh perusahaan sebagai panduan dalam melaksanakan setiap kegiatan maupun proses yang ada dalam perusahaan, sehingga SOP tersebut menjadi dasar bagi pegawai untuk menjalankan pekerjaan mereka masing-masing. Proses-proses yang ada dalam perusahaan sudah dijalankan oleh setiap komponen organisasi sehingga setidaknya formalisasi dan praktek-praktek dalam setiap proses pengelolaan teknologi informasi di PT Dinamika Putra sudah terbentuk. Hanya saja, dari pihak manajemen belum melakukan monitoring maupun pengukuran yang ketat terhadap

setiap aktifitas pegawai dan belum mengambil tindakan yang tegas bila-mana ada proses yang tidak berjalan dengan efektif.

Dari hasil pengukuran, diketahui bahwa harapannya di masa mendatang, perusahaan ini akan mencapai level *managed and measurable*. Sehingga perusahaan diharapkan dapat melakukan monitoring yang lebih baik terhadap setiap aktifitas pegawainya, sehingga manajemen dapat terus menyempurnakan *best practice* yang dipakai oleh perusahaan. Selain itu, diharapkan terdapat otomasi terhadap setiap pekerjaan, sehingga dibutuhkan beberapa

peralatan yang kompleks untuk mendukung semua hal tersebut.

Tingkat kematangan (*maturity*) yang ada sekarang serta tingkat kematangan (*maturity*) yang diharapkan oleh PT Dinamika Putra ternyata terdapat perbedaan (*gap*) sehingga organisasi haruslah melakukan dan membuat strategi-strategi untuk menutupi gap tersebut. salah satu strategi yang dapat diusulkan adalah dengan memberikan penilaian, monitoring serta pengukuran terhadap setiap aktifitas dalam bentuk *balanced scorecard*, sehingga setiap pekerjaan dapat dilihat efektifitas kinerjanya. Selain itu, dibutuhkan pelatihan, sosialisasi serta komunikasi terhadap seluruh individu dan komponen pada PT Dinamika Putra agar proses-proses yang ada dapat berjalan secara maksimal.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Domain *Plan and Organize* (PO) terdiri dari 6 prinsip yaitu: kepedulian dan komunikasi (*awareness and communication/AC*); kebijakan, perencanaan, dan prosedur (*policies, plan, and procedures/PPP*); perangkat bantu dan otomatisasi (*tools and automation/TA*); keterampilan dan keahlian (*skills and expertise/SE*); pertanggungjawaban internal dan eksternal (*responsibility and accountability/RA*); dan penetapan tujuan dan pengukuran (*goal setting and measurement /GM*).
2. Domain *Plan and Organize* (PO) terdiri dari 10 sub domain yaitu: *define a strategic IT plan* (PO1); *define the information architecture* (PO2); *determine technological direction* (PO3); *define the IT process, organisation and relationships* (PO4); *manage the investment* (PO5); *communicate management aims and direction* (PO6); *manage IT human resources* (PO7); *manage quality* (PO8); *assess and manage IT risks* (PO9); dan *manage projects* (PO10).
3. Hasil penilaian menunjukkan *maturity level* untuk domain *Plan and Organize* (PO) PT Dinamika Putra saat ini memiliki index 3.21, yaitu pada level

defined process, sedangkan yang diharapkan di masa mendatang adalah mencapai index 4.16, yaitu pada level *managed and measurable*.

4. Untuk mencapai level *managed and measurable*, perusahaan dapat memberikan penilaian, monitoring serta pengukuran terhadap setiap aktifitas dalam bentuk *balanced scorecard*, sehingga setiap pekerjaan dapat dilihat efektifitas kinerjanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, S., Winarno, W. W. dan Al Fatta, H., 2017, Evaluasi Tata Kelola Teknologi Informasi Akademik STMIK Dipanegara Makassar, *Jurnal Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UNSIQ*, 4(1).
- Campbell, P. L., 2005, *A Cobit Primer* (No. SAND2005-3455), Sandia National Laboratories.
- Ghofar, M. A. dan Kurniawan, Y. I., 2018, Aplikasi Pengelompokan Pelanggan Pada Ums Store Menggunakan Algoritma K-Means, *Jurnal Teknologi dan Manajemen Informatika*, 4(1).
- ISACA, C. (2015). 4.1 (2007).
- ITGI, I., 2007, Governance Institute, *About IT Governance Framework: Information Systems Audit and Control Foundation-CobIT 4^o Edition, Rolling Meadows: ISACA*.
- Surendro, K., 2010, Rancangan Tata Kelola Teknologi Informasi untuk Pabrik Pupuk, *Jurnal Informatika*, 9(2), 115-121.
- Wijaya, R., 2018, Penerapan Quality Assurance pada PT. XYZ untuk Proses Perencanaan Menggunakan Framework Cobit 4.1 Domain PO, *Journal of Business and Audit Information Systems*, 1(01).

BIODATA PENULIS

Yogiek Indra Kurniawan, M.T., lahir di Karanganyar pada tanggal 12 Maret 1988, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Informatika dari Institut Teknologi Telkom tahun 2010 dan S2 bidang Informatika dari Institut Teknologi Bandung tahun 2013. Mendalami bidang sistem informasi, sistem basis data, *data mining*, dan *software development*.

FABRICATION, MECHANICAL PROPERTIES, AND INTERFACE STRUCTURE OF RAMIE FIBER COMPOSITE

Sударsono

Department of Mechanical Engineering, IST AKPRIND Yogyakarta
Email: sudarsono1574@akprind.ac.id

Masuk: 21 Juni 2017, Revisi masuk: 10 Januari 2018, Diterima: 28 Januari 2018

ABSTRACT

In present work, ramie fiber based composites are fabricated and tested on its mechanical properties and interface structure. The work aims to investigate effect of volume fraction of ramie fiber (VoF) on mechanical properties (yield and tensile strength, bending stress and strain, and modulus elasticity) of the composites. Besides, bonding and mixing between ramie fiber and resin are also observed under interface structure test. The VoF observed are 25, 35, 45, and 55%. The results indicate that maximum yields strength of 8.03 kgf/mm² and tensile strength of 12.29 kgf/mm² are obtained in the composite with VoF of 45%. Meanwhile, bending stress of 121.78 MPa and bending stress of 3.25% are observed in the composite with VoF of 55%. Although good bonding between ramie and resin are occurred, but non-uniform mixing between the two is observed due to fabrication method used.

Keywords: *composites, fiber, interface, mechanical properties, ramie.*

INTISARI

Dalam penelitian ini, komposit berbasis serat rami dibuat dan diuji pada sifat mekanik dan struktur antarmuka. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek fraksi volume serat rami (VoF) pada sifat mekanik (hasil dan kekuatan tarik, tegangan lentur dan regangan, dan modulus elastisitas) dari komposit. Selain itu, ikatan dan pencampuran antara serat rami dan resin juga diamati melalui uji struktur antarmuka. VoF yang diamati adalah 25%, 35%, 45%, dan 55%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan hasil maksimum 8,03 kgf/mm² dan kekuatan tarik 12,29 kgf/mm² diperoleh dalam komposit dengan VoF 45%. Sementara itu, tegangan lentur 121,78 MPa dan tegangan lentur 3,25% diamati dalam komposit dengan VoF 55%. Meskipun terjadi lentur yang baik antara rami dan resin, tetapi pencampuran yang tidak seragam antara keduanya juga diamati selama proses pembuatan dengan metode yang digunakan.

Kata-kata kunci: antarmuka, fiber, komposit, peralatan mekanik, rami.

INTRODUCTION

Due to abundant availability in Indonesia, Ramie fiber has a potential for raw material in production of natural ramie composite. Natural composite, one of many attractive composite materials, is very interesting material nowadays. Many works on natural fiber composite have been reported. Suizu et al. [1] has investigated the use of ramie fiber reinforced materials to produce eco-friendly and strong material. The ramie fiber able to increase composite tensile stress up 2 to 3 time compared with composite without ramie fiber. Other natural fiber of Kenaf was investigated by

[2]. Randomly increasing Kenaf fiber content can improve tensile strength and modulus of the composite. Karnani et al. [3] have compared Kenaf-Polyester composite with Kenaf-PP composite. The Kenaf composites - polyester in the study had better tensile properties than the composites of Kenaf-PP. Furthermore [4] have developed a sandwich composite with Albizia as a composite core. Meanwhile, the effect of life cycle of wood fiber reinforced composites (fiber reinforced wood) and polypropylene on the environment have been observed by Xu, et al. [5]. The test showed that wood fiber-reinforced composite is more

environmentally friendly than polypropylene. In the same volume of material, the composite material has a density lower than polypropylene.

Mechanical properties are important parameter in utilization of composite material. The mechanical properties, such as yield and tensile strength, bending stress and strain, and modulus elasticity have to figure out. Following calculation are used to calculate bending stress and strain, respectively.

$$\tau_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

$$v_f = \frac{6Dd}{L^2} \quad (2)$$

Some more recent works in investigation on mechanical properties of natural fiber composite are conducted by [6], [7], and [8]. Lau et al. [6] investigated natural fiber composites for structural engineering application. Mechanical properties of natural composites from different fiber i.e. Flax, hemp, jute, sisal and coir fibers is performed by Codispoti et al. [7]. Meanwhile, Xie et al. [8] observed mechanical properties of sisal fiber-starch packing composites.

In this work, natural ramie fiber composites are fabricated with different volume fraction of the fiber (VoF), i.e. 25, 35, 45, 55%. The composites are tested to figure out an effect of VoF on mechanical properties (yield and tensile strength, bending stress and strain, and modulus elasticity) of the composites. Besides, bonding and mixing between ramie fiber and resin are also observed under interface structure test.

Material and Method

In this work, natural composite of ramie fiber is fabricated from ramie fiber obtained from Temanggung, Central Java, Indonesia, resin yukalac 157 BQTN, and methyl ethyl keton peroxide (MEKPO) used as a catalyst. The volume fraction of ramie fiber (VoF) is varied during the fabrication, thus results composites four different composite, i.e. composite with VoF of 25%, 35%, 45%, and 55%. Figure 1 shows the materials used in the fabrication of the composite and the fabricated composite.



(a) Ramie fiber



(b) Resin: Yukalac 157 BQTN



(c) Catalyst: MEKPO



(d) The composite

Figure 1. Materials and the fabricated composites

The samples of the composite are then tested to figure out an effect of VoF on mechanical properties (yield and tensile

strength, bending stress and strain, and modulus elasticity) of the composites). The mechanical properties tests are conducted using universal testing machine. Besides, microstructure of the composite is also evaluated under microscope observation. Figure 2 displays photos of the universal testing machine and the microscope.



(a) Universal Testing Machine



(b) Microscope

Figure 2. Testing unit

RESULTS AND DISCUSSION

Yield and Tensile Strength

Figure 3 presents the effect of volume fraction of fiber (VoF) on yield and tensile strength of the composite. The graphs indicate that increasing VoF from 25% to 45% improves yield strength and tensile strength as well. Further increasing in VoF to 55%, the yield and tensile strength decline. Maximum values of yield and tensile strength are obtained for the use of VoF 45%. The values are 8.03 and 12.29 kgf/mm², respectively. Yield and tensile characteristic of the ramie play an important role in yields and tensile strength of the composite. Thus,

increasing VoF up to 45% able to enhance the yields and tensile strength of the composite. However for VoF of 55% the yields and tensile strength decline. More amount of fiber means that less amount of resin in the composite. This may reduce the yields and tensile strength of the composite.

Bending Stress and Bending Strain

The effect of VoF on bending stress and bending strain is given in Figure 4. In general, the bending stress and strain of the composite step up as VoF increases from 25% to 55%. Higher VoF means more amount of fiber encounter applied bending load, results in higher bending stress and stress properties of the composite. Maximum bending stress and bending stress of 121.78 MPa and 3.25% are observed for VoF of 55%.

Interface Structure

Meanwhile, Figure 5 displays the photo of micro structure of the ramie composite. The photo indicates that the ramie fiber able to bond with the resin well. However, non-uniform mixing between the fiber and resin is observed. This is due to the use of Hand Lay Up method during fabrication. The non-uniform bonding may affect mechanical properties of the composites, thus need more appropriate investigation in future work regarding the effect of interface structure on mechanical properties of the composites.

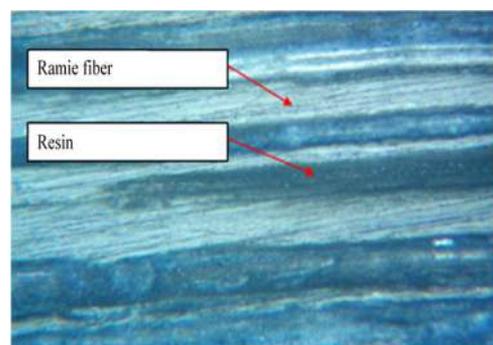


Figure 5. Interface structure of the composite

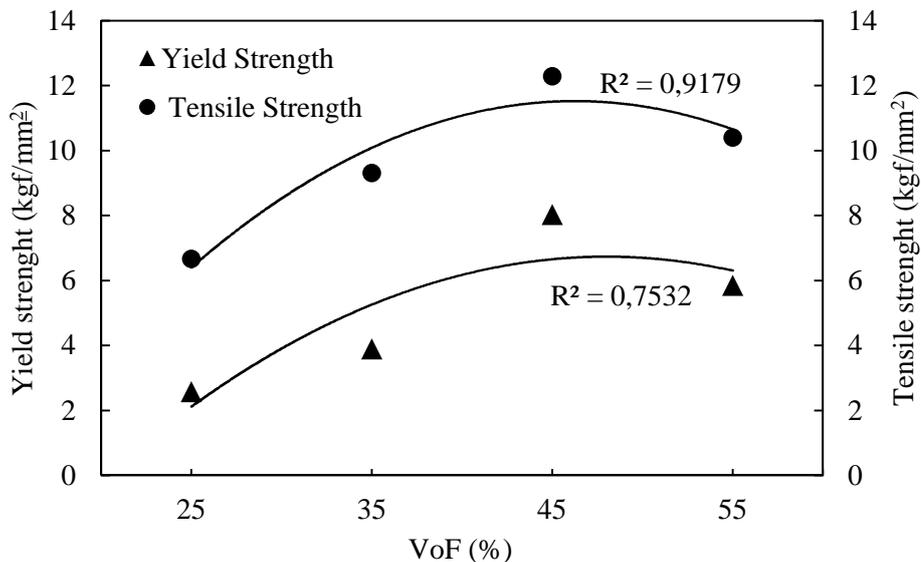


Figure 3. Effect of VoF on yield and tensile strength

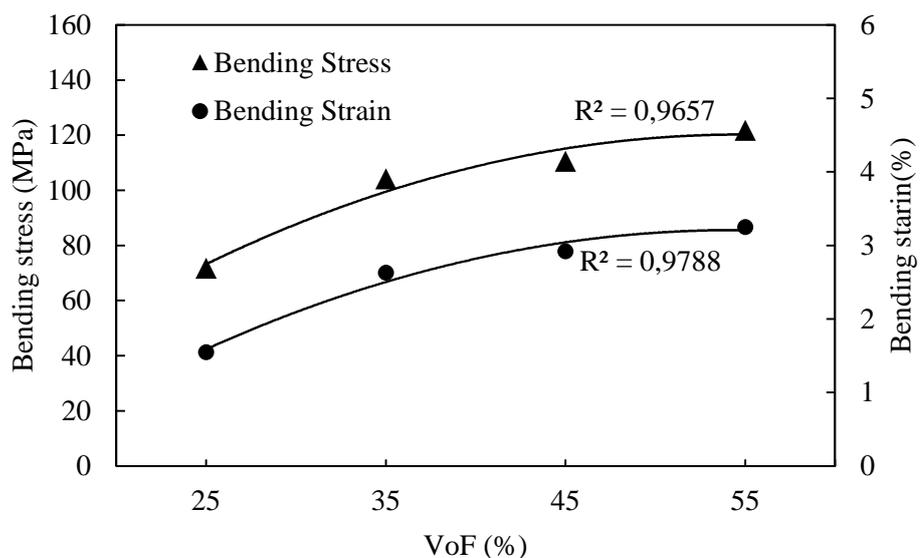


Figure 4. Effect of VoF on bending stress and strain

CONCLUSIONS

The effect of volume fraction of ramie fiber (VoF) of 25, 35, 45, and 55% on mechanical properties and interface structure of the ramie composites are performed. From the work, it can be concluded that maximum yields and tensile strength of the composites are obtained with the use of VoF of 45%. Increasing VoF able to increase bending stress and bending stress of the composite. Although good bending

between ramie and resin are observed, but non-uniformed mixing between the two is occurred due to fabrication method used.

REFERENCES

[1] Suizu N., Uno T., Goda K., and Ohgi J., 2009, Tensile and Impact Properties of Fully Green Composites Reinforced with Mercerized Ramie Fibers, *Journal of Materials Science*,

- May 2009, Vol. 44, No. 10, pp. 2477-2482.
- [2] Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, and Rochardjo H. S. B., 2005. Tensile Properties of Unidirectional Continuous Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite, *Proceeding of The International Physics Forum*, Sebelas Maret University, Indonesia, September 2005.
- [3] Karnani R., Krishnan M., and Narayan R., 1997, Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites, *Polymer Engineering and science*, Vol. 37 No. 2, pp. 476-483.
- [4] Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, and Rochardjo H. S. B., 2007. Effect of Faces Thickness on Impact Properties of Kenaf-Polyester Sandwich Composite with Albizzia Wood Core, *Proceeding of The Malaysia-Japan International Symposium On Advanced Technology (MJISAT 2007)*, 12th-15th November, 2007a, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [5] Xu X., Jayaraman K., Morin C., and Pecquex N., 2008, Life Cycle Assesment of Wood-Fibre_Reinforced Polypropylene Composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, Vol. 198, No. 1-3, pp. 168-177.
- [6] Lau K., Hung P., Zhu M., and Hui D., 2018, Properties of Natural Fibre Composites for Structural Engineering Applications, *Composites*, Part B, Vol. 136 (2018) pp. 222-233.
- [7] Codispoti R., Oliveira D.V., Olivito R.S., and Lourenço P.B., 2015, Mechanical Performance of Natural Fiber-Reinforced Composites for The Strengthening of Masonry, *Composites*, Part B, Vol. 77 (2015) pp. 74-83.
- [8] Xie Q., Li F., Li J., Wang L., Li Y., Zhang C., Xu J., and Chen S., 2018, A New Biodegradable Sisal Fiber-Starch Packing Composite with Nest Structure, *Carbohydrate Polymers* 189 (2018) 56-64.

BIOGRAPHY OF AUTHOR

Dr. Ir. Sudarsono, M.T., He had his under graduated (Ir.) in Mechanical Engineering from Institut Teknologi Nasional Malang in 1988. In 1997 he was granted a degree of Master level (M.T.) by Universitas Indonesia. And he presented his dissertation and was declared to pass the exams Doctor (Dr.) in 2013 in Environmental Science from Universitas Diponegoro Semarang. His research area of interest includes materials, composite, renewable energy, environmental, wind energy.

ANALISIS PETROGRAFI BATUGAMPING FORMASI SENTOLO SEBAGAI BATUAN RESERVOIR HIDROKARBON DAERAH KARANGSARI, KECAMATAN PENGASIH, KABUPATEN KULONPROGO

Danis Agoes Wiloso¹, Khoirunnada²

¹Jurusan Teknik Geologi, IST AKPRIND Yogyakarta

²Mahasiswa Jurusan Teknik Geologi, IST AKPRIND Yogyakarta

Email: ¹danisagoes@akprind.ac.id, ²khoirunnada24@gmail.com

Masuk: 01 Januari 2018, Revisi masuk: 20 Januari 2018, Diterima: 28 Januari 2018

ABSTRACT

The research area is located in Karang Sari Area, Pengasih District, Kulon Progo Regency, Daerah Istimewa Yogyakarta. The purpose of this research is to know porosity and naming of limestone based on petrographic analysis. The method used to determine the porosity and naming of the limestone by analyzing the thin section of limestone and for naming it using Folk Classification (1959) and Dunham (1962). The results of data collection and processing of limestone slabs are observed at Location Observation 1 found Mudstone and Biosparit, at Location Observations 2-5 obtained Packstone and Biomicrite. Based on the petrographic appearance of the rock, the porosity belongs to the intergranular porosity of the pores located between the grains covered by the cement at Location Observation 1 with a 20% percentage of good porosity category, Location Observation 2 with a 20% percentage of good porosity category, Location Observation 3 with percentage 20% sufficient porosity category, Location Observation 4 with percentage 15% category porosity enough, Location Observation 5 with percentage 15% category porosity enough.

Keywords: Hydrocarbon, Limestone, Porosity, Reservoir.

INTISARI

Daerah penelitian ini berada di daerah Karang Sari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui porositas dan penamaan batugamping berdasarkan analisis petrografi. Metode yang digunakan untuk mengetahui porositas batugamping adalah dengan cara menganalisis sayatan tipis batugamping dan untuk penamaannya menggunakan klasifikasi Folk (1959) dan Dunham (1962). Hasil pengambilan dan pengolahan data sayatan tipis batugamping tersebut adalah pada Lokasi Pengamatan 1 didapatkan batugamping *Mudstone* dan *Biosparit*, pada Lokasi Pengamatan 2-5 didapatkan batugamping *Packstone* dan *Biomicrite*. Berdasarkan kenampakan petrografis batuan, porositas yang dimiliki termasuk pada *intergranular porosity* pori-pori terletak di antara butiran yang tertutupi oleh semen pada Lokasi Pengamatan 1 dengan persentase 20% kategori porositas baik, Lokasi Pengamatan 2 dengan persentase 20% kategori porositas baik, Lokasi Pengamatan 3 dengan persentase 20% kategori porositas cukup, Lokasi Pengamatan 4 dengan persentase 15% kategori porositas cukup, Lokasi Pengamatan 5 dengan persentase 15% kategori porositas cukup.

Kata kunci: Batugamping, Hidrokarbon, Porositas, Reservoir.

PENDAHULUAN

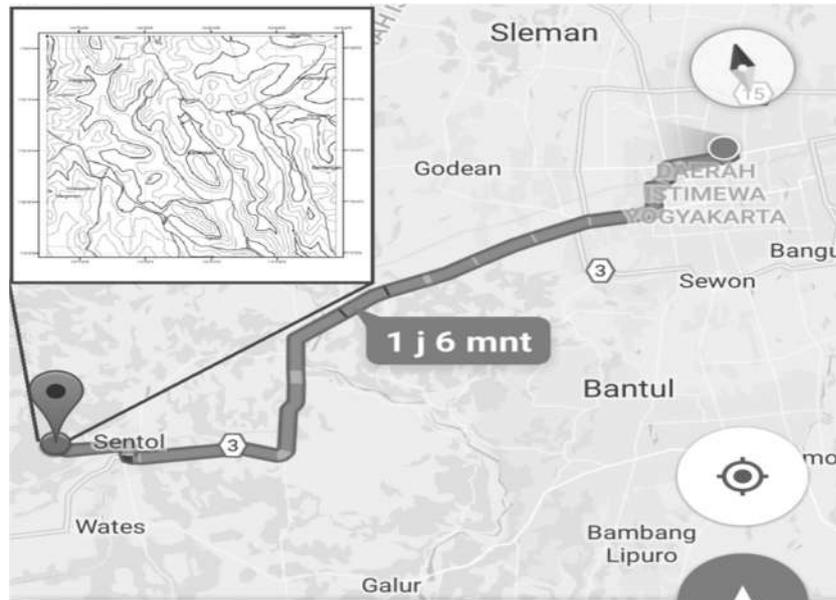
Secara umum lokasi penelitian berada di Daerah Karang Sari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan koordinat 110° 7' 45" BT – 110° 8'

45" BT dan 7° 50' 00" LS – 7° 51' 00" LS dan secara fisiografi, daerah penelitian masuk ke dalam Kubah Kulon Progo bagian tenggara. Kubah Kulon Progo merupakan ujung paling timur dari rangkaian Pegunungan Serayu Selatan.

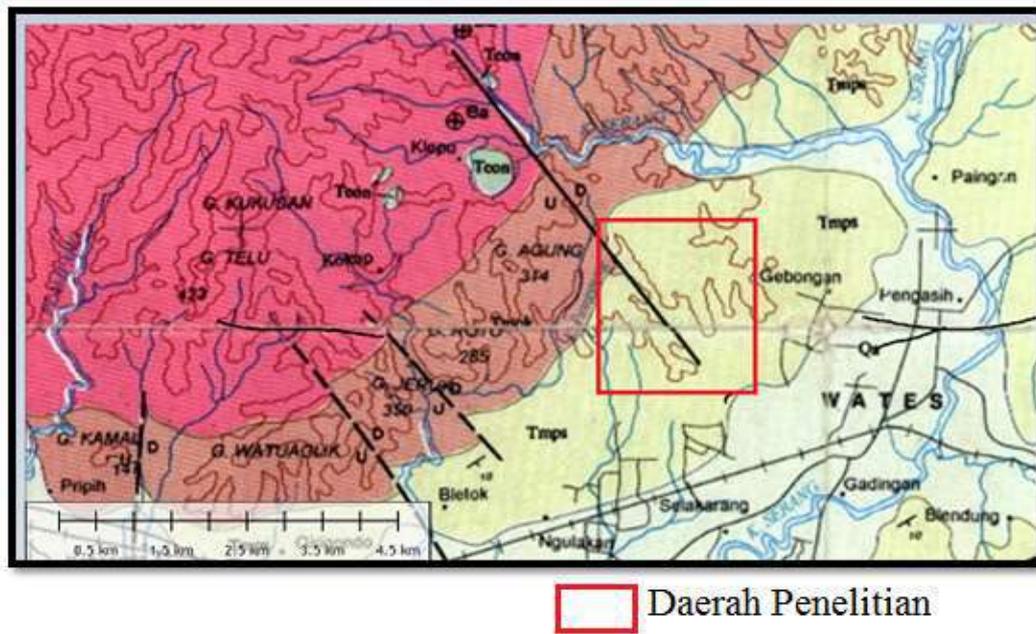
Peta lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 1.

Pada kaki selatan gunung Menoreh dijumpai adanya sinklinal dan sebuah sesar dengan arah barat-timur, yang memisahkan Gunung Menoreh dengan Gunung Ijo serta pada sekitar zona sesar. Keadaan struktur yang telah

dijabarkan sangat dipengaruhi oleh sejarah tektonik Jawa mulai dari Zaman Kapur hingga sekarang. Gambar 2 menampilkan peta geologi Yogyakarta dimana kotak merah menunjukkan lokasi penelitian.



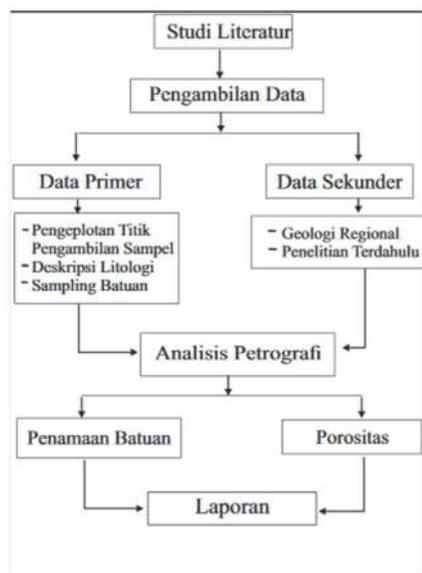
Gambar 1. Lokasi penelitian



Gambar 2. Peta Geologi Yogyakarta, kotak merah menunjukkan lokasi penelitian (Rahardjo dkk, 1995)

Metodologi

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini ada beberapa tahap yaitu studi literatur, pengambilan data yang dibagi menjadi dua yaitu data sekunder (geologi regional, penelitian terdahulu), data primer (pengambilan sampel di lapangan, deskripsi litologi, deskripsi lokasi), selanjutnya dilakukan analisis petrografi di laboratorium (Gambar 3).



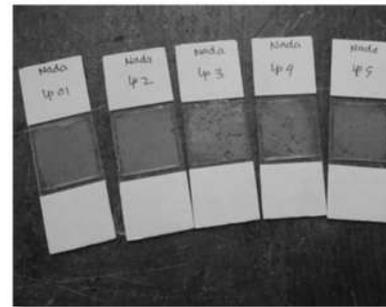
Gambar 3. Bagan alir penelitian

Pengumpulan data primer dilakukan melalui pengambilan sampel di lapangan sebanyak 5 sampel, untuk kemudian dianalisis di laboratorium (Tabel 1).

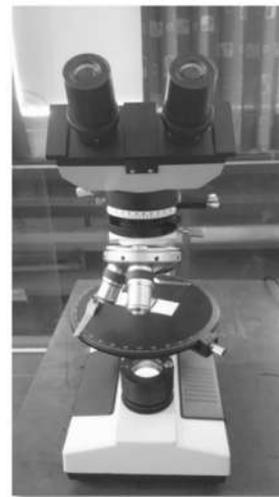
Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel

No	Koordinat		Batuan
	Lintang	Bujur	
1	07°50'01.25"	110°08'35.84"	Kalsilitit
2	07°49'56.57"	110°08'01.17"	Kalkarenit
3	07°50'29.44"	110°08'24.67"	Kalkarenit
4	07°50'10.64"	110°08'03.52"	Kalkarenit
5	07°50'31.93"	110°08'03.69"	Kalkarenit

Kelima sampel tersebut kemudian dibuat sayatan tipisnya agar bisa dianalisis di bawah mikroskop polarisasi (Gambar 4 dan 5).



Gambar 4. Sampel yang sudah dibuat sayatan tipis



Gambar 5. Mikroskop polarisasi untuk analisis sayatan tipis batuan

Teknik perhitungan porositas dilakukan dapat dilakukan perkiraan secara visual dengan menggunakan peraga visual. Penentuan ini bersifat semi-kuantitatif dan dipergunakan suatu skala. Pemeriksaan secara mikroskopis untuk jenis porositas dapat pula dilakukan secara kualitatif, antara lain untuk jenis:

1. Antar butir (*intergranuler*), yang berarti bahwa pori-pori yang didapat di antara butir-butir.
2. Antar kristal (*interkristalin*), dimana pori-pori berada di antara kristal-kristal.
3. Celah dan rekah, yaitu rongga terdapat di antara celah-celah.
4. Bintik-bintik jarum (*point-point porosity*), berarti bahwa pori-pori merupakan bintik-bintik terpisah, tanpa kelihatan bersambungan.

5. Ketat (*thigt*), yang berarti butir-butir berdekatan dan kompak sehingga pori-pori kecil sekali dan hampir tidak ada porositas.
6. Padat (*dense*), berarti batuan sangat kecil sehingga hampir tidak ada porositas.
7. *Growing (vugular)*, yang berarti rongga-rongga besar berdiameter beberapa mili dan kelihatan sekali bentuk-bentuknya tidak beraturan, sehingga porositas besar.
8. Bergua-gua (*cavernous*), yang berarti rongga-rongga besar sekali malahan berupa gua-gua, sehingga porositas sangat besar.

Pengertian Batuan Karbonat

Batuan karbonat adalah batuan sedimen yang mempunyai komposisi dominan terdiri dari garam-garam karbonat, sedang dalam prakteknya secara umum meliputi batugamping dan dolomit. Proses pembentukannya dapat terjadi secara insitu, yang berasal dari larutan yang mengalami proses kimiawi maupun biokimia, dimana dalam proses tersebut organisme turut berperan dan dapat pula terjadi dari butiran rombakan yang telah mengalami transportasi secara mekanik yang kemudian diendapkan pada tempat lain (Koesoemadinata, 1985).

Klasifikasi Batuan Karbonat

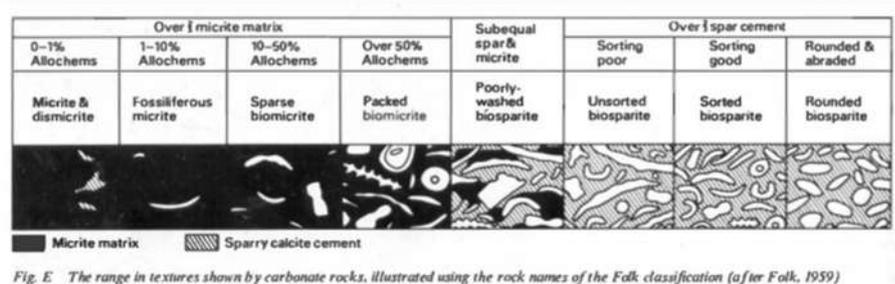
Klasifikasi batuan karbonat yang dipakai pada penelitian ini adalah menggunakan klasifikasi yang ditetapkan

oleh Folk (1959) dan Dunham (1962). Klasifikasi batuan karbonat yang dikemukakan oleh Folk (1959) didasarkan pada tiga komponen utama penyusun batuan karbonat, yaitu butiran (*allochems*), *sparite*, dan *micrite*.

Allochems merupakan butiran karbonat yang berukuran pasir-kerikil, yang berasal dari sedimen klastik. Termasuk didalamnya adalah oolit, pisolit, onkolit, pellet, fosil, dan lain-lain.

Microcrystalline calcite ooze atau *micrite* merupakan agregat halus yang berukuran 1-4 mikron, sebagai pembentuk mineral kalsit, terjadi secara biokimia dari presipitasi air laut, terbentuk dalam lingkungan pengendapan dan menunjukkan sedikit atau tidak adanya transportasi yang berarti. Hal ini dinyatakan bahwa mikrit (menurut Folk, 1959) adalah tidak sama dengan lumpur karbonat (menurut Dunham, 1962). Folk memberikan penamaan secara deskriptif untuk penyusunan batuan, sedangkan Dunham lebih menjurus pada untuk menafsirkan penyusunan batuan itu.

Sparry calcite cements atau *sparite* merupakan semen yang mengisi ruang antar butir dan rekahan, berukuran butir halus (0,02-1mm). Dapat terbentuk langsung dari sedimen secara insitu ataupun dari rekristalisasi mikrit. Dengan didasarkan pada ketiga komponen utama tersebut, penamaan batuan karbonat dapat dibagi menjadi beberapa tipe utama. Gambar 6 menampilkan klasifikasi batuan karbonat menurut Folk (1959).



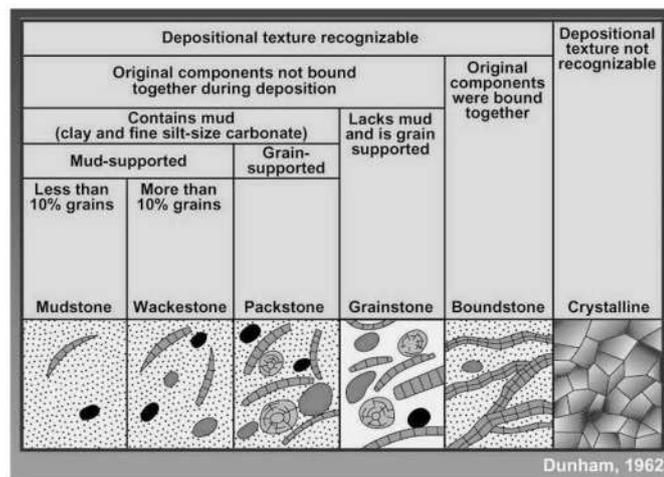
Gambar 6. Klasifikasi batuan karbonat (Folk, 1959)

Klasifikasi batuan karbonat pada Dunham (1962) didasarkan pada tekstur deposisi dari batugamping, dalam

sayatan tipis, tekstur deposisional merupakan aspek yang tetap. Kriteria dasar dari tekstur deposisi yang diambil.

Dasar yang dipakai oleh Dunham (1962) untuk menentukan tingkat energi adalah fabrik batuan. Bila batuan bertekstur *mud-supported* diinterpretasikan terbentuk pada energi rendah karena Dunham (1962) beranggapan lumpur karbonat hanya terbentuk pada lingkungan yang berarus tenang sebaliknya batuan dengan fabrik *grain supported* terbentuk pada energi gelombang kuat sehingga hanya komponen butiran yang dapat mengendap. Batugamping dengan kandungan beberapa butir (<10 %) di dalam matrik lumpur karbonat disebut

mudstone, dan bila *mudstone* tersebut mengandung butiran tidak saling bersinggungan disebut *wackestone*. Bila antar butirannya saling bersinggungan disebut *packstone* atau *grainstone*. *Packstone* mempunyai tekstur *grain-supported* dan biasanya memiliki matriks *mud*. Dunham (1962) memakai istilah *boundstone* untuk batugamping dengan fabrik yang mengindikasikan asal-usul komponen yang direkatkan bersama selama proses pengendapan. Gambar 7 menampilkan klasifikasi batuan karbonat Dunham (1962).



Gambar 7. Klasifikasi batuan karbonat (Dunham, 1962)

Pengertian Batuan Reservoir

Reservoir merupakan wadah dimana minyak dan gas bumi berada dan tertampung dalam. Suatu cekungan minyak biasanya mempunyai tiga unsur utama yaitu adanya batuan reservoir, lapisan penutup dan perangkap (Koesoemadinata, 1980). Porositas adalah ukuran dari ruang kosong di antara material, dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume, yang bernilai antara 0 dan 1, atau sebagai persentase antara 0-100%. Tabel 2 menampilkan klasifikasi porositas menurut Koesoemadinata (1980).

Tabel 2. Klasifikasi porositas

Porositas	Kualitas
0 – 5%	Dapat diabaikan (<i>negligible</i>)
5 – 10 %	Buruk (<i>poor</i>)
15 – 20 %	Baik (<i>good</i>)
20 – 25%	Sangat baik (<i>very good</i>)
>25%	Istimewa (<i>excellent</i>)

PEMBAHASAN

Geologi Daerah Penelitian

Secara umum daerah penelitian termasuk dalam Jalur Pegunungan Kulon Progo. Pegunungan Kulon Progo ini secara umum disusun oleh dua kelompok besar batuan yaitu batuan vulkanik dan batuan karbonat, dengan jurus perlapisan relatif barat-timur dengan kemiringan ke selatan.

Dengan mempertimbangkan keadaan geomorfologi daerah penelitian, maka dalam penelitian ini satuan geomorfik daerah penelitian dibagi dengan didasarkan pada relief dan litologi. Klasifikasi geomorfik yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Zuidam (1983) yang telah dimodifikasi sesuai dengan kondisi daerah penelitian.

Dalam pembagian subsatuan geomorfik daerah penelitian dengan cara

pengamatan langsung di lapangan, hal ini bertujuan untuk mengetahui secara langsung serta pengumpulan data dari setiap satuan geomorfiknya, meliputi litologi penyusun, ada tidaknya pengaruh struktur geologi, dan proses-proses eksogenik yang bekerja pada setiap satuan geomorfik tersebut.

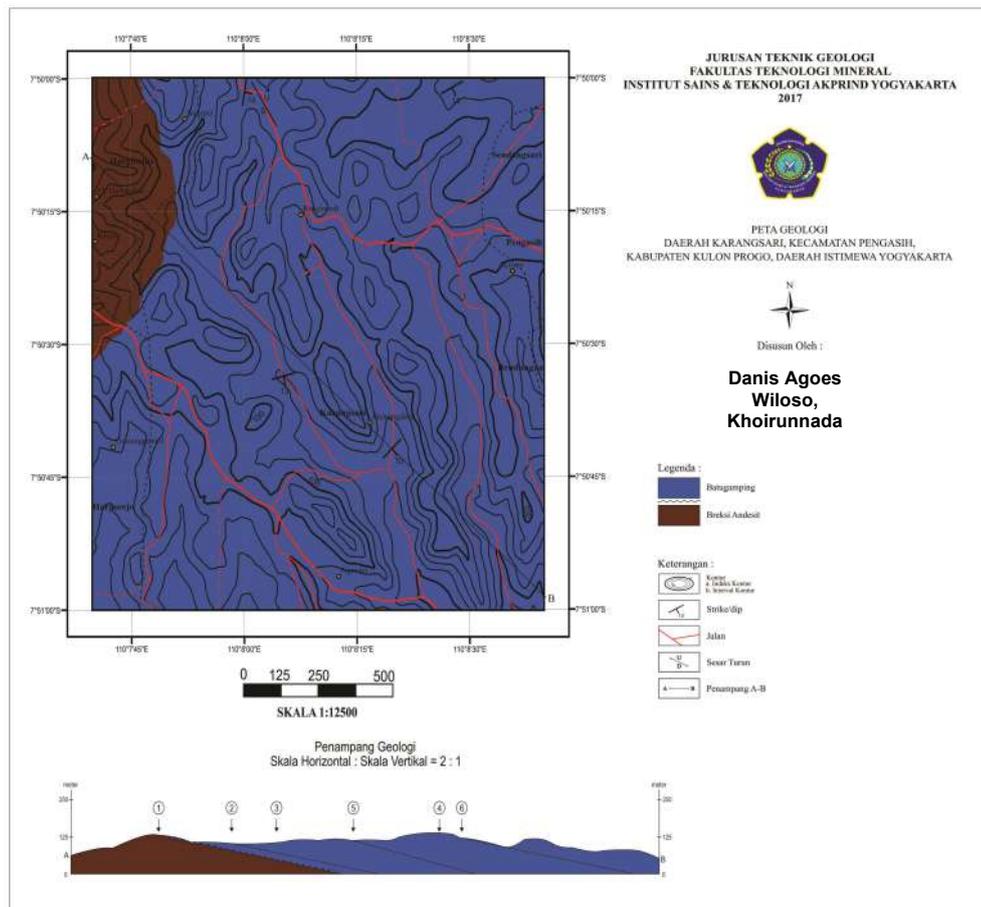
Subsatuan di daerah penelitian adalah geomorfik perbukitan terdenudasi. Satuan ini mempunyai topografi berbukit dan bergelombang dengan lereng berkisar 15>55%, perbedaan tinggi antara 50>500 m. Pada daerah penelitian terkikis sedang hingga kecil.

Lokasi penelitian berada pada Peta Geologi Lembar Yogyakarta, dimana lokasi penelitian termasuk ke dalam Formasi Sentolo. Formasi Sentolo ini mempunyai batuan penyusun berupa batupasir napalan dan batugamping, dan

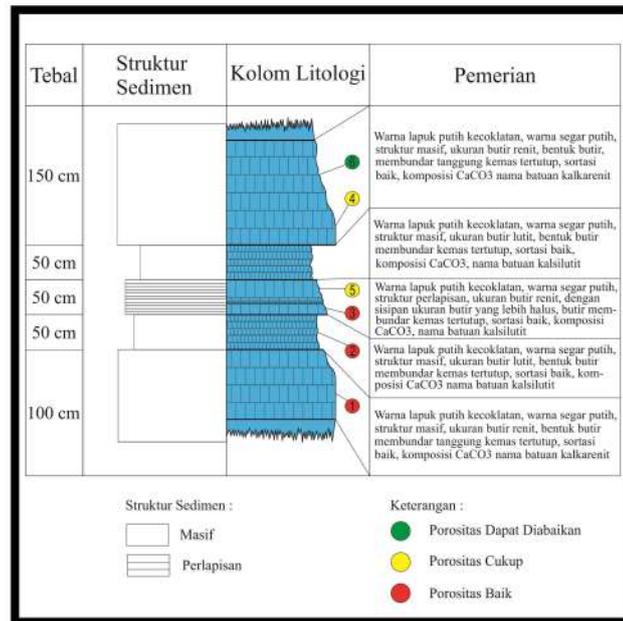
pada bagian bawahnya terdiri dari napal tuffan. Ketebalan formasi sekitar 950 m. Letak formasi ini selaras menjari dengan Formasi Jonggrangan. Formasi Sentolo ini berumur sekitar Miosen bawah sampai Pleistosen.

Berdasarkan pengelompokan dan penamaan satuan batuan berdasarkan atas litostratigrafi tidak resmi, maka daerah penelitian dibagi atas 2 (dua) satuan batuan, dari tua sampai yang muda terdiri dari Satuan breksi dan Satuan batugamping (Gambar 8).

Satuan yang dijadikan objek penelitian adalah batugamping (Gambar 9). Pembahasan tentang satuan batugamping pada daerah penelitian meliputi uraian mengenai dasar penamaan, ciri litologi meliputi karakteristik petrografis.



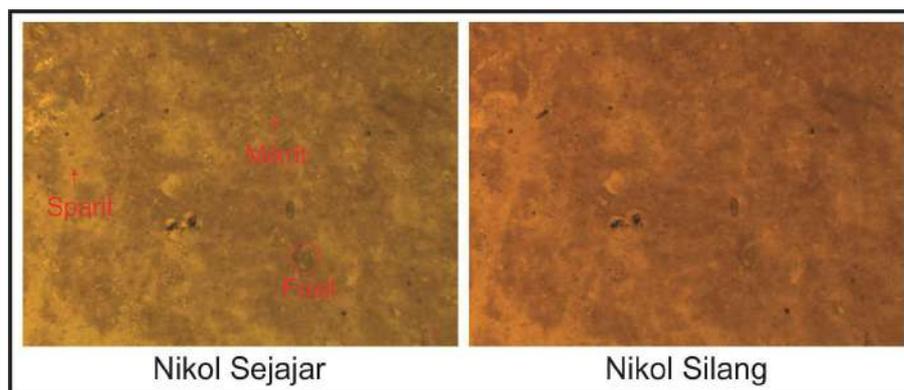
Gambar 8. Peta geologi daerah penelitian



Gambar 9. Kolom litologi pada satuan batugamping (tanpa skala)

Pada Lokasi Pengamatan (LP) 1 dari hasil analisis sayatan tipis batugamping klastik didapatkan tekstur *mudsupported*, tersusun oleh *allochem* fosil foraminifera tersebar sebanyak 3%, bentuk butir membundar tanggung-globular, ukuran butir 0,25-0,02mm, dalam matrik lumpur karbonat menyebar merata sebanyak 17% dan semen karbonat yang mengisi antar pori-pori batuan menyebar merata dengan persentase 80%. Pada LP 1 nama batumannya adalah *Mudstone*

(Dunham, 1962), *Biosparit* (Folk, 1959). Untuk porositasnya *intergranular* yang telah terisi oleh sparit, tetapi untuk porositas sekunder yang dilihat secara langsung di lapangan dengan persentase 20% dengan dicirikan adanya struktur growong dan rekahan-rekahan (Gambar 10). LP 1 mempunyai porositas dengan 20%. Menurut klasifikasi porositas berdasarkan Koesoemadinata (1980) termasuk ke dalam kategori baik (15-20 %) sebagai reservoir hidrokarbon.



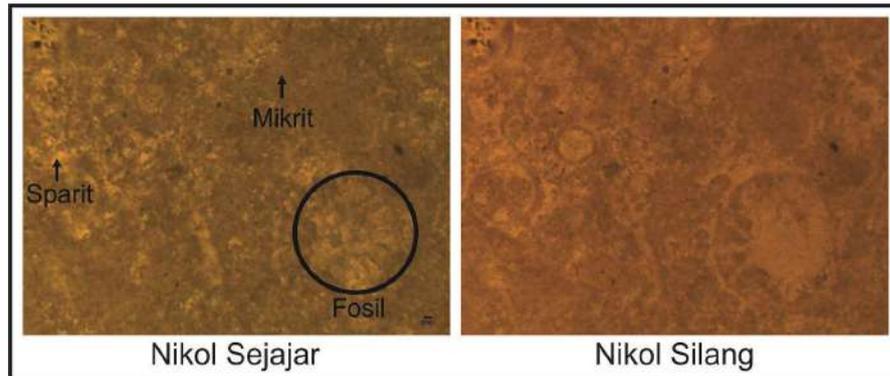
Gambar 10. Sayatan batuan karbonat *Mudstone* LP 1

Pada LP 2 dari hasil analisis sayatan tipis batugamping klastik didapatkan, tekstur *Grainsupported*, tersusun oleh *allochem* foraminifera planktonik Genus *Globigerina* dan *Globorotalia*, penyebar-

an setempat-tempat, persentase 65%, bentuk butir menyudut tanggung-globular, ukuran butir 0,25-0,75mm, dalam matrik lumpur karbonat menyebar merata sebanyak 25% dan semen

karbonat yang mengisi antar pori-pori batuan menyebar merata dengan persentase 10%. Pada LP 2 nama batuanya adalah *Packstone* (Dunham, 1962), *Biomicrorite* (Folk, 1959). Untuk porositasnya *intergranular* yang telah terisi oleh sparit (Gambar 11). Tetapi untuk porositas sekunder yang dilihat

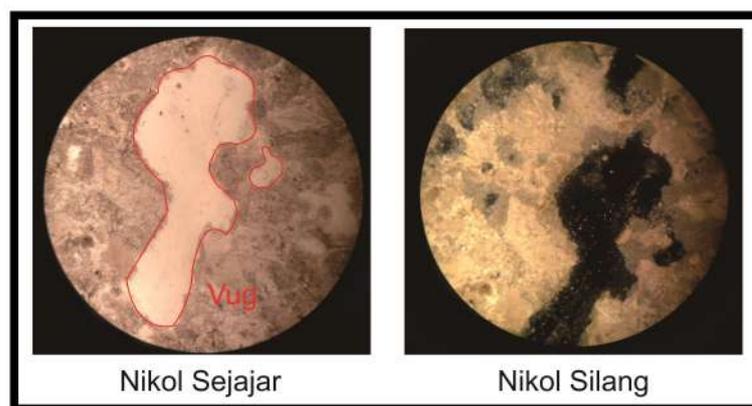
secara langsung di lapangan dengan persentase 20% dicirikan adanya struktur rekahan-rekahan dan sesar minor. LP 2 mempunyai porositas dengan 20% Menurut klasifikasi porositas berdasarkan Koesoemadinata (1980) termasuk ke dalam kategori baik (15-20 %) sebagai reservoir hidrokarbon.



Gambar 11. Sayatan batuan karbonat *Packstone* LP 2 (Penyusun, 2017)

Pada LP 3 dari hasil analisis sayatan tipis batugamping klastik didapatkan, tekstur *Grainsupported*, tersusun oleh *allochem* foraminifera planktonik Genus *Globigerina* dan *Globorotalia* foram besar *Lepidocyclina*, penyebaran setempat, persentase 50%, bentuk butir menyudut tanggung-globular, ukuran butir 0,25-4mm, dalam matrik lumpur karbonat menyebar merata sebanyak 20% dan semen karbonat yang mengisi antar pori-

pori batuan menyebar merata dengan persentase 10%. Pada LP 3 nama batuanya adalah *Packstone* (Dunham, 1962), *Biomicrorite* (Folk, 1959). Untuk porositasnya *Vug* penyebaran setempat persentase 20% dilihat dari sayatan tipis (Gambar 12). LP 3 mempunyai porositas dengan 20% Menurut klasifikasi Porositas berdasarkan Koesoemadinata (1980) termasuk ke dalam kategori baik (15-20%) sebagai reservoir hidrokarbon.



Gambar 12. Foto sayatan tipis LP 3 yang menunjukkan adanya porositas skunder *Vug*

Pada LP 4 dari hasil analisis sayatan tipis batugamping klastik didapatkan, tekstur *Grainsupported*, tersusun oleh *allochem* foraminifera planktonik Genus *Globigerina* dan *Globorotalia*, foramini-

fera besar *Numulites*, dan *Algae*, penyebaran setempat-tempat, persentase 60%, bentuk butir menyudut tanggung-globular, ukuran butir 0,25-4mm, dalam matrik lumpur karbonat menyebar

merata sebanyak 15% dan semen karbonat yang mengisi antar pori-pori batuan menyebar merata dengan persentase 10%. Pada LP 4 nama batuannya adalah *Packstone* (Dunham, 1962), *Biomicrorite* (Folk, 1959). Untuk porositasnya *Vug* penyebaran setempat-

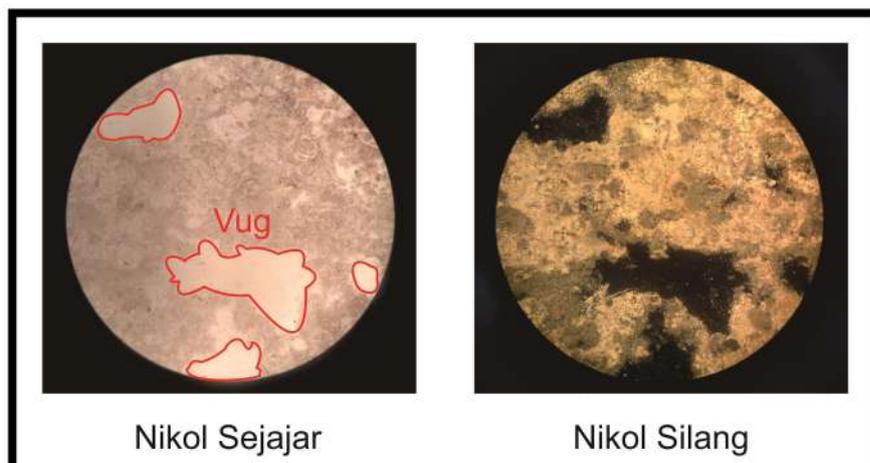
tempat dengan persentase 15% dilihat dari sayatan tipis (Gambar 13). LP 4 mempunyai porositas dengan 15% Menurut klasifikasi Porositas berdasarkan Koesoemadinata (1980) termasuk ke dalam kategori cukup (10-15 %) sebagai reservoir hidrokarbon.



Gambar 13. Foto sayatan tipis LP 4 yang menunjukkan adanya porositas sekunder *Vug*

Pada LP 5 dari hasil analisis sayatan tipis batugamping klastik didapatkan, tekstur *Grainsupported*, tersusun oleh *allochem* foraminifera planktonik Genus *Globigerina* dan *Globorotalia*, foraminifera bentonik *Spiroloculina Toddæ Bermudez*, penyebaran setempat, persentase 65%, bentuk butir menyudut tanggung-globular, ukuran butir 0,25-4mm, dalam matrik lumpur karbonat menyebar merata sebanyak 11% dan semen karbonat yang mengisi antar pori-

pori batuan menyebar merata dengan persentase 9%. Pada LP 5 nama batuannya adalah *Packstone* (Dunham, 1962), *Biomicrorite* (Folk, 1959). Untuk porositasnya *Vug* penyebaran setempat dengan persentase 15% dilihat dari sayatan tipis (Gambar 14). LP 5 mempunyai porositas dengan 15% Menurut klasifikasi Porositas berdasarkan Koesoemadinata (1980) termasuk ke dalam kategori baik (15-20 %) sebagai reservoir hidrokarbon.



Gambar 14. Foto sayatan tipis LP 5 yang menunjukkan adanya porositas sekunder *Vug*

Berdasarkan kenampakan petrografis batuan, porositas yang dimiliki termasuk pada *intergranular porosity* pori-pori terletak di antara butiran yang tertutupi oleh semen pada LP 1 dan LP 2, porositas sekunder *Vug* (Lubang yang terbentuk sebagai akibat proses pelarutan, seperti gerowong) pada LP 3, LP 4, LP 5. Porositas kategori baik sebagai hidrokarbon terdapat pada LP1, LP2, dan LP 3, porositas kategori cukup sebagai hidrokarbon terdapat pada LP 4 dan LP 5, dan porositas kategori dapat diabaikan sebagai hidrokarbon terdapat pada LP 2.

Tabel 3. Hasil analisis porositas pada daerah penelitian

No	Persentase Porositas	Kategori	Tipe Porositas
1	20 %	Baik	<i>Vug</i>
2	20%	Baik	<i>Vug</i>
3	20%	Baik	<i>Vug</i>
4	15%	Cukup	<i>Vug</i>
5	15%	Cukup	<i>Vug</i>

KESIMPULAN

Geomorfologi pada daerah penelitian merupakan perbukitan denudasional yang dicirikan dengan morfologi yang berrelief kasar dan kemiringan curam. Stratigrafi pada daerah penelitian terdapat 2 (dua) satuan batuan yaitu satuan breksi (yang lebih tua) selanjutnya diendapkan secara tidak selaras di atasnya satuan batugamping yang merupakan objek dari penelitian. Struktur pada daerah penelitian yaitu sesar-sesar minor dan ada struktur perlapisan.

Berdasarkan hasil analisis petrografis pada beberapa sayatan tipis sampel batuan batugamping di daerah penelitian, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu, satuan batugamping pada daerah penelitian termasuk pada kelompok batugamping dengan nama *Mudstone* (Dunham, 1962), *Biosparit* (Folk, 1959) pada LP 1 dan, *Packstone* (Dunham, 1962), *Biomicroite* (Folk, 1959) pada LP 2, LP 3, LP 4, dan LP 5.

Berdasarkan kenampakan petrografis batuan, porositas yang dimiliki termasuk pada *intergranular porosity* pori-pori terletak di antara butiran yang

tertutupi oleh semen pada LP 1 dengan persentase 20% kategori porositas baik, LP 2 dengan persentase 20% kategori porositas baik, porositas sekunder *Vug* (lubang yang terbentuk sebagai akibat proses pelarutan, seperti gerowong) pada LP 3 dengan persentase 20% kategori porositas cukup, LP 4 dengan persentase 15% kategori porositas cukup, LP 5 dengan persentase 15% kategori porositas cukup.

DAFTAR PUSTAKA

- Dunham, R. J., 1962, Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, *AAPG Memoir* 1.
- Folk, R. L., 1959, Practical petrographic classification of limestones: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 43, p. 1-38.
- Koesoemadinata, R.P., 1980, *Geologi Minyak dan Gas Bumi*, Departemen Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, H.M. D Rosidi, 1995, *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*, Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Zuidam, 1983, *Guide to Geomorphology Aerial Photographic Interpretation and Mapping*. Netherland: ITC, Enschede The Netherland.

BIODATA PENULIS

Danis Agoes Wiloso, S.T., M.T., lahir di Purwodadi Grobogan tanggal 29 Agustus 1969. Menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Teknik Geologi IST AKPRIND Yogyakarta pada tahun 1997, dan S2 Jurusan Teknik Geologi ITB tahun 2008 dengan konsentrasi petroleum geology. Sejak tahun 2016 hingga saat ini tercatat sebagai dosen tetap di Jurusan Teknik Geologi IST AKPRIND Yogyakarta.

Khoirunnada, lahir di Lubuk Sepuh tanggal 24 Januari 1996. Saat ini sedang menyelesaikan penelitian skripsi di Jurusan Teknik Geologi IST AKPRIND Yogyakarta.

STUDI KARAKTERISTIK PEMBAKARAN MINYAK PIROLISIS PLASTIK MENGUNAKAN *STEAM-ATOMIZING BURNER*

Muhammad Sigit Cahyono¹, Ucik Ika Fenti Styana²

¹ Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta

¹Email: sigitup45@gmail.com

² Program Studi Teknik Energi, Institut Teknologi Yogyakarta

²Email: ucik_energi@ity.ac.id

Masuk: 10 Januari 2018, Revisi masuk: 26 Januari 2018, Diterima: 28 Januari 2018

ABSTRACT

One of the new and renewable energy resources is Plastic Pyrolysis Oil, that produced from pyrolysis process of plastic wastes. This oil could be utilized as energy source using steam-atomizing burner, which its burning characteristics dependent to air pressure that used in the burner. The objective of the research was to investigate the influence of air pressure on the burning characteristic of plastic pyrolysis oil using steam-atomizing burner. The raw material that used are dry LDPE wastes. First, it was heated in pyrolysis reactor using biomass combustion as energy source, produced pyrolysis oil, noncondensable gases, and carbon black. The oil that produced is used as fuel for combustion in steam-atomizing burner, to know its burning characteristic, with variable air pressure on 1, 2, 3, 4, and 5 bar. The observation was made on fire temperature, the long of flame, and its efficiency, that showed by fuel consumption in burner and yield of plastic pyrolysis oil that produced. The experiment results showed that as the air pressure increased, all parameters were increased, that are fire temperature, the long of flame, fuel consumption in burner, and the yield of plastic pyrolysis oil that produced in the pyrolysis reactor.

Keywords: Air pressure, LDPE, Pyrolysis, Steam-atomizing burner.

INTISARI

Salah satu potensi sumber energi baru terbarukan adalah minyak pirolisis plastik (*plastic pyrolysis oil*) yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik. Minyak ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi menggunakan *Steam Atomizing Burner*, dimana karakteristik pembakarannya tergantung pada tekanan udara yang digunakan pada *burner*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tekanan udara terhadap karakteristik pembakaran minyak pirolisis plastik menggunakan *Steam-Atomizing Burner*. Bahan baku berupa sampah plastik jenis LDPE yang sudah kering, pada awalnya dipanaskan di dalam reaktor pirolisis, menghasilkan minyak pirolisis, *noncondensable gas* dan karbon. Minyak yang dihasilkan kemudian diuji pembakarannya menggunakan *Steam-Atomizing Burner*, dengan variasi tekanan udara 1, 2, 3, 4, dan 5 bar. Pengamatan dilakukan pada suhu api di lorong pembakaran, panjang nyala api, serta efisiensi yang ditunjukkan dengan konsumsi bahan bakar *burner* dan rendemen minyak pirolisis plastik yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan udara, suhu api di lorong pembakaran, panjang nyala api, konsumsi bahan bakar *burner*, dan rendemen minyak pirolisis plastik yang dihasilkan akan semakin meningkat.

Kata-kata kunci: LDPE, Pirolisis, *Steam-Atomizing Burner*, Tekanan udara.

PENDAHULUAN

Konsumsi energi di Indonesia terus meningkat, dimana sebagian besar diperoleh dari sumber energi fosil yang

tidak dapat diperbaharui. Berdasarkan data *BP Statistical Review of World Energy 2015*, selama 10 tahun terakhir, konsumsi energi primer Indonesia

mengalami peningkatan dari 118,8 juta setara ton minyak (*Million Ton Oil Equivalent, MTOE*) pada tahun 2004, menjadi 174,8 MTOE pada tahun 2014, atau meningkat 4,7 % per tahun (www.bp.com/statisticalreview, 2015).

Tingginya konsumsi energi ini tidak diimbangi dengan peningkatan efisiensi energi, yang terlihat dari besarnya nilai intensitas energi Indonesia yaitu 565 TOE/juta USD pada Tahun 2014. Artinya, untuk meningkatkan Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar 1 juta USD, dibutuhkan energi sebesar 565 TOE. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia masih kalah efisien dibandingkan Malaysia yang memiliki intensitas energi 493 TOE/juta USD, dan rata-rata negara maju yang tergabung dalam organisasi kerjasama ekonomi dan pembangunan (OECD), yaitu 164 TOE/juta USD.

Oleh karena itu, diperlukan upaya khusus untuk mengatasi masalah tersebut, dengan melakukan efisiensi penggunaan energi fosil. Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan merupakan salah satu cara untuk mengurangi tingginya konsumsi masyarakat terhadap energi fosil.

Salah satu jenis energi baru dan terbarukan tersebut adalah minyak pirolisis yang dihasilkan dari limbah plastik (*plastic pyrolysis oil*). Plastik pada dasarnya adalah produk turunan minyak bumi yang memiliki potensi nilai kalor yang tinggi, yaitu 43,34 MJ/kg untuk jenis LDPE (Santoso, 2010). Energi dari plastik ini bisa dimanfaatkan kembali dengan cara diubah menjadi bahan bakar minyak menggunakan proses pirolisis.

Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi secara termokimia dari material organik atau sintetis untuk menghasilkan bahan bakar pada suhu tinggi dalam kondisi miskin oksigen (Syamsiro dkk., 2014).

Proses pirolisis melibatkan tiga mekanisme dekomposisi, yaitu pemotongan rantai polimer yang lebih pendek, pemotongan pada ujung rantai dimana molekul kecil dan rantai panjang polimer akan terbentuk, dan pemisahan rantai polimer membentuk molekul-molekul kecil. Proses ini umumnya

berlangsung secara simultan. Secara ilmiah, pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan organik pada temperatur sekitar 350-550^oC tanpa adanya oksigen (Cahyono, 2013).

Proses ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah suhu proses pirolisis (Mandala dkk., 2016). Semakin tinggi suhu reaktor, rendemen minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis plastik semakin besar, sedangkan rendemen arang semakin kecil. Akan tetapi, rendemen *noncondensable gas* awalnya turun dari suhu 300^oC ke 350^oC, kemudian naik seiring dengan kenaikan suhu. Di sisi lain, semakin tinggi suhu reaksi, nilai kalor minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis plastik semakin besar. Nilai kalor terbesar dihasilkan pada proses pirolisis sampah plastik pada suhu 400^oC, yaitu sebesar 10.292 kal/g.

Cahyono dan Styana (2017) telah melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh suhu dan laju pemanasan terhadap rendemen dan karakteristik minyak pirolisis yang dihasilkan dari sampah kantong plastik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, disimpulkan bahwa semakin cepat laju kenaikan suhu, maka produk minyak yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Begitu juga dengan kenaikan suhu akan menyebabkan rendemen minyak yang dihasilkan semakin tinggi, dengan nilai tertinggi pada proses pirolisis pada suhu 450^oC dan laju pemanasan 15^oC/menit, yaitu sebesar 25% minyak, 12% padatan dan 41% *noncondensable gas*.

Liestiono dkk. (2017) telah melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik minyak dan gas hasil proses pirolisis sampah plastik jenis *low density polyethylene* (LDPE) dengan berbagai variabel laju kenaikan suhu. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa semakin tinggi laju kenaikan suhu, minyak yang dihasilkan semakin banyak dan gas semakin sedikit. Berdasarkan uji sifat fisik, karakteristik minyak plastik mendekati sifat-sifat bahan bakar minyak, terutama kerosen, sehingga cukup layak apabila dijadikan sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM (Liestiono dkk. 2017).

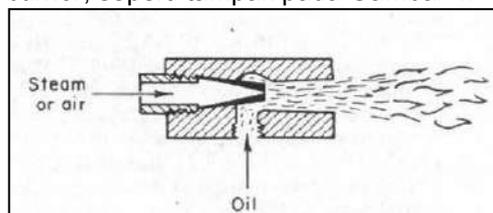
Penelitian Purwanti dan Sumarni (2008), melakukan pirolisis plastik dari 100 gram kantong plastik yang diolah pada suhu 400°C dalam waktu dua jam, diperoleh cairan mirip minyak bumi sekitar 75 gram. Adapun gas bakar yang didapat mencapai 116 ml per gram plastik bekas. Adanya kelemahan sistem *batch*, maka dikembangkan sistem "sinambung", dengan konstruksi agak berbeda. Pemanasan dilakukan dengan listrik, dibantu dengan nyala gas hasil pirolisis, dan sistem pendingin ditingkatkan. Pada proses ini, hasil cair yang diperoleh 79%-83% dari berat plastik yang dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, dengan panas dari luar yang dapat dikurangi 10%-15%.

Beberapa penelitian tentang pirolisis sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar di atas menunjukkan hasil yang cukup bagus. Namun, sampai saat ini implementasi teknologi tersebut di Indonesia masih belum maksimal. Hal ini disebabkan karena kebutuhan energi untuk memanaskan reaktor pirolisis cukup besar, sehingga membutuhkan sumber bahan bakar dari luar seperti bahan bakar minyak (BBM), gas maupun biomasa. Penggunaan bahan bakar eksternal ini menyebabkan proses tidak bisa efisien sehingga merugikan pengelola teknologi tersebut.

Alternatif terbaik untuk meningkatkan efisiensi proses adalah penggunaan produk samping dari proses pirolisis, seperti minyak yang kualitasnya rendah sebagai bahan bakar reaktornya sendiri (*autothermal system*). Sistem ini akan berjalan optimal jika menggunakan alat pembakaran yang tepat. Alat bakar yang digunakan untuk mengetahui karakteristik pembakaran bahan bakar cair adalah *burner* yang berfungsi untuk mengatomisasi bahan bakar agar mudah terbakar.

Teknik vaporasi cocok untuk bahan bakar minyak ringan (*light fuel oil*), sedangkan untuk minyak yang mempunyai viskositas tinggi, seperti minyak pirolisis plastik, diperlukan pemanasan awal atau atomisasi dari minyak ke dalam aliran udara dengan menggunakan *atomizing burner*. Salah

satu jenis *burner* yang bisa digunakan untuk pembakaran minyak dengan viskositas tinggi adalah *steam-atomizing burner*, seperti tampak pada Gambar 1.



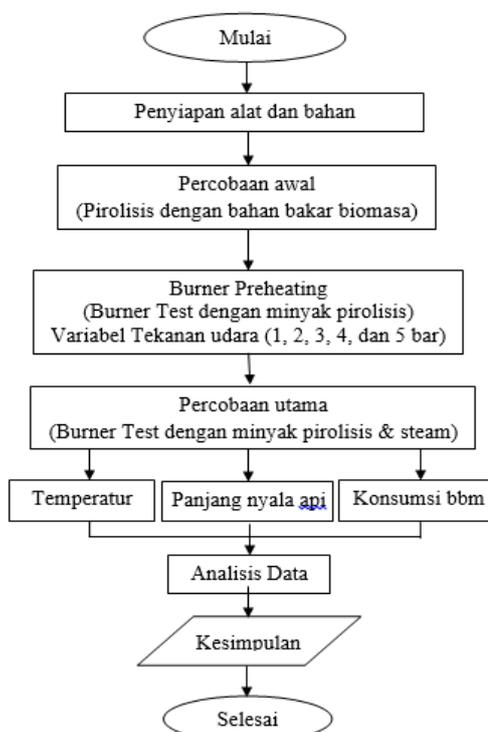
Gambar 1. *Steam-atomizing burner*

Pada *burner*, proses atomisasi bahan bakar menggunakan uap panas bertekanan tinggi dari *injector* atau *venture* sebesar 3-12 kg/cm². Prinsip kerjanya adalah minyak yang baru keluar dari lubang saluran, dipecah-pecah menjadi butiran-butiran kabut, tepat di depan mulut pembakar (*nozzle*). Lubang-lubang untuk keluarnya udara atau uap arahnya dibuat tangensial terhadap aliran minyak yang keluar dari lubang salurannya. Hal ini akan menimbulkan pusaran (*swirl*) campuran minyak dan udara di depan mulut *burner*. Gaya sentrifugal yang timbul akibat dari pusaran campuran minyak dan udara akan membantu proses pengabutan, sehingga akan diperoleh nyala api yang besar (Curtis, 2001).

Efektifitas penggunaan minyak pirolisis plastik sebagai bahan bakar bisa dinilai dari karakteristik pembakaran minyak, yang terdiri dari suhu pembakaran, panjang dan diameter nyala api yang dihasilkan, serta rasio konsumsi bahan bakar dan udara (*Air Fuel Ratio/AFR*) yang menunjukkan efisiensi pembakaran. Karakteristik pembakaran tersebut sangat bergantung pada tekanan udara yang digunakan untuk proses atomisasi dalam *burner*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan udara terhadap karakteristik pembakaran minyak pirolisis plastik menggunakan *steam-atomizing burner*. Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan adalah sampah plastik jenis LDPE (tas kresek) yang didapatkan dari pengepul di dekat Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Umbulharjo Yogyakarta. Sedangkan bahan bakar yang digunakan

untuk proses pirolisis awal adalah biomasa berupa potongan kayu, ranting, dan daun yang ada di sekitar TPST Umbulharjo Yogyakarta. Peralatan yang digunakan adalah satu set *steam-atomizing burner* yang diintegrasikan dengan alat pirolisis plastik untuk menguji efisiensi pembakaran minyak pirolisis plastik yang dihasilkan. Lokasi penelitian adalah di TPST Umbulharjo Yogyakarta, sedangkan analisa minyak pirolisis dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu UGM Yogyakarta. Tahapan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur proses tahap penelitian

Tahap pertama penelitian adalah pembuatan minyak pirolisis plastik. Bahan baku dimasukkan ke tabung pirolisis (*retort*), kemudian tutup tabung dipasang rapat. Tungku pembakaran (*kiln*) diisi dengan bahan bakar awal. Kondensator diisi air menggunakan pompa dari penampung air. Setelah semua peralatan siap, api dinyalakan dengan bahan bakar awal, sementara sirkulasi air kondensasi dihidupkan. Proses pirolisis dilakukan pada suhu yang stabil

yaitu 400°C. Pada proses pirolisis, plastik akan meleleh dan menguap menjadi uap hidrokarbon, mengalir melalui pipa ke kondensator dan mengalami kondensasi menjadi minyak pirolisis dan ditampung dalam wadah penampung. Sebagian gas yang tidak terkondensasi akan didaur ulang ke tungku pembakaran untuk memanaskan bahan di dalam *retort*. Proses pirolisis dihentikan ketika tidak ada lagi gas yang keluar dari kondensator. Kemudian alat dimatikan dan dibiarkan sampai mendekati suhu kamar. Setelah itu tutup dibuka dan arang dikeluarkan dari dalam reaktor. Minyak yang diperoleh dari proses pirolisis kemudian diukur volumenya menggunakan gelas ukur untuk mengetahui rendemen proses pirolisis.

Tahap berikutnya adalah pengujian karakteristik pembakaran minyak pirolisis plastik menggunakan *steam-atomizing burner*. Percobaan ini diawali dengan memanaskan *burner* terlebih dahulu (*preheating*) menggunakan minyak pirolisis. *Preheating* dimulai dengan mengisi tangki penampung minyak sebanyak 10 liter, serta mengisi tabung steam dengan air bersih sampai level yang ditentukan, kemudian membuka *valve* udara dan *valve* bahan bakar (minyak pirolisis) secara perlahan sampai minyak menyemprot melalui *nozzle burner*. Di ujung *nozzle*, pemantik nyala api dihidupkan sehingga minyak akan terbakar dan memanaskan *steam* yang ada di tabung *steam*. Proses *preheating* dilakukan sampai tekanan steam mencapai variabel yang diinginkan, yaitu 1, 2, 3, 4, dan 5 *bar*, dengan mencatat suhu tungku dan waktu yang diperlukan. Setelah tekanan tercapai, *valve steam* dibuka menggantikan *valve* udara sehingga pembakaran dengan campuran minyak dan *steam* bisa terjadi. Selama pembakaran, temperatur tungku dan panjang nyala api dicatat setiap 5 menit, sampai proses percobaan selesai selama 1 jam untuk kemudian peralatan dimatikan seluruhnya. Bahan bakar (minyak pirolisis) yang tersisa di tangki penampung kemudian diukur menggunakan gelas ukur untuk mengetahui konsumsi bahan bakar yang terpakai selama proses percobaan.

Uji laboratorium minyak pirolisis dilakukan dengan cara mengukur massa jenis, viskositas, dan nilai kalor. Data yang diperoleh dicatat dalam tabel, kemudian dianalisa secara kualitatif untuk menentukan pengaruh tekanan udara terhadap suhu pembakaran, panjang nyala api, dan konsumsi bahan bakar yang digunakan.

PEMBAHASAN

Pengaruh Tekanan terhadap Suhu dan Panjang Nyala Api

Proses pengukuran suhu pembakaran dilakukan dengan kabel termokopel yang dihubungkan dengan termokopel digital, yaitu pada posisi ujung lorong api *steam-atomizing burner*. Sementara proses pengukuran panjang nyala api dilakukan dengan alat penggaris yang diletakkan di depan *burner* dengan posisi searah dengan api yang keluar dari *burner*, pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui jangkauan nyala api di dalam tungku pembakaran reaktor pirolisis.

Selama proses pembakaran minyak plastik menggunakan *steam atomizing burner*, didapatkan data pengamatan suhu pembakaran dan panjang nyala api yang diukur selama proses pemanasan ketika sistem stabil, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Suhu api dan panjang nyala api selama pengujian

Tekanan udara (bar)	Suhu pembakaran (°C)	Panjang nyala api (cm)
1	800	25
2	950	35
3	1150	50
4	1250	60
5	1400	80

Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin besar tekanan udara, temperatur pembakaran yang dihasilkan juga meningkat, dengan suhu terbesar sebesar 1400 °C pada tekanan 5 bar. Hal ini terjadi karena semakin bertambahnya tekanan udara, atomisasi bahan bakar juga semakin baik dan mengakibatkan temperatur pembakaran juga meningkat.

Meningkatnya debit udara akan menambah jumlah (oksigen) di dalam proses pembakaran sehingga akan meningkatkan temperatur pembakaran (Prabawa, 2010).

Selain itu, Tabel 1 juga menunjukkan bahwa semakin besar tekanan udara, panjang nyala api juga akan meningkat, dengan panjang maksimal 80 cm pada tekanan 5 bar dan nyala api yang lebih stabil dibandingkan tekanan di bawahnya.

Pada tekanan kecil (1 bar) sifat nyala api tidak stabil dan panjang nyala api hanya 25 cm, hal ini dikarenakan tekanan udara yang rendah kurang dapat mengatomisasi bahan bakar untuk bisa memecah droplet menjadi ukuran yang lebih kecil dan *combustible*. Menurut Koide dkk. (1999), kekurangan jumlah oksigen dengan jumlah bahan bakar dan tekanan udara atomisasi konstan akan mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna, yaitu ditunjukkan semakin banyak asap yang terbentuk, kandungan gas CO dan CO₂ mengalami peningkatan.

Di sisi lain, pada tekanan udara 5 bar, menghasilkan karakteristik nyala api yang cukup baik ditunjukkan dengan panjang nyala api mencapai 80 cm dan nyala api yang stabil. Hal ini terjadi karena tekanan udara yang dialirkan mampu mengatomisasi bahan bakar cukup baik yakni ukuran droplet-nya lebih kecil dan dapat terbakar sehingga jumlah droplet yang terbakar juga cukup banyak dan menghasilkan nyala api yang stabil (Prabawa, 2010).

Pengaruh Tekanan terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Pengukuran laju konsumsi bahan bakar dilakukan untuk mengetahui efisiensi proses pembakaran minyak pirolisis plastik menggunakan *steam-atomizing burner* dengan variasi tekanan udara. Volume bahan bakar yang terbakar dihitung dari selisih bahan bakar minyak awal di dalam tangki bahan bakar dengan minyak yang terbakar serta yang tidak terbakar. Pengukuran bahan bakar dilakukan menggunakan gelas ukur.

Selama proses pembakaran minyak plastik menggunakan *steam-atomizing*

burner, didapatkan data pengaruh tekanan udara *burner* terhadap konsumsi bahan bakar dan rendemen minyak yang dihasilkan, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsumsi bahan bakar dan rendemen minyak yang dihasilkan

Tekanan udara (bar)	Konsumsi bahan bakar (liter)	Rendemen minyak yang dihasilkan (liter)
1	5	3,5
2	8	5,2
3	13	7,8
4	18	9,4
5	21	12,3

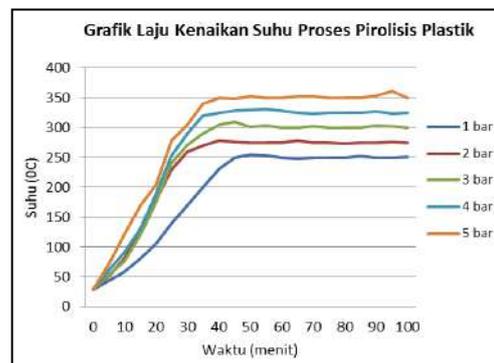
Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa konsumsi bahan bakar yang digunakan selama proses pengujian akan meningkat seiring dengan tekanan udara yang digunakan dalam *steam-atomizing burner*. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan udara yang besar membutuhkan bahan bakar yang banyak agar pembakaran bisa sempurna.

Di sisi lain, semakin tinggi tekanan udara, rendemen minyak plastik yang dihasilkan juga semakin besar, meskipun tidak sebanding dengan konsumsi bahan bakar yang digunakan. Hal ini disebabkan semakin tinggi tekanan udara *burner* akan menyebabkan terjadinya pencampuran udara yang cukup baik, sehingga pembakaran akan sempurna dan menghasilkan panas yang besar (Prabawa, 2010). Adanya panas yang besar ini kemudian ditransfer ke dalam reaktor pirolisis dengan cukup bagus sehingga bisa meningkatkan rendemen minyak hasil pirolisis.

Pengaruh Tekanan terhadap Suhu Reaktor Pirolisis

Berdasarkan percobaan utama yang dilakukan, didapatkan data kenaikan suhu reaktor selama proses pirolisis dengan sumber energi dari pembakaran minyak plastik menggunakan *steam atomizing burner* dengan variasi tekanan

steam, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik laju kenaikan suhu reaktor selama proses pirolisis plastik

Berdasarkan grafik laju kenaikan suhu reaktor selama proses pirolisis plastik pada Gambar 3, tampak bahwa semakin besar tekanan udara yang digunakan pada *steam-atomizing burner* untuk pembakaran minyak plastik sebagai sumber energi proses pirolisis plastik, maka kenaikan suhu proses pirolisis akan semakin cepat. Termasuk juga suhu rata-rata reaktor saat kondisi stabil juga semakin besar seiring dengan kenaikan tekanan steam tersebut.

Hal ini disebabkan karena energi yang dihasilkan dari proses pembakaran minyak plastik semakin besar jika jumlah udara yang digunakan juga lebih besar, sehingga suhu reaktor akan semakin tinggi karena besarnya energi tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi tekanan udara, maka laju kenaikan suhu reaktor, temperatur dan panjang nyala api, konsumsi bahan bakar, rendemen minyak yang dihasilkan, serta nilai kalor dan viskositas minyak plastik yang dihasilkan, akan semakin meningkat juga.
2. Proses pirolisis plastik dalam penelitian ini kurang efisien disebabkan karena rendemen minyak plastik yang lebih kecil daripada konsumsi bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, M.S. dan Styana, U.I.F., 2017, Influence of Heating Rate and Temperature on the Yield and Properties of Pyrolysis Oil Obtained from Waste Plastic Bag, *Conserve: Journal of Energy and Environmental Studies (CJEES)*, Vol. 1, No. 1, March 2017, pp.1-10.
- Cahyono, M.S., 2013, Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-oil sebagai Sumber Energi Terbarukan, *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, Vol. 5, No. 2, Juni 2013, hal. 67-76.
- Curtis, A., 2001, *Assesment of The Effect of Cumbustion Waste Oil, and Health Effect Associated with The Use of Waste Oil as a Dust Supresant*. USA: WoodwardClyde. Ltd.
- Koide, K., 1999, *R&D on Central Heating System with Cracked Light Oil Fraction as The Main Fuel*, Petroleum Energy Center All Right Reserved, 1999C3.1.8
- Liestiono R.P., Cahyono M.S., Widura W.W., Prasetya Agus, dan Syamsiro, M., 2017, Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE), *Jurnal OFFSHORE*, Vol. 1, No. 2 Desember 2017, pp. 1-9.
- Mandala, W. W., Cahyono, M.S., Ma'arif, S., Sukarjo, H.B., dan Wardoyo, 2016, Pengaruh Suhu terhadap Rendemen dan Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, Vol. 1, No. 2, Agustus 2016, hal. 49-52.
- Prabawa, P. A., 2010, Pengaruh Tekanan Udara terhadap Sifat Pembakaran Minyak Residu menggunakan Vaporizing Burner untuk Peleburan Aluminium. *Skripsi*, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Purwanti dan Sumarni, 2008, Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE), IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Santoso, J., 2010, Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis dari Sampah Plastik, *Thesis*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta.
- Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, and Z., Yoshikawa, K., 2014, Fuel Oil Production from Municipal Plastic Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors. *Energy Procedia*, Vol. 47, pp. 180-188.
www.bp.com/statisticalreview2015

BIODATA PENULIS

Muhammad Sigit Cahyono, S.T., M.Eng., lahir di Lamongan pada tanggal 28 Agustus 1983, menyelesaikan pendidikan S1 dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2006 pada program studi Teknik Kimia, dan pendidikan S2 dari UGM tahun 2009 pada Program Magister Sistem Teknik. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta dengan jabatan akademik Asisten Ahli pada bidang minat energi baru dan terbarukan.

Ucik Ika Fenti Styana, S.Si., M.Eng., lahir di Pacitan pada tanggal 13 Maret 1985, menyelesaikan pendidikan S1 dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2008 pada program studi Fisika, dan pendidikan S2 dari UGM tahun 2010 pada Program Magister Sistem Teknik. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Energi, Institut Teknologi Yogyakarta pada bidang minat energi baru dan terbarukan.

**PERBANDINGAN EFEKTIVITAS PENYERAPAN Pb DAN CO DI UDARA
PADA TANAMAN ANGSANA (*PTEROCARPUS INDICUS*) DAN GLODOGAN
TIANG (*POLYALTHIA LONGIFERA*) SEBAGAI UPAYA BIOFILTER UDARA
(Studi Kasus di Jalan Affandi Yogyakarta)**

Sri Hastutiningrum¹, Yuli Pratiwi², Jefriyadi Gurusinga³

^{1,2,3}Program studi Teknik Lingkungan, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Email: ¹hastuti19@akprind.ac.id, ²yuli_pratiwi@akprind.ac.id, ³jefriyadi@gmail.com

Masuk: 10 Januari 2018, Revisi masuk: 26 Januari 2018, Diterima: 28 Januari 2018

ABSTRACT

Affandi Street is one of the main Street that uses plant in every road (green line) in an effort to reduce air pollution. Angsana and Glodogan Tiang plants have a role in reducing air pollution. The purpose of this study was (1) to compare the effectiveness of Lead absorption and Carbon Monoxide in the air between Angsana plant and Glodogan Tiang, (2) knowing the point of the highest contamination of the plants and (3) to know the leaf position which has the most effective absorption. The research was conducted on October 2017-February 2018. The method used was the lower and upper leaf sampling on Angsana and Glodogan Tiang at 3 points along Affandi Street that is, the point 1 intersection of Condong Catur, the 2nd point in front of Mirota Gejayan, and point 3 on Demangan market. Repeat sampling three times in one month, then the sample was tested using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) and Spektrofotometer UV-Vis method at Balai Besar Teknik Kesehatan Yogyakarta, and data analysis using ANAVA and MANAVA method with SPSS application. The results showed that plants greatly affect the absorption of air pollutants in the Affandi Street, from the results it is known that the Glodogan Tiang plant is a better plant in absorbing Pb and CO with average absorbing 3.51189 mg/kg, while the average Angsana absorbs 3,38519 mg/kg. The highest point of pollution location is at location point 3, Demangan market. The more effective leaves position in absorbing Pb is the lower leaf plant and the more effective leaf position absorbs the CO that is the upper leaves of the plant.

Keywords: Air pollution, Angsana, Glodogan Tiang, Pb and CO.

INTISARI

Jalan Affandi merupakan salah satu jalan utama yang menggunakan tanaman Angsana dan Glodogan Tiang di ruas jalan (jalur hijau) sebagai upaya mengurangi pencemaran udara. Tujuan penelitian ini adalah (1) membandingkan efektivitas penyerapan timbal dan karbon monoksida di udara antara tanaman Angsana dan Glodogan Tiang, (2) mengetahui titik lokasi pencemaran paling tinggi, dan (3) mengetahui posisi daun yang mempunyai daya serap paling efektif. Penelitian dilakukan pada Oktober 2017-Februari 2018. Metode yang digunakan adalah pengambilan sampel daun bagian bawah dan atas pada tanaman Angsana dan Glodogan Tiang di 3 titik di sepanjang Jalan Gejayan yaitu, titik 1 di persimpangan Condong Catur, titik 2 di depan Mirota Gejayan, dan titik 3 di Pasar Demangan. Pengambilan sampel dilakukan selama 3 kali dalam 1 bulan, kemudian sampel diuji menggunakan metode analisis *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan Spektrofotometer UV-Vis di Balai Besar Teknik Kesehatan Yogyakarta, analisis data menggunakan metode ANAVA dan MANAVA menggunakan aplikasi SPSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman Glodogan Tiang lebih baik dalam menyerap Pb dan CO di udara dengan rata-rata menyerap 3,51189 mg/kg, sedangkan Angsana rata-rata menyerap 3,38519 mg/kg. Titik lokasi pencemaran paling tinggi berada lokasi 3 yaitu di Pasar Demangan. Posisi daun yang lebih efektif dalam menyerap Pb adalah bagian bawah dan posisi daun yang lebih efektif menyerap CO adalah bagian atas.

Kata-kata kunci: Angsana, Glodogan Tiang, Pb dan CO, Pencemaran udara.

PENDAHULUAN

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Udara yang dulunya segar, kini kering dan kotor. Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol ke dalam udara. Udara adalah juga atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan di dunia ini (Wardhana, 2001).

Kendaraan bermotor, dalam konteks pencemaran udara dikelompokkan sebagai sumber pencemaran bergerak. Pencemaran udara yang disebabkan oleh kegiatan transportasi terjadi karena pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar yang dipakai sebagai sumber energi khususnya yang bermesin motor. Kegiatan transportasi menggunakan BBM (Bahan Bakar Minyak) bensin dalam motor bakar akan mengeluarkan senyawa-senyawa seperti TSP (*Total Suspended Particulate*), HC (hidrokarbon), Pb (Timbal), NO_x, CO (karbon monoksida), Sox, dan lain-lain. BBM premium yang dibubuhi TEL akan mengeluarkan partikel timbal yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan (Suyono, 2001).

Timbal dan karbon monoksida merupakan bahan toksin yang mudah terakumulasi dalam organ tubuh manusia dan dapat mengakibatkan gangguan kesehatan berupa anemia, gangguan fungsi ginjal, gangguan pada saraf dan otak, serta kelainan pada bayi dalam kandungan. Pada orang dewasa dapat mengurangi kesuburan, bahkan menyebabkan kemandulan atau keguguran pada wanita hamil. Kalaupun tidak keguguran, sel otak janin tidak bisa berkembang (Suyono, 2001).

Untuk mengurangi dampak pencemaran timbal dan karbon monoksida terhadap manusia dan lingkungan sekitar diperlukan upaya untuk meminimalkan kadar polutan di udara. Salah satu alternatif untuk mereduksi penyebaran polutan ini adalah memanfaatkan beberapa spesies tanaman sebagai jalur hijau kota. Spesies tanaman yang diteliti adalah

Angsana dan Glodogan Tiang. Berdasarkan hasil penelitian, kedua tanaman tersebut mempunyai peran mengurangi pencemaran udara, karena daunnya mempunyai kemampuan menyerap timbal dan karbon monoksida di udara yang diemisikan oleh gas buangan kendaraan bermotor.

Bahan pencemar udara atau polutan dibagi menjadi dua bagian, yaitu polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer adalah polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu, dan dapat berupa gas maupun partikel. Polutan sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, misalnya reaksi fotokimia. Sebagai contoh adalah disosiasi NO₂ yang menghasilkan NO dan O radikal.

Timbal dalam bahasa ilmiahnya dinamakan plumbum, logam ini diberi simbol Pb yang merupakan kelompok logam golongan IV A pada tabel periodik unsur kimia, dan mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan berat atom (BA) 207,20 dan massa jenisnya 11,49g/l (Sunu, 2001).

Pencemaran timbal di dalam udara berasal dari gas buang kendaraan bermotor, untuk mengendalikan pencemaran Pb tersebut dapat dilakukan melalui pendekatan teknis yaitu dengan mengupayakan pembakaran sempurna dan mencari bahan bakar alternatif (Santi, 2002).

Karbon monoksida adalah gas beracun, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mempunyai rasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu di atas - 192⁰C dengan simbol CO dan mempunyai kepadatan 1,14 kg/m³ (Wardana, 2001). Senyawa ini terdiri dari satu atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Karena sifatnya yang tidak berbau, karbon monoksida biasanya bercampur dengan gas-gas lain yang berbau sehingga dapat terhirup secara tidak disadari bersamaan dengan terhirupnya gas lain yang berbau.

Pengaruh beracun karbon monoksida pada tubuh manusia terutama disebabkan oleh reaksi antara karbon monoksida dan hemoglobin (Hb) di dalam darah. Hemoglobin di dalam darah secara normal berfungsi untuk membawa oksigen dalam bentuk oksidasi

hemoglobin (O₂Hb) dari paru-paru ke sel-sel tubuh. Adanya karbon monoksida, maka hemoglobin dapat membentuk karboksi hemoglobin. Jika reaksi demikian terjadi, maka kemampuan darah untuk mentransfer oksigen akan berkurang.

Dalam ilmu tumbuhan, Angsana dikenal dengan nama *pterocarpus indicus*. Pohonnya dapat mencapai tinggi 45 meter dengan diameter 200 cm. Batang umumnya tidak teratur dan bercabang melebar. Kulit batang sewaktu muda licin, berwarna abu-abu yang kemudian menjadi gelap dan kasar sesuai dengan bertambahnya umur. Pohonnya bergetah dan berwarna merah, tajuknya lebat berwarna hijau tua dan mengkilat, daunnya majemuk, berselingan, berbentuk oval, dan pada musim kemarau rontok, bunganya berwarna kuning dan berbau jeruk, buahnya bulat, pipih, dan tipis, seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Pohon dan daun Angsana

Glodogan tiang (*polyalthia longifera*) adalah tumbuhan kayu yang mulai dikembangkan di Indonesia, mempunyai bentuk pohon yang menarik, tingginya dapat mencapai 15 meter. Batang pohonnya ditutupi oleh daun, mulai dari bawah hingga ke ujung tumbuhan. Tumbuhan yang beranting kecil dan kurus ini mempunyai bentuk lurus dan lancip di ujung, mempunyai nilai estetika yaitu menambah keindahan, sehingga bermanfaat sebagai arsitektur yang berpenampilan menarik.



Gambar 2. Pohon dan daun tanaman Glodogan Tiang

METODE

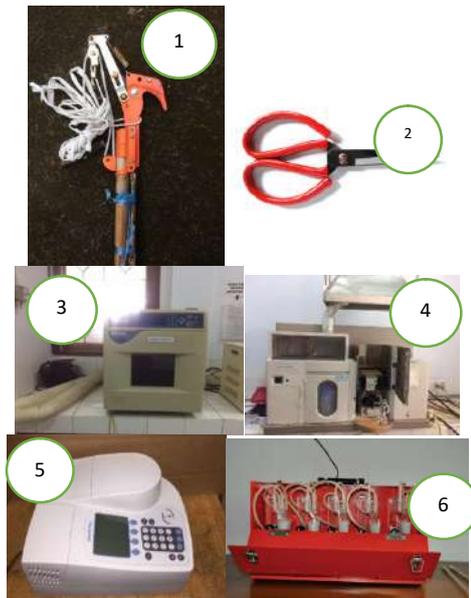
Lokasi penelitian ini adalah di Jalan Affandi Yogyakarta, berjarak lebih kurang 3 Kilometer dimulai dari perempatan *ring road* utara hingga persimpangan Pasar Demangan. Analisis sampel dilakukan di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan Dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta. Jalan Affandi merupakan jalur lalu lintas menuju kota Yogyakarta, mempunyai kepadatan kendaraan bermotor yang tinggi, meliputi kendaraan roda dua (sepeda motor), kendaraan roda empat (mobil), dan kendaraan roda lebih dari 4 (bus, truk, dan lain-lain). Di jalan tersebut terdapat berbagai fasilitas umum seperti pendidikan, pertokoan, pemukiman penduduk dan lainnya, sehingga lalu lintas kendaraan bermotor cukup padat. Letak tanaman yang dijadikan sampel adalah jalur hijau yang berada di sepanjang Jalan Affandi. Titik pengambilan sampel ada 3 titik, titik pertama di perempatan *ring road* utara, titik kedua di depan Mirota Gejayan, titik ketiga di pertigaan pasar Demangan, dan titik terakhir untuk titik kontrol berada di daerah Tempel, Sleman, Yogyakarta. Masing-masing titik memiliki jarak kurang lebih 1 Kilometer, kecuali untuk titik kontrol berada sangat jauh dari 3 titik penelitian, masing-masing titik memiliki aktivitas yang berbeda-beda terutama pada titik kontrol. Gambar 3 menampilkan peta lokasi penelitian.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *counter*, gunting *stainless steel*, plastik putih dan plastik hitam, kertas sampul, pisau, pemotong daun dengan galah, neraca analitik, *beaker glass*, cawan mortir porselin,

kertas saringan Wathman nomor 40, labu ukur, erlenmeyer, gelas ukur, oven CEM Mars X, satu set alat *sampling* udara jalur absorpsi, rangkaian alat *impinger*, termometer terkalibrasi, *stopwatch*, kuvet, corong gelas, AAS, dan Spektrofotometer UV-Vis. Alat-alat penelitian ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat penelitian

Keterangan Gambar 4:

- (1) Pemotong daun dengan galah
- (2) Gunting khusus tanaman
- (3) Oven
- (4) AAS
- (5) Spektrofotometer UV-Vis
- (6) Rangkaian alat *sampling* udara secara *absorber* dan *impinger*

Pengambilan dan analisis sampel dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Pertama, sampel yang dipilih adalah daun yang tidak terlalu tua dan tidak terlalu muda pada ranting tanaman.
2. Kedua, pengambilan sampel daun tanaman dilakukan dengan pengambilan keliling, yaitu dilakukan pada 4 titik pada setiap posisi daun, baik bagian bawah maupun atas dengan asumsi tanaman tersebut terkena polusi udara.
3. Ketiga, pengambilan sampel pada posisi daun bagian bawah yaitu daun pada ranting bagian paling bawah tanaman dan bagian atas yaitu daun pada ranting bagian paling atas pada tanaman.

4. Keempat, sampel daun tanaman diambil sebanyak lebih kurang 200 gr untuk setiap perlakuan analisis.
5. Kelima, waktu pengambilan sampel dilakukan pada sore hari (pukul 16.00 WIB), dengan alasan bahwa akumulasi kadar Pb dan CO pada daun tinggi.
6. Keenam, daun dimasukkan ke dalam kemasan plastik berwarna bening dan dikumpulkan pada kemasan plastik berwarna hitam atau gelap untuk mencegah paparan sinar matahari langsung.
7. Ketujuh, pengambilan sampel spesies tanaman dilakukan selama satu bulan yaitu di awal bulan, pertengahan, dan akhir bulan. Sampel kemudian dibawa ke Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan Dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta untuk diteliti dengan AAS dan Spektrofotometer UV-Vis agar dapat diketahui seberapa besar kandungan timbal dan karbon monoksida yang terserap oleh spesies tanaman.
8. Sebelum dilakukan pengujian dengan AAS dan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan preparasi pada sampel.
9. Setelah didapatkan hasil analisis sampel, maka dilakukan pengolahan data. Data yang diperoleh dari hasil percobaan diolah menggunakan metode statistik dengan dua uji, yaitu uji ANAVA dua arah dengan level signifikan 0,05 untuk mencari beda *mean* dari sampel tanaman Angsana dan Glodogan Tiang pada daun tanaman posisi bawah dan atas, uji ANAVA satu arah dengan level signifikan 0,05 untuk menguji beda *mean* di setiap lokasi, dan uji MANAVA dengan level signifikan 0,05 untuk menguji beda *mean* masing-masing sampel daun Angsana dan Glodogan Tiang pada daun bawah dan atas terhadap Pb dan CO (Nazir, 2005).

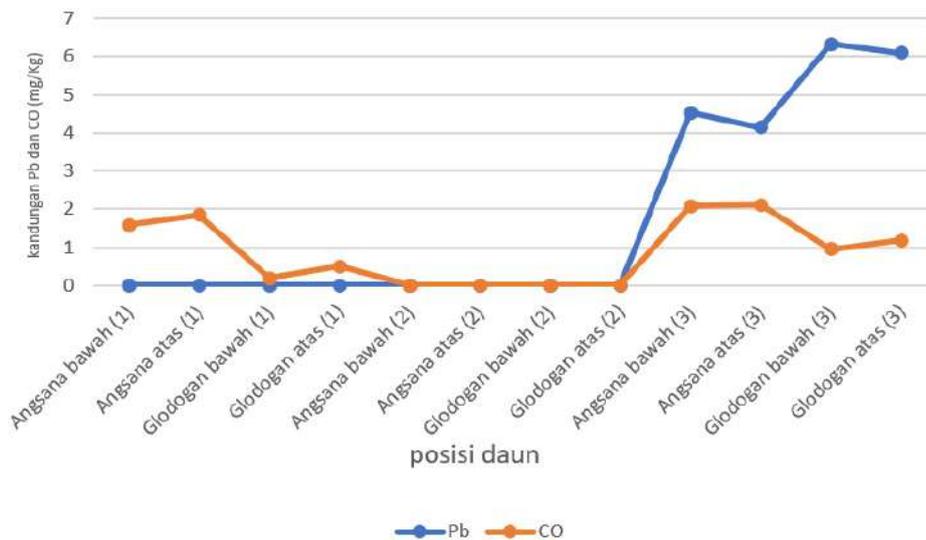
PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Pb meningkat pada pengambilan sampel hari ke-3, sedangkan kandungan CO pada daun tanaman terjadi grafik yang naik turun di mana pada pengambilan sampel

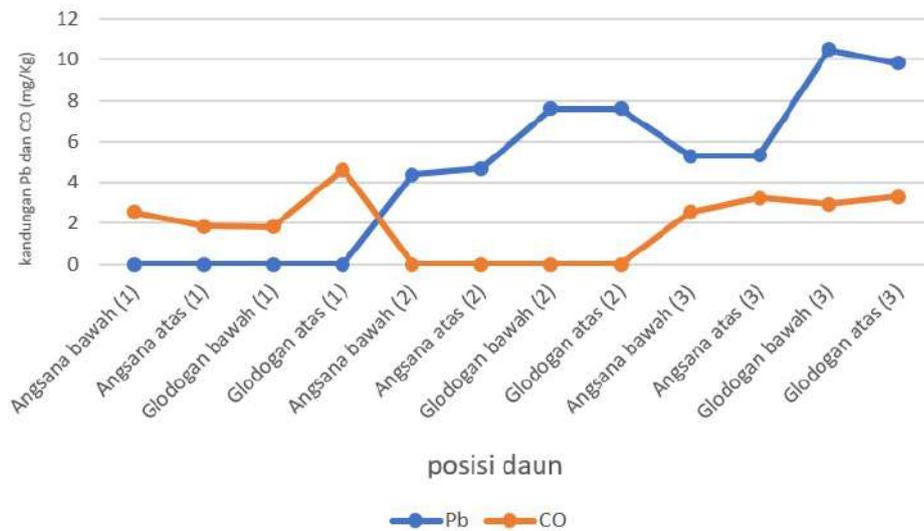
pertama terdapat polutan sedangkan pengambilan sampel hari ke-2 tidak terdapat kandungan CO pada daun tanaman dan pada pengambilan sampel hari ke-3 terdapat kandungan CO pada tanaman dan lebih tinggi dari hasil sampel yang pertama. Hal ini disebabkan karena pada saat pengambilan sampel ketiga cuaca cerah dan tidak terjadi hujan dalam kurun waktu yang lama sehingga proses fotosintesis, respirasi, transpirasi dan translokasi pada tanaman bekerja dengan baik. Grafik kandungan Pb dan CO pada titik lokasi 1 *sampling* hari 1,2 dan 3 ditampilkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 terlihat kandungan Pb lebih tinggi pada daun tanaman bagian bawah, sebaliknya CO yang lebih tinggi terjadi pada daun tanaman bagian atas, baik pada daun Angsana maupun Glodogan Tiang. Hal ini sangat didukung oleh perbedaan keduanya, yaitu Pb merupakan logam dan CO merupakan senyawa gas, hal ini sangat mempengaruhi letak keduanya di udara.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Pb meningkat dari pengambilan sampel daun pada hari ke-1 yaitu tidak terdapat kandungan Pb pada daun sedangkan hasil *sampling* hari ke-2 dan ke-3 didapatkan kenaikan

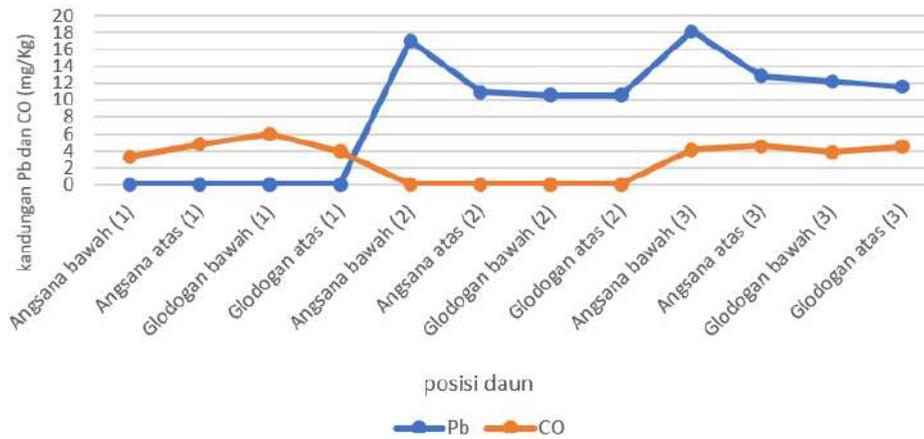
yang signifikan, ini disebabkan oleh proses translokasi pada daun tanaman sangat berpengaruh terhadap cuaca terutama pada saat hujan yaitu jumlah air sangat berpengaruh dalam penyerapan zat-zat lain melalui daun tanaman, sedangkan kandungan CO pada daun tanaman terjadi grafik yang naik turun, pada pengambilan sampel pertama terdapat polutan sedangkan pengambilan sampel hari ke-2 tidak terdapat kandungan CO pada daun tanaman dan pada pengambilan sampel hari ke-3 terdapat kandungan CO pada tanaman dan lebih tinggi dari hasil sampel pada hari ke-1 pada tanaman Angsana tetapi pada daun tanaman Glodogan Tiang terjadi penurunan. Hal ini disebabkan karena pada saat pengambilan sampel hari ketiga cuaca sangat mendukung yaitu cerah dan tidak terjadi hujan dalam kurun waktu yang lama sehingga proses fotosintesis, respirasi,transpirasi dan translokasi pada tanaman bekerja dengan baik. Gambar 7 menampilkan grafik kandungan Pb dan CO pada titik lokasi 3 (Pasar Demangan) *sampling* hari 1, 2, dan 3. Selanjutnya, Gambar 8 menampilkan grafik kandungan Pb dan CO pada daun tanaman selama 1 bulan.



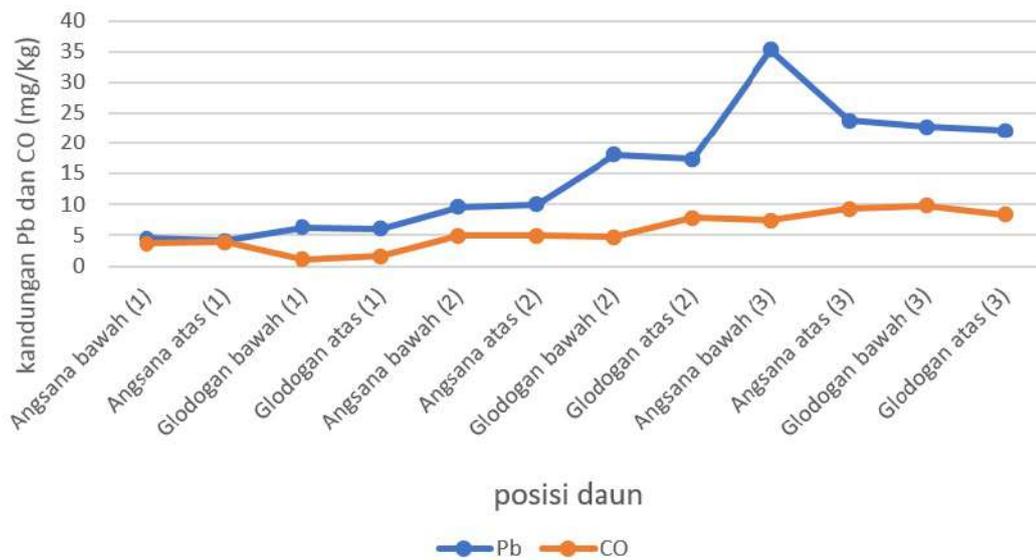
Gambar 5. Grafik kandungan Pb dan CO pada titik lokasi 1 *sampling* hari 1, 2, dan 3



Gambar 6. Grafik kandungan Pb dan CO pada titik lokasi 2 sampling hari 1, 2, dan 3



Gambar 7. Grafik kandungan Pb dan CO pada titik lokasi 3 sampling hari 1, 2, dan 3



Gambar 8. Grafik kandungan Pb dan CO pada daun tanaman selama 1 bulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Pb meningkat dari pengambilan sampel hari ke-1 yaitu tidak terdapat kandungan Pb pada daun sedangkan hasil *sampling* hari ke-2 dan ke-3 didapatkan kenaikan signifikan. Hal ini disebabkan oleh proses translokasi pada daun tanaman sangat berpengaruh terhadap cuaca terutama pada saat hujan yaitu jumlah air sangat berpengaruh dalam penyerapan zat-zat lain melalui daun tanaman, sedangkan kandungan CO pada daun tanaman didapatkan grafik yang naik turun yaitu pada pengambilan sampel pertama terdapat polutan, sedangkan pengambilan sampel hari ke-2 tidak terdapat kandungan CO pada daun tanaman dan pada pengambilan sampel hari ke-3 terdapat kandungan CO pada tanaman dan lebih tinggi dari hasil sampel yang pertama pada tanaman Angsana tetapi pada daun tanaman Glodogan Tiang terjadi penurunan. Hal ini disebabkan karena pada saat pengambilan sampel hari ke-3 cuaca sangat mendukung di mana cerah dan tidak terjadi hujan dalam kurun waktu yang lama sehingga proses fotosintesis, respirasi, transpirasi dan translokasi pada tanaman bekerja dengan baik. Gambar 6 menampilkan grafik kandungan Pb dan CO pada titik lokasi 2 (depan Mirota Gejayan) *sampling* hari 1, 2, dan 3.

Kandungan Pb dan CO pada daun tanaman Angsana maupun Glodogan Tiang yang paling tinggi berada pada titik lokasi 3 yaitu pasar Demangan, diikuti oleh titik lokasi 2 yaitu depan Mirota Gejayan dan yang terendah di titik lokasi 1 yaitu perempatan *ring road* utara. Hal ini disebabkan oleh jenis kegiatan sekitar yaitu terdapat pasar, hotel, dan merupakan sebuah persimpangan di mana jumlah kendaraan yang melewati lokasi tersebut relatif tinggi, dan kegiatan transportasi dan manusia berlangsung 24 jam, sedangkan pada titik lokasi 2 dan 3 kegiatan manusia dan transportasi relatif tinggi pada pagi dan sore hari saja.

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan, nilai rata-rata kandungan Pb pada tanaman Angsana dengan posisi daun bagian atas sebesar 4,21756 mg/kg dan daun bagian bawah sebesar

5,49467 mg/kg. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, daun tanaman Angsana bagian bawah lebih efektif menyerap Pb di udara, nilai rata-rata kandungan CO pada tanaman Angsana dengan posisi daun bagian atas sebesar 2,03333 mg/kg dan daun bagian bawah sebesar 1,79522 mg/kg. Hasil ini menunjukkan bahwa daun tanaman Angsana bagian atas lebih efektif menyerap CO di udara. Hal ini sangat didukung dengan jenis senyawa keduanya yang berbeda yaitu Pb merupakan logam dan CO merupakan senyawa gas, sehingga mempengaruhi posisi keduanya di udara.

Kandungan Pb dan CO pada daun bagian atas sebesar 3,12544 mg/kg dan kandungan Pb dan CO pada daun bagian bawah sebesar 3,64494 mg/kg. Sehingga, bagian daun yang paling efektif dalam menyerap timbal dan karbon monoksida pada tanaman Angsana adalah daun bagian bawah.

Nilai rata-rata kandungan Pb pada tanaman Glodogan Tiang daun bagian atas sebesar 5,07011 mg/kg dan daun bagian bawah sebesar 5,24778 mg/kg. Jadi, dari hasil penelitian yang dilakukan daun tanaman Glodogan Tiang bagian bawah lebih efektif dalam menyerap Pb di udara.

Nilai rata-rata kandungan CO pada tanaman Glodogan Tiang, daun bagian atas sebesar 1,99011 mg/kg dan daun bagian bawah sebesar 1,73956 mg/kg. Hasil ini menunjukkan bahwa daun tanaman Glodogan Tiang bagian atas lebih efektif menyerap CO di udara. Hal ini didukung dengan jenis senyawa keduanya yang berbeda yaitu, Pb merupakan logam dan CO merupakan senyawa gas yang mempengaruhi posisi keduanya di udara.

Kandungan Pb dan CO pada tanaman Glodogan Tiang pada daun bagian atas sebesar 3,53011 mg/kg dan pada daun bagian bawah sebesar 3,49367 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa daun tanaman Glodogan Tiang bagian atas lebih efektif menyerap Pb dan CO di udara.

Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan nilai rata-rata kandungan Pb dan CO pada daun tanaman Angsana sebesar 3,38519 mg/kg dan rata-rata kandungan Pb dan CO pada daun tanaman Glodogan Tiang sebesar

3,51189 mg/kg. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa nilai rata-rata kandungan Pb dan CO pada daun tanaman Angsana lebih kecil dari nilai rata-rata kandungan Pb dan CO pada daun tanaman Glodogan Tiang. Dapat disimpulkan bahwa tanaman yang lebih baik dalam menyerap Pb dan CO di udara adalah tanaman Glodogan Tiang. Hal ini diperkuat oleh morfologi spesies tanaman Glodogan Tiang yang memiliki daun lebat, panjang, dan licin yang sangat membantu dalam penyerapan Pb dan CO di udara baik melalui proses fotosintesis maupun respirasi pada tanaman, posisi daun yang berada di luar dan menutupi batang, dan daun yang lebar dan lebat yang sangat membantu dalam proses respirasi, transpirasi, dan translokasi pada tanaman.

Dari hasil pengolahan data, diketahui bahwa: (1) rata-rata kandungan Pb dan CO pada tanaman Angsana di lokasi 1 (*ring road* utara) sebesar 1,357 mg/kg. Rata-rata kandungan Pb dan CO pada tanaman Glodogan Tiang di lokasi 1 (*ring road* utara) sebesar 1,269 mg/kg; (2) rata-rata kandungan Pb dan CO pada tanaman Angsana di lokasi 2 (depan Mirota Gejayan) sebesar 2,483 mg/kg. Rata-rata kandungan Pb dan CO pada tanaman Glodogan Tiang di lokasi 2 (depan Mirota Gejayan) sebesar 4,012 mg/kg; (3) rata-rata kandungan Pb dan CO pada tanaman Angsana di lokasi 3 (Pasar Demangan) sebesar 6,315 mg/kg. Rata-rata kandungan Pb dan CO pada tanaman Glodogan Tiang di lokasi 3 (Pasar Demangan) sebesar 5,255 mg/kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanaman Angsana sangat berpengaruh dalam penyerapan Pb dan CO pada lokasi 3 (Pasar Demangan).

Dari hasil analisis yang dilakukan terhadap lokasi penelitian didapatkan hasil kandungan Pb dan CO pada daun tanaman baik pada tanaman Angsana maupun Glodogan Tiang, yang paling tinggi terjadi pada lokasi 3 yaitu pasar Demangan. Hal ini terjadi karena di lokasi ini terdapat kegiatan transportasi dan kegiatan manusia yang sangat tinggi, terdapat beberapa kegiatan yaitu pasar, hotel, dan juga merupakan salah satu akses jalan yang banyak digunakan oleh masyarakat sehingga sering terjadi kemacetan pada pagi, siang, dan

malam. Dari hasil penelitian juga diketahui bahwa faktor lain yang berpengaruh terhadap tingginya Pb dan CO pada daun tanaman Angsana di pasar Demangan adalah tanaman Angsana di lokasi tersebut lebih subur jika dibandingkan dengan tanaman yang sama pada lokasi lain, yaitu lebih tinggi, ranting dan daun yang banyak, dan memiliki daun yang lebar.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut. Pertama, tanaman Glodogan Tiang lebih baik dalam menyerap Pb dan CO jika dibandingkan dengan tanaman Angsana, tanaman Glodogan Tiang rata-rata menyerap 3,51189 mg/kg Pb dan CO di udara, sedangkan Angsana rata-rata menyerap 3,38519 mg/kg Pb dan CO di udara. Kedua, dari hasil pengolahan data penelitian yang dilakukan, titik lokasi pencemaran paling tinggi berada pada titik lokasi 3 yaitu pasar Demangan. Ketiga, posisi daun yang lebih efektif menyerap Pb adalah bagian bawah, baik pada tanaman Angsana maupun Glodogan Tiang, sedangkan untuk CO posisi daun yang lebih efektif adalah bagian atas, baik pada tanaman Angsana maupun Glodogan Tiang. Kelima, dibandingkan hasil sampel pada titik kontrol, kegiatan manusia khususnya kegiatan transportasi merupakan penyumbang terbesar Pb dan CO di udara pada Jalan Affandi Yogyakarta.

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini, adalah sebagai berikut: 1) untuk mengurangi Pb dan CO di udara pada Jalan Affandi Gejayan, cara yang memungkinkan adalah mengurangi jumlah kendaraan bermotor yang lewat, memperlancar arus lalu lintas, dan yang terpenting adalah melakukan penghijauan dan merawat tanaman yang telah ada di ruas jalan; 2) untuk memperlancar arus lalu lintas dapat dilakukan dengan cara menertibkan parkir liar di sepanjang jalan Affandi dan menyediakan tempat parkir di tempat yang tepat, serta melakukan pelebaran jalan; 3) melakukan penghijauan dengan cara menanam tanaman baru atau menanam kembali tanaman yang telah mati atau layu, memelihara tanaman yang telah

ada, dan dilakukan pengecekan secara rutin terhadap tanaman;serta 4) untuk mengurangi jumlah kendaraan bermotor yang melalui jalan Affandi dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan kendaraan umum yang telah disediakan.

DAFTAR PUSTAKA

- BBTKL-PP, 2017, *Instruksi Kerja Laboratorium Penguji dan Kalibrasi*, Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit, Yogyakarta.
- Dianawati, U., 2001, Peranan Vegetasi di Sekitar Kampus UGM Dalam Menyerap Emisi Timbal (Pb) Dari Asap Kendaraan Bermotor, *Thesis*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nazir, M., 2005, *Metode Penelitian*, Ghalia Indonesia.
- Rachmawati, D. D., 2005, Peranan Hutan Kota dalam Menyerap dan Menyerap Timbal (Pb) di Udara Ambien (Studi Kasus di Jalan Tol Jagorawi Bogor), *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor, Indonesia.
- Santi, N, D. 2002, 18 Juli 2017, Pencemaran Udara Oleh Timbal (Pb) serta Penanggulangannya, Universitas Sumatra Utara, <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/3542>.
- Soedomo, M., 2001, *Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara*, Penerbit ITB, Bandung.
- Sunu, P., 2001, *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001*, Grasindo, Jakarta.
- Suyono, A. H., 2001, *Awas! Setan Gentayangan di Udara*, Majalah Intisari, Edisi Juli 2001, PT. Intisari Mediatama, Jakarta.

Tjitrosoepomo, G., 2003, *Morfologi Tumbuhan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Wardhana, W. A., 2001, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta.

BIODATA PENULIS

Sri Hastutiningrum, S.T., M.Si., lahir di Yogyakarta tanggal 24 Mei 1958, menyelesaikan pendidikan S1 Bidang Teknik Kimia dari UPN "Veteran" tahun 1993, dan Master Program Studi Kimia dari MIPA UGM tahun 2007. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor dengan bidang minat ilmu-ilmu kimia

Dra. Yuli Pratiwi, M.Si., lahir di Purwokerto tanggal 27 Juli 1964, menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Biologi Lingkungan dari Universitas Gadjah Mada tahun 1989, dan S2 Ilmu Lingkungan dari Universitas Gadjah Mada tahun 2004. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor Kepala dengan bidang minat ilmu kimia.

Jefriyadi Gurusinga S.T., lahir di Berastagi tanggal 10 Juni 1993, menyelesaikan pendidikan S1 Program Studi Teknik Lingkungan dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 2018.

EVALUASI KEMAMPUAN TRANSFORMATOR DAYA PADA GARDU INDUK 150 KV WATES

Muhammad Suyanto¹, Ridwan Setyowibowo², Prasetyono Eko Pambudi³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Email: ¹myanto@akprind.ac.id, ²ridwan.setyowibowo@gmail.com,
³prastyono@akprind.c.id

Masuk: 12 Januari 2018, Revisi masuk: 27 Januari 2018, Diterima: 30 Januari 2018

ABSTRACT

Increased population growth, economy and infrastructure development, especially the construction of airports in Kulon Progo district indirectly impact on power availability. An Increase electric load in each year will affect the capacity of the power transformer at the 150 KV Wates substasion. With increasing electric load it will be the greater the electrical load borne by teh power transformer, so to prevent the occurence of overload, it is necesarry to eavaluate the power transformer capability by doing electric load prediction. In this reseachr, the method used is trend analysis. For power transformer-I use exponential trend with MAPE value of 2,91% obtained estimate of load in year 2019 equal to 25,74 MVA where loading already exceed 80% While power transformer-II using the quadratic trend with MAPE of 1,19% obtained by the estimated load in 2025 of 52,29 MVA, after the addition of a special load plan, obtained load estimation in 2019 has reached 80%. So that in the year 2019 has been done addition of new power transformer, and in year 2024 can be done uprating on power transformer-I.

Keywords: *Electric load prediction, GI load, MAPE, Power transformer, Trend Analysis.*

INTISARI

Meningkatnya pertumbuhan penduduk, ekonomi dan pembangunan insfrastruktur khususnya pembangunan Bandara di Kabupaten Kulon Progo secara tidak langsung berimbas terhadap ketersediaan daya listrik. Peningkatan beban listrik di setiap tahunnya akan mempengaruhi kemampuan kapasitas transformator daya yang berada pada Gardu Induk 150 KV Wates. Dengan meningkatnya beban listrik maka akan semakin besar pula beban listrik yang ditanggung oleh transformator daya, sehingga untuk mencegah terjadinya *overload* perlu dilakukan evaluasi kemampuan transformator daya dengan cara melakuan prediksi beban listrik. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah analisis trend. Untuk Transformator daya-I menggunakan trend eksponensial dengan nilai MAPE sebesar 2,91% diperoleh perkiraan beban pada tahun 2019 sebesar 25,74 MVA dimana pembebanan sudah melebihi 80%. Sedangkan transformator II menggunakan trend kuadratik dengan MAPE sebesar 1,91% diperoleh perkiraan beban pada tahun 2025 sebesar 52,29 MVA, setelah dilakukan penambahan rencana beban khusus, diperoleh perkiraan beban pada tahun 2019 sudah mencapai 80%. Sehingga pada tahun 2019 sudah dilakukan penambahan transformator daya baru, dan pada tahun 2024 dapat dilakukan *uprating* pada transformator daya-1.

Kata-kata kunci: Analisis trend, Beban GI, MAPE, Peramalan beban listrik, Transformator daya.

PENDAHULUAN

Di masa sekarang ini listrik merupakan salah satu aspek terpenting dalam perkembangan suatu wilayah. Perkembangan suatu wilayah dapat dilihat dari segi pembangunan yang berkelanjutan maupun kemajuan teknologinya. Meningkatnya penggunaan

berbagai macam teknologi akan menyebabkan kenaikan kebutuhan daya listrik. Selain kenaikan penggunaan teknologi yang cukup pesat, sektor pembangunan juga memiliki peran penting dalam ketersediaan daya listrik, dimana dalam sektor pembangunan

suatu wilayah, akan membutuhkan daya listrik yang tidak sedikit.

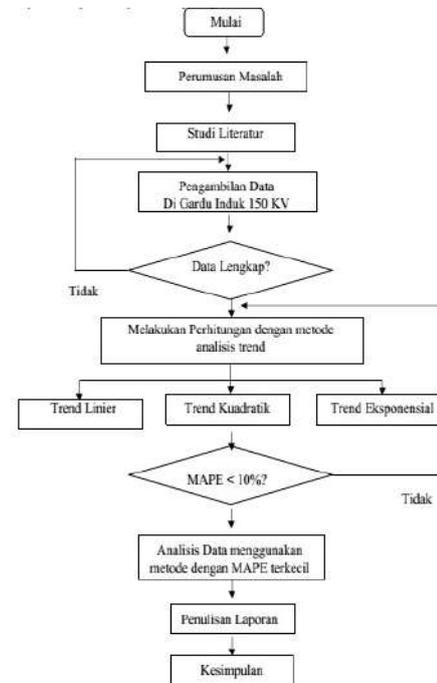
Berdasarkan beberapa hal di atas, tidak terkecuali di Kabupaten Kulonprogo yang terletak di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dimana kebutuhan listrik meningkat seiring meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi (BPS Kulon Progo, 2016). Juga pembangunan infrastruktur seperti dibangunnya *New Yogyakarta International Airport* di wilayah Temon, Kulon Progo yang akan membutuhkan daya listrik yang tidak sedikit (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2017).

Gardu induk merupakan komponen penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik kepada konsumen. PLN memerlukan suatu perencanaan dengan metode prediksi beban agar mengetahui berapa beban listrik yang akan ditanggung oleh transformator daya yang berada pada suatu gardu induk dalam waktu beberapa tahun mendatang. Dengan begitu dapat diketahui besar beban listrik yang akan ditanggung oleh transformator untuk tahun-tahun yang akan datang, sehingga diharapkan dapat menyesuaikan kapasitas transformator dengan beban listrik yang akan terjadi pada beberapa tahun mendatang. Apabila beban listrik yang ditanggung gardu induk adalah tinggi dan melebihi kapasitas gardu induk yang bersangkutan maka gardu induk akan mengalami *overload*.

Salah satu faktor yang menentukan dalam membuat rencana operasi sistem tenaga listrik adalah perkiraan beban yang akan dialami oleh sistem tenaga listrik yang bersangkutan (Marsudi, 2006). Prediksi beban pada dasarnya merupakan suatu dugaan atau prakiraan mengenai terjadinya suatu kejadian atau peristiwa dimasa yang akan datang. Dalam kegiatan perencanaan peramalan merupakan suatu kegiatan mula dari proses tersebut. Ramalan dibidang tenaga elektrik pada dasarnya merupakan ramalan kebutuhan energi listrik. (Suswanto, 2009). Hasil prediksi ini dipergunakan untuk membuat rencana pemenuhan kebutuhan maupun pengembangan penyediaan tenaga listrik

setiap saat secara cukup dan baik serta terus menerus.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses penelitian

Metoda yang digunakan adalah analisis trend yang terdiri atas trend linier, trend kuadratik, trend eksponensial (Kustanto, 1984).

a. Trend Linier

$$X_{\hat{t}} = a + b\hat{t} \dots \dots \dots (1)$$

Variabel *a* dan *b* pada persamaan tersebut dihitung sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum X}{n}; b = \frac{\sum \hat{t}X}{\sum \hat{t}^2}$$

b. Trend Kuadratik

$$X_{\hat{t}} = a + b\hat{t} + c\hat{t}^2 \dots \dots \dots (2)$$

Untuk mencari nilai variabel *a*, *b*, dan *c* dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$c = \frac{n(\sum \hat{t}^2 X) - \sum \hat{t}^2 \sum X}{(n\sum \hat{t}^4 - (\sum \hat{t}^2)^2)}$$

$$a = \frac{\sum X - c \sum \hat{t}^2}{n}; b = \frac{\sum \hat{t}X}{\sum \hat{t}^2}$$

dimana:

- $X_{\hat{t}}$: beban puncak periode ke \hat{t}
- a* : harga konstanta periode dasar
- b, c* : koefisien garis trend
- \hat{t} : periode waktu yang ditransformasi
- n* : banyaknya data

Aturan untuk membuat $\sum \hat{t} = 0$ adalah dengan meletakkan tahun dasar variabel X pada pertengahan periode deret berkala.

c. Trend Eksponensial

$$X_{\hat{t}} = b^{\hat{t}} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk menentukan variabel a dan b dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\log a = \frac{\sum \log X}{n}, \quad a = 10^{\log a}$$

$$\log b = \frac{\sum \hat{t} \log X}{\sum \hat{t}^2}, \quad b = 10^{\log b}$$

dimana:

$X_{\hat{t}}$: beban puncak periode ke \hat{t}

a, b : nilai koefisien

\hat{t} : periode waktu yang ditransformasi

n : banyaknya data

Untuk mendapatkan daya rata-rata transformator yang digunakan dapat menggunakan persamaan:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(4)$$

Menghitung ketepatan dalam prediksi merupakan hal mendasar dalam melakukan suatu prediksi.

$$PE_t = \frac{(X_t - F_t)}{X_t} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

$$MAPE = \frac{|PE_t|}{n} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

PE_t = Percentage Error (%)

X_t = data aktual

F_t = hasil prediksi

N = banyaknya data

Pembebanan transformator dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Pembebanan} = \frac{St}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

St = Beban Puncak pada tahun (yang akan diramalkan)

PEMBAHASAN

Berdasarkan data dan pengamatan yang diambil melalui dokumentasi secara langsung di gardu induk 150 kV Wates. Dapat diketahui nilai data beban puncak rata-rata transformator daya-I dan II seperti ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data beban puncak rata-rata transformator daya-I

Tahun	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Daya (MVA)	12,21	13,28	14,34	16,20	15,37	19,21	20,30

Tabel 2. Data beban puncak rata-rata transformator daya-II

Tahun	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Daya (MVA)	10,64	9,73	9,87	9,91	11,15	11,62	14,07

Sebagai contoh perhitungan akan digunakan sampel data pada transformator daya-I.

a. Trend linier

Tabel 3. Variabel perhitungan trend linier rata-rata beban puncak transformator daya-I

Tahun	Daya (X)	\hat{t}	$\hat{t}X$	\hat{t}^2
2010	12,21	-3	-36,6201	9
2011	13,28	-2	-26,5688	4
2012	14,34	-1	-13,9039	1
2013	16,2	0	0	0
2014	15,37	1	15,3649	1
2015	19,21	2	36,68	4
2016	20,3	3	60,0627	9
Jumlah	110,91	0	35,0148	28

Setelah didapatkan variabel-variabel seperti di atas, kemudian menghitung nilai koefisien a dan b. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

Mencari koefisien a dengan persamaan,

$$a = \frac{\sum X}{n} = \frac{110,91}{7} = 15,84$$

Mencari koefisien b dengan persamaan,

$$b = \frac{\sum \hat{t}X}{\sum \hat{t}^2} = \frac{35,0148}{28} = 1,25$$

Setelah didapat nilai koefisien a dan b, maka didapat persamaan trend liniernya.

$$\begin{aligned} Y &= 15,84 + 1,25\hat{t} \\ &= 15,84 + 1,25 \cdot -3 \\ &= 12,09 \text{ MVA} \end{aligned}$$

b. Trend Kuadrat

Tabel 4. Variabel perhitungan trend kuadrat rata-rata beban puncak Transformator daya-I

Tahun	Daya (X)	\hat{t}	$\hat{t}X$	\hat{t}^2	\hat{t}^2X	\hat{t}^4
2010	12,21	-3	-36,63	9	109,89	81
2011	13,28	-2	-26,56	4	53,12	16
2012	14,34	-1	-14,34	1	14,34	1
2013	16,2	0	0	0	0	0
2014	15,37	1	15,37	1	15,37	1
2015	19,21	2	38,42	4	76,84	16
2016	20,3	3	60,9	9	182,70	81
Jumlah	110,91	0	37,16	28	452,26	196

Mencari koefisien nilai c dengan persamaan,

$$c = \frac{n(\sum \hat{t}^2 X) - \sum \hat{t}^2 \sum X}{(n \sum \hat{t}^4 - (\sum \hat{t}^2)^2)} = \frac{7(452,26) - 28 \times 110,91}{(7 \times 196 - (28)^2)} = 0,107$$

Mencari koefisien nilai a dengan persamaan,

$$a = \frac{\sum X - c \sum t^2}{n} = \frac{110,91 - 0,107 \times 28}{7} = 15,416$$

Mencari koefisien nilai b dengan persamaan,

$$b = \frac{\sum tX}{\sum t^2} = \frac{37,16}{28} = 1,327$$

Setelah mendapat nilai koefisien c , a , dan b , maka didapat persamaan trend kuadratnya.

$$Y = 15,416 + 1,327 \cdot t + 0,107 \cdot t^2 \\ = 15,416 + 1,327 \cdot 3 + 0,107 \cdot 3^2 \\ = 12,40 \text{ MVA.}$$

c. Trend Eksponensial

Tabel 5. Variabel perhitungan trend eksponensial rata-rata beban puncak transformator daya-I

Tahun	Daya (X)	\hat{t}	\hat{t}^2	Log X	$\hat{t} \text{Log X}$
2010	12,21	-3	9	1,086715664	-3,260146992
2011	13,28	-2	4	1,123198075	-2,24639615
2012	14,34	-1	1	1,156549151	-1,156549151
2013	16,2	0	0	1,209515015	0
2014	15,37	1	1	1,186673867	1,186673867
2015	19,21	2	4	1,283527365	2,56705473
2016	20,3	3	9	1,307496038	3,922488114
Jumlah	109,28	0	28	8,353675175	1,013124418

Mencari koefisien nilai log, yaitu:

$$\log a = \frac{\sum \log X}{n} = \frac{8,353675175}{7} = 1,193382168 \\ a = 10^{\log a} = 10^{1,193382168} = 15,61$$

Mencari koefisien log b , yaitu:

$$\log b = \frac{\sum t \log X}{\sum t^2} = \frac{1,013124418}{28} = 0,0362 \\ b = 10^{\log b} = 10^{0,0362} = 1,0869$$

Setelah mendapatkan nilai koefisien a dan b , maka didapat persamaan trend eksponensialnya.

$$Y = ab^t = 15,61 \cdot 1,0869^{-3} = 12,157 \text{ MVA.}$$

Untuk mencari nilai MAPE untuk semua trend dilakukan dengan cara yang sama seperti menggunakan persamaan (5) dan (6). Dalam melakukan analisis prediksi beban puncak rata-rata menggunakan MAPE terkecil. Dengan cara yang sama seperti di atas, nilai MAPE untuk tiap-tiap trend dapat ditentukan. Untuk hasil nilai MAPE tiap-tiap trend pada transformator daya-I dan II dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 6. Prediksi dan data aktual rata-rata beban puncak transformator daya-I menggunakan trend eksponensial

Tahun	Daya (X)	Prediksi (Y)	Error (%)
2010	12,21	12,16	0,43
2011	13,28	13,21	0,50
2012	14,34	14,36	0,15
2013	16,2	15,61	3,64
2014	15,37	16,97	10,39
2015	19,21	18,44	4,00
2016	20,3	20,04	1,26
MAPE (%)			2,91

Tabel 7. Hasil uji coba metode untuk transformator daya-I

Jenis Trend	Trend Linier	Trend Kuadratik	Trend Eksponensial
MAPE (%)	3,52	3,10	2,91

Tabel 8. Hasil uji coba metode untuk transformator daya-II

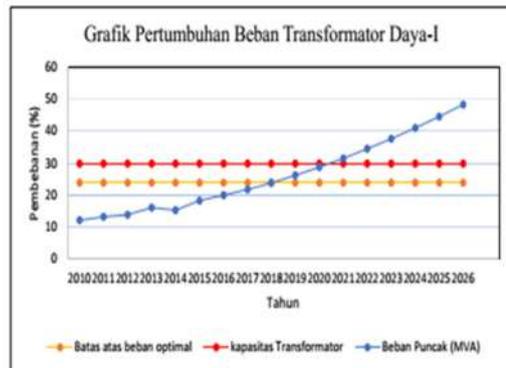
Jenis Trend	Trend Linier	Trend Kuadratik	Trend Eksponensial
MAPE (%)	6,91	1,91	6,45

Masing-masing metode tersebut dapat dikatakan sangat baik karena *error* tidak melebihi 10% (Zainun, 2010) dan dalam batas toleransi yang ditentukan oleh PLN yaitu $\pm 5\%$ (Imran, 2012). Untuk transformator daya-I prediksi dilakukan dengan trend eksponensial dan transformator daya-II dengan trend kuadratik karena memiliki nilai rata-rata kesalahan terkecil.

Tabel 9. Hasil Prediksi rata-rata beban puncak Transformator daya-I menggunakan metode eksponensial

Tahun	Beban (MVA)	Pembebanan (%)	Keterangan
2010	12,21	40,70	Beban Ringan
2011	13,28	44,27	Beban Ringan
2012	13,90	46,33	Beban Ringan
2013	16,16	53,87	Beban Ringan
2014	15,36	51,20	Beban Ringan
2015	18,34	61,13	Beban Optimal
2016	20,02	66,73	Beban Optimal
2017	21,79	72,63	Beban Optimal
2018	23,68	78,93	Beban Optimal
2019	25,74	85,80	Beban Berat
2020	27,97	93,23	Beban Berat
2021	30,40	101,33	Diluar kapasitas trafo
2022	33,05	110,17	Diluar kapasitas trafo
2023	35,92	119,73	Diluar kapasitas trafo
2024	39,04	130,13	Diluar kapasitas trafo
2025	42,43	141,43	Diluar kapasitas trafo
2026	46,12	153,73	Diluar kapasitas trafo

Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1 yang menunjukkan grafik pertumbuhan beban transformator daya-I.



Gambar 1. Grafik pertumbuhan beban transformator daya-I

Tabel 10 Hasil Prediksi rata-rata beban puncak Transformator daya-II menggunakan metode kuadratik

Tahun	Beban (MVA)	Pembebanan (%)	Keterangan
2010	10,64	17,73	Beban Ringan
2011	9,73	16,22	Beban Ringan
2012	9,87	16,45	Beban Ringan
2013	9,91	16,52	Beban Ringan
2014	11,15	18,58	Beban Ringan
2015	11,62	19,37	Beban Ringan
2016	14,07	23,45	Beban Ringan
2017	16,16	26,93	Beban Ringan
2018	18,94	31,57	Beban Ringan
2019	22,22	37,03	Beban Ringan
2020	25,99	43,32	Beban Ringan
2021	30,26	50,43	Beban Ringan
2022	35,02	58,37	Beban Ringan
2023	40,28	67,13	Beban Optimal
2024	46,04	76,73	Beban Optimal
2025	52,29	87,15	Beban Berat
2026	59,04	98,40	Beban Berat

Gambar 2 menunjukkan grafik pertumbuhan beban transformator daya-II berdasarkan hasil prediksi kenaikan rata-rata beban puncak yang ditanggung oleh transformator daya-II.



Gambar 2. Grafik pertumbuhan beban pada transformator daya-II

Dari analisis yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa pertumbuhan beban puncak pada transformator daya-II masih berada dalam kapasitasnya, sehingga untuk rencana penambahan beban khusus dilakukan pada transformator daya-II. Hasil prediksi rata-rata beban puncak transformator daya-II setelah ditambahkan beban khusus dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Hasil Prediksi rata-rata beban puncak transformator daya-II setelah ditambahkan rencana beban

Tahun	Beban (MVA)	Pembebanan (%)	Keterangan
2010	10,64	17,73	Beban Ringan
2011	9,73	16,22	Beban Ringan
2012	9,87	16,45	Beban Ringan
2013	9,91	16,52	Beban Ringan
2014	11,15	18,58	Beban Ringan
2015	11,62	19,37	Beban Ringan
2016	14,07	23,45	Beban Ringan
2017	16,16	26,93	Beban Ringan
2018	18,94	31,57	Beban Ringan
2019	22,22	37,03	Beban Berat
2020	25,99	43,32	Beban Berat
2021	30,26	50,43	Diluar Kap. Trafo
2022	35,02	58,37	Diluar Kap. Trafo
2023	40,28	67,13	Diluar Kap. Trafo
2024	46,04	76,73	Diluar Kap. Trafo
2025	52,29	87,15	Diluar Kap. Trafo
2026	59,04	98,40	Diluar Kap. Trafo

Gambar 3. Menunjukkan grafik pertumbuhan Beban Transformator daya-II setelah adanya rencana penambahan beban khusus.



Gambar 3. Grafik pertumbuhan beban transformator daya-II

Setelah dilakukan analisis pada transformator daya-I dan II, pada transformator daya-I pada tahun 2019 sudah berada pada beban berat sudah melebihi standar optimal pembebanan transformator berdasarkan SPLN 50: 1997 dan batas pembebanan maksimal trafo gardu induk sebesar 80% dari kapasitas transformator berdasarkan SPLN 17: 1979. Sehingga perlu dilakukan penambahan kapasitas transformator daya baru pada tahun 2018 atau selambat-lambatnya awal tahun 2019 mengingat bandara baru yang membutuhkan suplai daya sebesar 30 MVA akan beroperasi pada maret 2019. Penambahan transformator daya baru juga diperlukan agar beban listrik pada transformator daya-I dapat dialihkan ke transformator daya baru sehingga tidak perlu melakukan *upgrade* pada tahun yang sama.

Untuk hasil prediksi kenaikan beban pada transformator daya-II dimana di dalam hasil perhitungan diketahui pada tahun 2025 pembebanan transformator sudah melebihi dari batas pembebanan maksimal trafo sebesar 80%. Berdasarkan hal itu untuk menunjang kenaikan beban transformator daya-II dapat diantisipasi dengan melakukan *uprating* pada transformator Daya-I pada tahun 2024.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut. Hasil prediksi kebutuhan beban 10 tahun mendatang untuk Gardu Induk Wates 150 KV dilakukan menggunakan metode

trend eksponensial dengan nilai MAPE sebesar 2,91%. Transformator daya-I 30 MVA pada tahun 2018 berada pada kondisi batas maksimal beban optimal transformator daya yaitu sebesar 23,68 MVA (78,93%), pada tahun 2019 transformator daya-I sudah berada pada kondisi beban berat dengan beban sebesar 25,74 MVA (85,80%) dan pada tahun 2021 beban sudah melebihi kapasitas transformator dengan beban sebesar 30,40 MVA (101,33%).

Hasil prediksi kebutuhan beban 10 tahun mendatang untuk Gardu Induk Wates 150 KV dilakukan menggunakan metode trend kuadratik dengan nilai MAPE sebesar 1,91%. Transformator daya-II 60 MVA pada tahun 2024 berada pada batas maksimal beban optimal trafo daya yaitu sebesar 46,04 MVA (76,03%), pada tahun 2025 transformator daya-II sudah melewati batas maksimal pembebanan trafo gardu induk dengan beban sebesar 52,29 MVA (87,15%).

Pada gardu induk Wates 150 KV perlu dilakukan penambahan transformator daya baru sebesar 60 MVA pada tahun 2019 untuk melayani kebutuhan daya listrik *New Yogyakarta International Airport* dan dapat digunakan sebagai *backup* pertumbuhan beban pada transformator daya-I karena pada transformator daya-I pada tahun 2019 sudah melewati batas maksimal pembebanan trafo gardu induk.

Pada transformator Daya-II pada tahun 2023 atau selambat-lambatnya awal tahun 2024 dapat dilakukan *uprating* transformator pada transformator daya-I dari kapasitas 30 MVA menjadi 60 MVA.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor IST AKPRIND Yogyakarta, Dekan Fakultas Teknologi Industri IST AKPRIND Yogyakarta, dan Kepala LPPM IST AKPRIND Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Imran, A. Harun, N. Syafaruddin, 2012, Prediksi Beban Puncak Hari Libur Nasional Berbasis Radial Basis Function Neural Network, *Sains & Teknologi*, hal. 156-165.

- Kustanto, B., 1984, *Statistik Analisa Runtun Waktu dan Regresi Korelasi*, Yogyakarta: BPFE.
- Marsudi, D., 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- BPS Kulon Progo, 2016, *Kabupaten Kulon Progo Dalam Angka 2016*.
- Dirjen Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2017, <http://www.dephub.go.id>.
- Suswanto, D., 2009, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Padang: Universitas Negeri Padang.
- Zainun, N.Y., 2010, Forecasting Low-cost Housing Demand in Johor Bahru, Malaysia Using Artificial Neural Networks (ANN), *Journal of Mathematics Research*, vol. 2. No. 1, p. 14-19, <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jmr/article/view/1059>.

BIODATA PENULIS

- Ir. Muhammad Suyanto, M.T.**, lahir di Metro pada tanggal 4 Juli 1960, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Elektro dari ITN Malang tahun 1988 dan S2 bidang Teknik Elektro, dari UGM tahun 2000. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Elektro di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik lektor kepala dengan bidang minat teknik elektro.
- Ridwan Setyowibowo, S.T.**, lahir di Klaten pada tanggal 27 Maret 1995, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Elektro dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 2017.
- Ir. Prastyono Eko Pambudi, M.T.**, lahir di Banyuwangi pada tanggal 19 April 1961, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Elektro dari ITN Malang tahun 1989 dan S2 bidang Teknik Elektro, dari UGM tahun 1998. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Elektro di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik lektor kepala dengan bidang minat teknik elektro.

KENDALI KECEPATAN MOTOR PADA ROBOT DENGAN EMPAT RODA *OMNI* MENGGUNAKAN METODE PID

Aryono Priyambudi¹, Beny Firman², Samuel Kristiyana³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Email: ¹priyambudi.ary@gmail.com, ²benyfirman@akprind.ac.id, ³yanaista@akprind.ac.id

Masuk: 12 Januari 2018, Revisi masuk: 30 Januari 2018, Diterima: 01 Februari 2018

ABSTRACT

In this research has been developed a system to control robot which have four wheel as a base for wheeled robot contest. The type of wheel is omni-wheel, they are shaped with same distance each other. This system commonly have no straight movement and have no consistent aim-face of the robot in open loop control. The control system in this research use PID method to control the speed of each wheel. It use to make robot can move straightly and consistent of aim-face of the robot. The test on this system show that rotation speed of each wheel are equal to set point which set to PID control. With tune the parameter of PID with manual tuning method the system get 2.81% motor speed error. And get 0.66% error of aim-face of robot from forward and backward movement.

Keywords: Manual tuning, Omni-wheel, PID, Wheeled robot.

INTISARI

Pada penelitian ini telah dikembangkan sistem penggerak robot beroda empat sebagai basis robot kontes kategori beroda. Jenis roda yang digunakan adalah roda *omni* dengan mekanisme empat roda dengan jarak yang sama. Sistem pergerakan robot dengan jenis roda ini umumnya menghasilkan arah gerak yang tidak lurus dan arah hadap yang tidak konsisten melalui pengendalian untai terbuka. Sistem pengendalian pergerakan robot pada penelitian ini menggunakan metode PID untuk mengendalikan kecepatan putaran masing-masing roda. Pengendalian ini bertujuan agar pergerakan robot lurus dengan arah hadap robot yang konsisten. Dari hasil pengujian didapatkan nilai putaran masing-masing roda setara dengan nilai set point yang diberikan pada kendali PID. Dengan parameter PID yang ditentukan melalui metode *manual tuning* didapat nilai galat kecepatan motor sebesar 2.81%. Dan galat simpangan yang dihasilkan dari pergerakan robot tersebut sebesar 0.66% dari hasil pengujian pergerakan maju dan mundur robot dengan arah hadap yang sama.

Kata-kata kunci: PID, robot beroda, roda *omni*, Tuning manual.

PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi, dunia robotika juga terus berkembang pesat. Robot juga telah banyak membantu pekerjaan dan aktifitas manusia sehingga dapat lebih mudah, cepat dan efisien. Banyak robot yang telah diciptakan dengan berbagai macam bentuk maupun fungsi, dan juga dengan peggerak berupa lengan ataupun roda. Pada robot beroda dengan menggunakan roda biasa, pergerakan arah robot sangat terbatas sehingga menjadi kendala dalam fungsi robot yang dibutuhkan manuver ke berbagai arah. Dengan menggunakan

roda *omni* arah pergerakan robot dapat lebih banyak.

Robot dengan menggunakan empat roda *omni* dapat bergerak lebih dari 8 arah (maju, mundur, kiri, kanan, serong kiri atas, serong kanan atas, serong kiri bawah, serong kanan bawah) tanpa merubah arah hadapnya. Dengan menggunakan empat roda *omni* maka kontrolnya juga lebih sulit dari kontrol dua roda biasa yang dipasang satu sumbu. Karakteristik tiap motor yang berbeda juga dapat mempengaruhi kecepatan tiap roda sehingga dapat mempengaruhi pergerakan robot. Dengan menggunakan kontrol biasa (*open loop*) pada masing-

masing roda, perpindahan robot menjadi tidak lurus. Agar robot dapat bergerak lurus, robot dengan empat roda omni membutuhkan sebuah kontrol yang dapat mengatur kecepatan dan arah tiap roda.

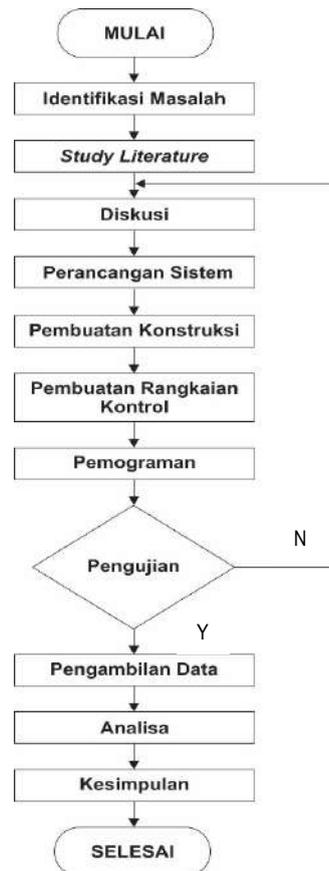
Pemilihan sistem yang kurang sesuai terhadap *plant* yang tidak diketahui serta ketidaktepatan serta pemodelan sistemnya. Untuk itu diperlukan metode kendali yang tepat untuk memenuhi kondisi guna mendapatkan performa yang baik dengan menambahkan PID (*Proportional Integral Derivative*) (Wahyuono, 2015). PID adalah salah satu contoh metode untuk mengatur pergerakan robot. PID merupakan kontrol yang menggabungkan aksi kontrol proporsional, aksi kontrol turunan, dan aksi kontrol integral. Gabungan aksi ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari aksi kontrol tersebut. Dengan kontrol PID ini, robot diharapkan dapat bergerak lurus sesuai dengan *set point* yang diberikan.

Metodologi

Alat dan spesifikasi yang dibutuhkan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Notebook* TOSHIBA *Satellite* C840 Series dengan spesifikasi processor Intel Core i3, RAM 4096 MB, VGA Card ATI Radeon, *Hard Disk Drive* 350 GB
 2. Arduino IDE 16.9
 3. *Software* Eagle
- Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:
1. *Omni wheel* diameter 127 mm 4 unit
 2. Motor DC dengan *encoder* 45mm, *planetary reducer* 1:19.2, 4 unit
 3. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 1 unit
 4. *Driver motor Embedded Module Series* (EMS) 30 A H-Bridge, 4 unit
 5. Regulator tegangan UBEC 5A, SBEC 15A, 1 unit
 6. *Tachometer*, 1 unit
 7. *Krisbow Tachometer* (KW06-563)

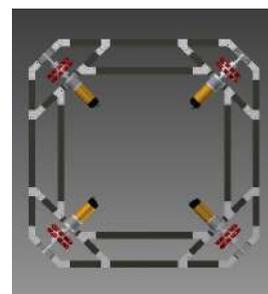
Langkah-langkah penelitian dalam pembuatan robot dengan 4 roda *omni* ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

1. Perancangan Sistem Mekanik

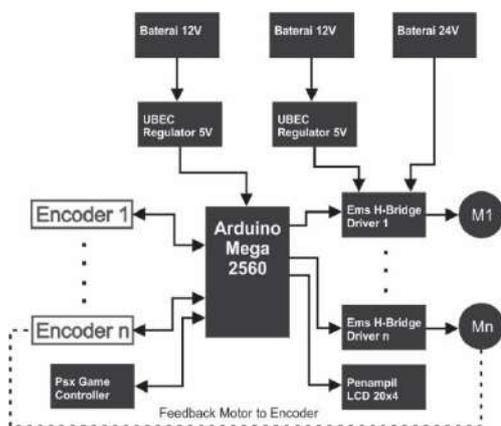
Perancangan mekanik dilakukan dengan menggambar *sketch* pada *software* perancangan mekanik yang kemudian dilakukan pembuatan tiap bagian yang telah dibuat. Dalam penelitian ini dibuat *base form* persegi dengan 4 roda *omni*. Kemudian dilakukan perakitan bagian tersebut menjadi satu kesatuan. Gambar 1 menampilkan rancangan robot dengan empat roda *omni*.



Gambar 2. Rancangan Robot dengan Empat Roda *Omni*

2. Perancangan Rangkaian Kontrol

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan suatu sistem kontrol yang mengatur kestabilan gerak robot. Robot menggunakan aktuator motor DC yang dipasang dengan roda *omni*. Sistem ini tersusun dari berbagai beberapa blok rangkaian, yaitu mikrokontroler (Arduino Mega 2560) sebagai pengendali, *encoder* sebagai sensor pendeteksi kecepatan dan *driver* motor *Embedded Module Series (EMS) 30 A H-Bridge* yang kemudian menggerakkan motor DC dan roda *omni*. Gambar 3 menampilkan blog diagram rangkaian kendali kecepatan motor metode PID.



Gambar 3. Blog Diagram Rangkaian Kendali Kecepatan Motor Metode PID

3. Perancangan Perangkat Lunak

Pertama yang dilakukan adalah perancangan program perhitungan kecepatan roda *omni*. Motor DC yang digunakan dalam percobaan ini mempunyai *pulse per revolution (ppr)* sebanyak 7 ppr. Dengan rasio *gearbox* perbandingan 1:19 dengan poros roda memiliki 133 ppr, menunjukkan resolusi *encoder* tiap detik impuls sebesar 2.7° .

$$\begin{aligned} ppr \text{ roda} &= 19 \times 7 \\ ppr \text{ roda} &= 133 \end{aligned}$$

Dalam pemrograman dilakukan *external interrupt sampling* dalam setiap 0,03 detik (0,03 detik dibuat dalam *internal interrupt*), menghasilkan kecepatan putaran per 0,03 detik.

$$\begin{aligned} \text{revolusi per } 0,03 \\ = \frac{\text{count external interrupt}}{133} \end{aligned} \quad (1)$$

Satuan umum kecepatan putaran adalah revolusi per menit, dilakukan pengubah-

an satuan dari revolusi per 0,03 detik ke konversi revolusi per menit (rpm). Revolusi konversi detik dengan persamaan (1) dikalikan 33,33, angka tersebut didapat dari 1 dibagi dengan 0,03. Dalam satu detik terdapat sebanyak 33.333 kali 0,03 detik. Dalam persamaan perhitungan kecepatan motor *cei* adalah *count external interrupt*.

$$\text{revolusi per detik} = \frac{cei}{133} \times 33.33 \quad (2)$$

Kemudian untuk mendapatkan satuan revolusi per menit dikalikan 60 karena dalam satu menit sama dengan 60 detik.

$$\text{revolusi per menit} = \frac{cei}{133} \times 33.33 \times 60 \quad (3)$$

$$\text{revolusi per menit} = \frac{cei}{133} \times 2.000 \quad (4)$$

Dari perhitungan itulah didapat persamaan perhitungan rpm seperti yang ditunjukkan pada persamaan (4).

Perancangan yang ke dua yaitu perancangan kontrol PID. Kombinasi dari kontrol proporsional, aksi kontrol integral, dan aksi kontrol turunan disebut kontrol PID. Kombinasi ini mempunyai keuntungan dibanding masing-masing kontroler, kekurangan dan kelebihan kontroler saling menutupi. Persamaan dengan tiga kombinasi ditunjukkan pada persamaan (5).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

Persamaan PID yang digunakan ditunjukkan pada persamaan (6).

$$V_o = K_p \times err + K_i \times (err + last_{err}) \times T_s + \frac{K_d}{T_s} \times (err - last_{err}) \quad (6)$$

dengan:

- K_p adalah konstanta proporsional
- K_i adalah konstanta integral
- K_d adalah konstanta diferensial
- Err adalah nilai kesalahan
- $Last_{err}$ adalah nilai kesalahan sebelumnya
- T_s adalah *sampling time* (waktu *sampling*)

PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan membandingkan pergerakan perpindahan menggunakan sistem kontrol PID dan tanpa menggunakan sistem kontrol PID.

A. Pengujian Putaran Motor untuk Gerak Robot

Pengujian putaran motor untuk gerak perpindahan robot dilakukan untuk menguji arah putaran tiap roda *omni* dan gerakan perpindahan robot yang dihasilkan dengan dari putaran tersebut.

Tabel 1. Konfigurasi Putaran Motor untuk Gerak Robot

Arah Robot	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
Maju	CCW	CCW	CW	CW
Mundur	CW	CW	CCW	CCW
Kiri	CW	CCW	CCW	CW
Kanan	CCW	CW	CW	CCW
Maju Kiri	-	CCW	-	CW
Maju Kanan	CCW	-	CW	-
Mundur kiri	CW	-	CCW	-
Mundur Kanan	-	CW	-	CCW

B. Kalibrasi RPM

Kalibrasi Rpm dilakukan untuk memastikan bahwa perhitungan Rpm yang dieksekusi oleh mikrokontroler telah sesuai. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai Rpm hasil perhitungan mikrokontroler dengan rpm yang terbaca pada alat yang telah standar, dalam percobaan ini digunakan *Tachometer* Krisbow tipe KW06-583.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Pembacaan Rpm Motor pada Arduino

No	Rpm Terbaca Pada Tachometer	Rpm Hasil Perhitungan
1.	84.1	83.874
2.	259.7	261.014
3.	370.3	371.042
4.	427.1	433.668
5.	459	464.684
6.	472.9	478.212
7.	482.7	489.086
8.	489.6	495.512
9.	493.8	501.602
10	502.1	509.388
Rata-rata	404.13	408.8

Dari kalibrasi pembacaan Rpm pada kontroler, didapat nilai *error* sebesar 1,04%. Dari nilai kesalahan yang kecil tersebut, dapat dikatakan pembacaan kecepatan motor pada kontroler sudah cukup baik.

$$Error = \frac{|404.13 - 408.8|}{404.13} \times 100\%$$

$$Error = 1.15\%$$

C. Pengujian Gerak Robot dengan Kontrol *Open Loop*

Pengujian ini dilakukan untuk melihat gerak robot dengan menggunakan *open loop control*. Kemudian hasil dari pengujian ini dibandingkan dengan hasil pengujian *close loop control PID*.

1. Pengujian Kecepatan Motor dengan Kontrol *Open Loop*

Dalam pengujian ini motor diberi masukan *open loop* dimana tidak ada umpan balik dari putaran motor untuk memperlambat kecepatan motor. Data pengujian kecepatan motor ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengujian Rpm Kontrol *Open Loop*

No	Kecepatan yang diset	Motor 1 (E ₁)	Motor 2 (E ₂)	Motor 3 (E ₃)	Motor 4 (E ₄)
1	200	229.02	243.03	240.67	214.72
2	200	228.67	244.29	242.16	215.8
3	200	226.86	242.42	240.5	215.27
4	200	226.73	243.74	240.51	214.8
5	200	226.61	243.42	242.03	215.88
6	200	226.51	243.14	240.38	213.84
7	200	226.41	244.39	240.4	213.51
8	200	227.83	242.51	240.42	213.21
9	200	227.6	243.82	240.44	212.94
10	200	225.9	243.5	240.46	214.2
Rata-rata		227.21	243.38	240.79	214.41

Dari data pada Tabel 3 tampak masing-masing motor memiliki kecepatan yang berbeda. Hal itu dikarenakan kontrol yang digunakan yaitu *open loop* dimana tidak ada koreksi terhadap Rpm Motor. Nilai *error* rata-rata dari keempat motor yaitu 15,73%.

2. Pengujian Gerakan Robot dengan Kontrol *Open Loop*

Untuk menguji pergerakan robot dengan kontrol *open loop* dilakukan dengan menjalankan robot dari titik A ke titik B, kemudian diambil data berupa *error* sudut dari titik A ke titik B dan sebaliknya. Pada pengujian ini robot digerakkan ke arah depan (arah hadap robot) sejauh 2 meter, kemudian diukur *error* pergeseran robot dari sumbu arah gerak robot. Gambar 4 menunjukkan titik A atau titik awal pengujian pergerakan robot dengan menggunakan kontrol *open loop*. Pada pengujian pertama robot digerakkan ke titik B, kemudian diukur *error*-nya yaitu jarak robot dengan sumbu

awal pergerakan robot. Gambar 5 (a) menunjukkan pergerakan robot *open loop* dari titik A ke titik B, sedangkan (b) *error* pergerakan robot *open loop* dari titik A ke titik B.



Gambar 4. Titik Awal Pengujian Pergerakan Robot *Open Loop* (Titik A)



Gambar 5 a). Pengujian Pergerakan Robot *Open Loop* dari Titik A ke Titik B
b). *Error* Pergerakan Robot *Open Loop* dari Titik A ke Titik B

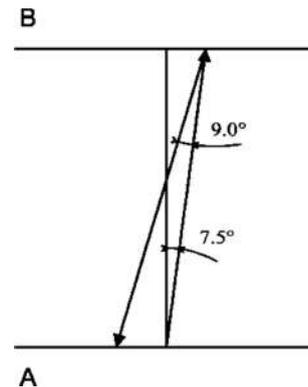
Error yang didapat dari pergerakan maju dari titik A ke titik B adalah 26 cm. Nilai tersebut didapat pada saat robot mencapai titik B, seperti yang ditunjukkan pada Gambar . Pada saat bergerak maju robot bergerak ke arah kanan hal itu dikarenakan titik berat robot berada pada bagian belakang kanan dari robot, sehingga beban pada motor 3 dan motor 4 lebih berat. Setelah pengujian maju, pada tahap ke dua robot digerakkan mundur dari titik B ke titik A dan kemudian di ambil data *error* nya.

Pada pengujian gerak mundur didapat *error* atau robot bergeser ke kiri dari sumbu awal sebesar 33 cm. Pergeseran itu dilihat pada Gambar 6 di mana pada Gambar a) robot bergeser dari titik awal percobaan (titik A). Pada pengujian gerak mundur didapat *error* atau robot bergeser ke kiri dari sumbu awal sebesar 33 cm. Pergeseran itu dilihat pada Gambar 6 di mana pada gambar a) robot bergeser dari titik awal percobaan (titik A).



Gambar 6a). Pengujian Pergerakan Robot *Open Loop* dari Titik B ke Titik A
b). *Error* Pergerakan Robot *Open Loop* dari Titik B ke Titik A

Pada Gambar 7 dapat dilihat *error* pergerakan robot maju dan mundur cukup besar, hal itu dikarenakan kontrol yang digunakan pada roda robot *omni* masih menggunakan kontrol *open loop* dan juga penyebab lainnya yaitu titik beban dari robot yang juga tidak berada pada titik simetris dari dimensi *base* robot. *Error* yang terjadi pada saat maju dan mundur sebesar 4.58%.



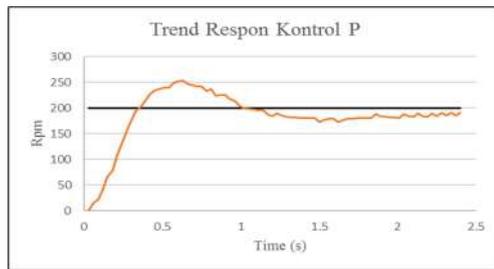
Gambar 7. *Error* pergerakan Robot dengan Kontrol *Open Loop*

D. Tuning PID

Tuning dilakukan dengan cara *manual tuning*.

1. Tuning P

Pada percobaan ini dilakukan tuning parameter P dan didapat nilai $P = 0.04$. Nilai ini didapat dengan mengganti nilai P dengan nilai tertentu dan kemudian ditentukan nilainya dengan pertimbangan *overshoot* dan *steady state error* tidak terlalu besar, karena pada saat penambahan parameter I akan membuat *overshoot* akan bertambah besar dan parameter I juga dapat mengurangi *steady state error*. Gambar 8 menampilkan *trend* respon kontrol proporsional.



Gambar 8. *Trend Respon Kontrol Proporsional*

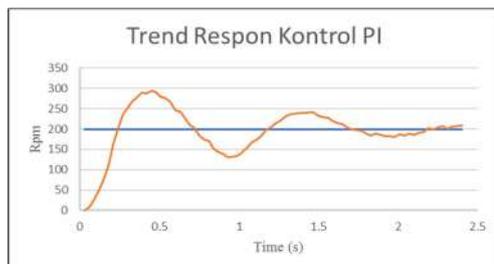
Dari *trend* respon kontrol proporsional yang ditunjukkan pada Gambar didapat parameter kualitatifnya yang ditunjukkan pada Tabel 4. Tabel parameter kualitatif kontrol P menunjukkan bahwa *overshoot* masih cukup besar yaitu pada nilai 53,65, *rise time* juga masih pada angka 0,36 detik dan begitu juga dengan *settling time* maupun *steady state error* masih menunjukkan angka yang cukup tinggi. Untuk itu dibutuhkan kontrol tambahan untuk mendapatkan respon kontrol yang lebih baik.

Tabel 4. Paramter Kualitatif kontrol P

Parameter	Nilai
<i>Set Point (Rpm)</i>	200
<i>Overshoot (Rpm)</i>	53,65
<i>Rise Time (s)</i>	0,36
<i>Settling Time (s)</i>	1,86

2. Tuning PI

Pada *tuning* ini didapatkan nilai besar variabel integral (I) = 5, nilai tersebut didapat dengan melihat grafik percobaan yang memperbaiki nilai *rise time* pada sistem. Di sisi lain turunnya nilai *rise time* oleh karena adanya variabel integral juga menaikkan nilai *overshoot* sehingga membuat sistem tidak stabil. Gambar 9 menampilkan *trend* respon kontrol PI.



Gambar 9 *Trend Respon Kontrol PI*

Dari *trend* respon kontrol proporsional dan integral didapat parameter

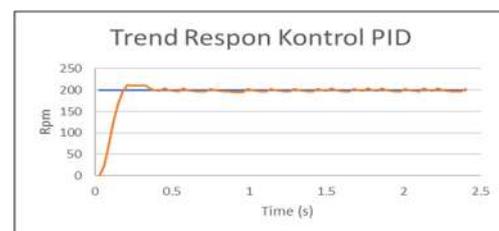
kualitatifnya yang ditunjukkan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut ditunjukkan nilai *rise time* yang menurun tetapi di sisi lain *overshoot* menjadi sangat tinggi. Untuk meredam *overshoot* tersebut dibutuhkan variabel derivatif yang dapat mengoreksi sebelum terjadi kesalahan.

Tabel 5. Paramter Kualitatif kontrol PI

Parameter	Nilai
<i>Set Point (Rpm)</i>	200
<i>Overshoot (Rpm)</i>	89,91
<i>Rise Time (s)</i>	0,24
<i>Settling Time (s)</i>	2,4
<i>Ess (Rpm)</i>	9,4

3. Tuning PID

Nilai derivatif yang sesuai dengan sistem yaitu $K_d=10$. Nilai itu di *tuning* hingga didapatkan respon yang paling baik, yang dapat menghilangkan *overshoot*, mengurangi *rise time*, *settling time* dan *Error steady state* juga berkurang. Gambar 10 menampilkan *trend* respon kontrol PID.



Gambar 10. *Trend Respon Kontrol PID*

Pada Tabel dapat dilihat data parameter kualitatif yang telah ditambahkan nilai derivatif, *overshoot* pada sistem berkurang dan tidak ada lagi isolasi yang terjadi. *Rise time* sistem juga semakin kecil, *settling time* juga lebih kecil dari kontrol P atau PI. *Settling time* yang kecil menandakan sistem mencapai kestabilan dengan cepat. *Error steady state* juga kecil, sehingga Rpm motor mendekati dengan nilai *set point*.

Tabel 6. Paramter Kualitatif kontrol PID

Parameter	Nilai
<i>Set Point (Rpm)</i>	200
<i>Overshoot (Rpm)</i>	10,88
<i>Rise Time (s)</i>	0,18
<i>Settling Time (s)</i>	0,42
<i>Ess (rpm)</i>	3,13

E. Pengujian Kestabilan Motor DC dan Gerak Robot dengan Kontrol PID

Pada pengujian ini dilakukan uji kestabilan Rpm tiap motor pada roda *omni* dan pergerakan robot setelah menggunakan kontrol PID yang telah di *tuning* sebelumnya. Dan akan dilihat *error* dari pergerakan perpindahan dari robot. Kemudian akan dibandingkan dengan uji pergerakan pada kontrol *open loop* yang telah dilakukan sebelumnya.

1. Pengujian RPM Motor 1, 2, 3, dan 4

Untuk mengetahui kestabilan motor, dilakukan uji Rpm masing-masing motor yang telah dikontrol dengan metode PID dan akan dilihat *error* dari tiap roda. Pada Tabel 6 dapat dilihat *error steady state*, rata-rata *error* masing-masing motor relatif kecil dan dapat dikatakan stabil. Persentase *error* rata-rata pada kecepatan motor 1 sebesar 2,84%, motor 2 sebesar 1,32%, motor 3 sebesar 3,08%, dan motor 4 sebesar 3,99%. Nilai ini lebih baik dibandingkan dengan *error* ketika menggunakan kontrol *open loop* yang tidak mempunyai umpan balik. Kemudian setelah dilakukan uji Rpm, dilakukan uji gerak robot. Nilai *error* dari keempat motor adalah 2,81%.

Tabel 6 Pengujian Motor 1, 2, 3, dan 4

Time	Set Point	RPM Motor			
		M1	M2	M3	M4
0.3	200	0	0	0	0
0.33	200	7.52	7.52	15.04	15.04
0.36	200	48.87	48.87	60.15	52.63
0.39	200	92.11	99.62	105.26	86.47
0.42	200	136.28	140.04	142.86	125.94
0.45	200	173.4	175.28	176.69	168.23
2.28	200	209.58	197.91	202.75	208.63
2.31	200	195.01	204.22	206.64	209.58
2.34	200	202.77	207.37	208.58	210.05
2.37	200	206.65	201.43	209.55	210.29
2.4	200	208.59	198.46	210.04	210.41
Rata Rata Ess		5.99	3.73	6.16	8.4

2. Pengujian Gerak Robot dengan Kontrol PID

Pengujian gerak robot dengan kontrol PID ini sama tekniknya dengan pengujian pada uji pergerakan robot dengan kontrol *open loop*. Pertama robot diletakkan pada titik awal (titik A) kemudian dijalankan sejauh 2 meter ke depan (arah hadap robot) atau ke titik B, kemudian diukur sudut yang terbentuk dengan sumbu lurus gerak robot, begitu juga diuji

gerak mundur dan diukur sudut yang terbentuk dengan garis pertama. Gambar 11 menampilkan titik awal pengujian pergerakan robot kontrol PID (Titik A).



Gambar 11. Titik Awal Pengujian Pergerakan Robot Kontrol PID (Titik A)

Pada Gambar 12 *error* yang terukur setelah robot bergerak ke arah depan (dari titik A ke titik B) yaitu 5,8cm. Arah *error* dari robot sama dengan uji pada kontrol *open loop*, tetapi nilai *error* dari pergerakan jauh lebih kecil. Arah *error* yaitu ke arah kanan di mana titik berat robot berada di bagian kanan belakang dari *base* robot. Selanjutnya robot diuji pergerakan mundurnya, yaitu dari titik B ke titik A tempat posisi awal robot.



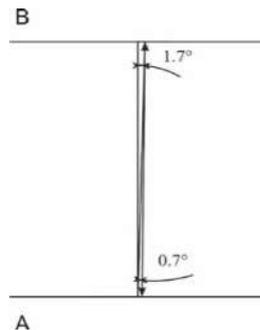
Gambar 12a). Pengujian Pergerakan Robot kontrol PID dari Titik A ke Titik B
b) *Error* Pergerakan Robot kontrol PID dari Titik A ke Titik B

Gambar 3 menunjukkan *error* gerak mundur robot, pada pengujian tersebut didapat angka *error* sebesar 2,5 cm dari titik awal *start*. Nilai itu juga jauh lebih kecil dibandingkan dengan *error* gerak mundur saat *open loop*.



Gambar 13a). Pengujian Pergerakan Robot Kontrol PID dari Titik B ke Titik A b) *Error* Pergerakan Robot kontrol PID dari Titik B ke Titik A

Setelah pengujian maju dan mundur dan di dapat *error* masing-masing dilakukan, didapat *error* sudut arah hadap robot. Dari gerak maju *error* 5,8 cm didapat *error* arah hadap robot sebesar $1,7^\circ$ dan dari gerak mundur dengan *error* 2.5 cm didapat *error* arah hadap robot sebesar $0,7^\circ$, seperti tampak pada Gambar 14.



Gambar 14. *Error* Pergerakan Robot dengan Kontrol PID

Pada Gambar 114 tampak sudut yang dibentuk dari pergerakan robot maju dan mundur jauh lebih kecil dibandingkan dengan sudut *error* yang dibentuk dengan kontrol *open loop*. *Error* yang terjadi pada saat menggunakan kontrol *open loop* sebesar 0.66%. Dapat dikatakan kontrol PID yang dibuat dapat membuat gerak robot lebih lurus dan dapat meredam efek titik berat yang tidak berada pada tengah dari dimensi *base* robot.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan metode PID untuk mengontrol masing masing roda *omni*, pergerakan perpindahan robot menjadi lurus dan *error* arah hadap robot menjadi kecil. Dan dapat memperbaiki *error* arah hadap dari *open loop* sebesar 4,58% menjadi 0,66%.
2. Pegujian putaran roda dengan kontrol PID dapat membuat kecepatan putaran masing-masing roda mendekati sama dengan persentase *error* rata-rata pada kecepatan motor sebesar 2,81% dibandingkan dengan *error* rata-rata pada kecepatan motor dengan kontrol *open loop* sebesar 15,73%.

Kontrol robot dalam penelitian ini sudah mampu untuk bergerak dengan *error* hadap yang relatif kecil. Untuk meminimalisir nilai *error* dibutuhkan perhitungan *center of gravity* dari robot, agar beban yang diterima masing-masing roda sama, sehingga membuat pergerakan robot lebih baik. Untuk pengembangan lebih lanjut, dibutuhkan kontrol yang dapat membaca dan menggerakkan robot dalam koordinat. Sehingga robot dapat bergerak kemanapun dengan diketahui posisinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaldi, W., 2016, Ilmu Program, <https://ilmuprogram.com/2016/12/17/arduino-penjelasan-dan-macamma-camnya/>, diakses 27 September 2017.
- Arduino, 2017, Arduino Mega, <https://www.arduino.cc/en/Main/arduino-BoardMega>, diakses 26 Juli 2017.
- Collins, D., 2015, FAQ: How do magnetic encoders work?, <http://www.motioncontroltips.com/faq-how-do-magnetic-encoders-work/>, diakses 27 Juli 2017.
- Dynpar, 2017, Magnetic Encoders, https://www.dynapar.com/Technology/Encoder_Basics/Magnetic_Encoder/, diakses 27 Juli 2017.
- Hutahaean, R. Y., 2006, Mekanisme dan Dinamika Mesin, Yogyakarta: Andi.
- Kho, D., 2017, Pengertian Optocoupler dan Prinsip Kerjanya, <http://teknik-elektronika.com/pengertian-optocoupler-fungsi-prinsip-kerja-optocoupler/>, diakses 27 Juli 2017.
- Ogata, K., 1996, Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Pambudi, W. S., 2011, Rancang Bangun 3 Wheels Omni-Directional Mobile Robot Menggunakan Sensor Position Sensitive Device (PSD) serta Sensor Vision dengan Metode Kendali Fuzzy Logic Controller (FLC) untuk Menghindari Halangan.
- Pitowarno, E., 2006, Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan, Yogyakarta: Andi.
- Rochamnto, R. A., 2014, Implementasi Robot Three Omni-Directional Menggunakan Kontroler PID pada Robot Kontes Robot ABU Indonesia

- (KRAI), Jurnal Universitas Brawijaya, hal. 1-6.
- Saputra, A. W., 2014, Kendali Kecepatan dan Posisi pada Mobile Robot yang Menggunakan Triangle Omni-Directional Wheels dengan Metode PID, *Journal of Control and Network Systems*, Vol. 3, No. 2, hal. 81-89.
- Sumanto, M., 1991, Mesin Arus Searah, Edisi ke-2, Yogyakarta: Andi Offset.
- Wahyuono, T. A., 2015, Kendali Robot Manual 4WD Mecanum Wheel Berbasis PID dengan Menggunakan ARM-CORTEX M4, *Journal of Control and Network Systems*, Vol. 4, No.1, hal. 39-45.

BIODATA PENULIS

- Aryono Priyambudi, S.T.**, lahir di Bangka pada tanggal 10 Januari 1995, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Elektro dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 2018.
- Beny Firman, S.T., M.Eng.**, lahir di Pangkalpinang pada tanggal 5 Juli 1986, menyelesaikan pendidikan D3 dan S1 bidang Teknik Elektro dari IST AKPRIND Yogyakarta dan S2 bidang Teknik Elektro dan Teknologi Informasi dari UGM tahun 2012.
- Dr. Samuel Kristiyana, S.T., M.T.**, lahir di Bantul pada tanggal 6 Desember 1970, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Elektro dari IST AKPRIND Yogyakarta, S2 bidang Teknik Elektro dan Teknologi Informasi dari UGM tahun 2005, dan menyelesaikan S3 bidang Teknik Elektro dan Teknologi Informasi dari UGM tahun 2017.

ISSN 1979-8415



9 771979 841598