

# TEKNOIN

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI

ISSN 0853-8697

Volume 14, Nomor 2, Agustus 2009

---

Pengaruh Hostload Generator Pembangkit Terhadap Profil Tegangan  
**A.N. Afandi, Asri, Husna**

---

Studi Penggunaan Motor Servo Magnet Permanen Tegangan 480 V DC 1850 RPM pada  
Mesin Potong Kertas Karton  
**Alfian Junaidi**

---

Ontology Sistem E-Learning Berbasis Semantik Web  
**Bernard Renaldy Suteja, Suryo Guritno, Retantyo Wardoyo, Ahmad Ashari**

---

Experimental Design in Optimizing Alcohol Treatment of Pyrolysis Oil by  
Reactive Distillation  
**Diana**

---

Analisis Preferensi Konsumen dalam Pemilihan Jasa Operator Telekomunikasi Seluler  
untuk Perancangan Business Plan  
**Elly Wuryaningtyas Yunitasari dan Farham H.M. Saleh**

---

Fotooksidasi LLDPE Hasil Teknik Himrem I dengan Sinar UV  
**Hasnah Muin**

---

Fotodegradasi Alizarin Red S Melalui Reaksi Photo-Fenton-Like dengan Katalis  
Fe(III)/Zeolite Beta  
**Is Fatimah**

---

Estimasi Arus Motor DC Seri dengan Fuzzy Observer Berdasar Kecepatan Motor  
**Medilla Kusriyanto, Samiadji Herdjunanto, Wahyu Widada**

---

Biobriket Campuran Arang Kayu dan Sampah Kota sebagai Alternatif Pemecahan Bahan  
Bakar Murah untuk Rakyat  
**Yuliani Indrianingsih, Dedet Hermawan S.**

---

ISSN 0853-8697



Teknoin

Volume 14

Nomor 2

Hlm.001-074

Yogyakarta  
Agustus 2009

ISSN:  
0853-8697

# TEKNOIN

Jurnal Teknologi Industri

---

Jurnal Teknologi Industri TEKNOIN adalah jurnal yang mengkaji masalah yang berhubungan dengan teknologi industri. Penelitian yang dilaporkan dapat berupa penelitian untuk pengembangan keilmuan atau terapan.

Jurnal ini terbit empat kali dalam setahun,  
setiap bulan Maret, Juni, September, dan Desember

Pelindung  
**Fathul Wahid**

Pemimpin Umum  
**Agus Taufiq**

Pemimpin Redaksi  
**Farham H.M. Saleh**

Sekretaris Redaksi  
**Agung Nugroho Adi**

Dewan Redaksi  
**R. Chairul Saleh**  
**Hari Purnomo**  
**Asmanto Subagyo**  
**Sri Kusumadewi**  
**Mauridy Heri Purnomo**  
**Agung Alfiansyah**  
**Waziz Wildan**

Administrasi  
**Pangesti Rahman**  
**Sarjudi**

Alamat Redaksi  
**Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**  
**Jl. Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55501**  
**Telp. (0274) 895287, Faks. (0274) 895007**  
**E-mail: [teknoin@fti.uii.ac.id](mailto:teknoin@fti.uii.ac.id)**

## PENGANTAR REDAKSI

Relasi TEKNOIN yang terhormat,

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Puji Syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat dan Kasih Sayang-Nya sehingga kita dapat bersama kembali di TEKNOIN.

Redaksi TEKNOIN sangat berbahagia sekali dapat hadir kembali, untuk bersama para relasi baik dari kalangan akademisi maupun kalangan praktisi, mengkomunikasikan hasil-hasil penelitian dan kajian keilmuan yang telah dan akan kita lakukan.

Target utama kehadiran kembali TEKNOIN adalah menjadi jurnal yang minimal berstandar nasional. Oleh karena itu, selain terjadi perubahan pada pengelola, TEKNOIN juga tampil menyesuaikan diri dengan tuntutan jurnal berstandar nasional. Dimensi fisik berubah menjadi berukuran A4, pola kajian pustaka menjadi *body note* dan akan berusaha tampil konsisten dengan dua bahasa yaitu bahasa Indonesia dan Inggris. Selanjutnya pada penerbitan berikutnya, dalam usaha menjaga kualitas maka mitra bestari TEKNOIN akan selalu dilibatkan secara maksimal.

Redaksi sangat menjaga komunikasi yang selama ini telah terjalin sangat baik dan kami akan berusaha selalu hadir tepat waktu.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Salam hormat,

**Pimpinan Redaksi**

## DAFTAR ISI

- 01-06     **Pengaruh Hostload Generator Pembangkit Terhadap Profil Tegangan**  
A.N. Afandi, Asri, Husna
- 07-13     **Studi Penggunaan Motor Servo Magnet Permanen Tegangan 480 V DC 1850 RPM pada Mesin Potong Kertas Karton**  
Alfian Junaidi
- 15-26     **Ontology Sistem E-Learning Berbasis Semantik Web**  
Bernard Renaldy Suteja, Suryo Guritno, Retantyo Wardoyo, Ahmad Ashari
- 27-34     **Experimental Design in Optimizing Alcohol Treatment of Pyrolysis Oil by Reactive Distillation**  
Diana
- 35-41     **Analisis Preferensi Konsumen dalam Pemilihan Jasa Operator Telekomunikasi Seluler untuk Perancangan Business Plan**  
Elly Wuryaningtyas Yunitasari dan Farham H.M. Saleh
- 43-49     **Fotooksidasi LLDPE Hasil Teknik Himrem I dengan Sinar UV**  
Hasnah Muin
- 51-57     **Fotodegradasi Alizarin Red S Melalui Reaksi Photo-Fenton-Like dengan Katalis Fe(III)/Zeolite Beta**  
Is Fatimah
- 59-68     **Estimasi Arus Motor DC Seri dengan Fuzzy Observer Berdasar Kecepatan Motor**  
Medilla Kusriyanto, Samiadji Herdjunanto, Wahyu Widada
- 69-74     **Biobriket Campuran Arang Kayu dan Sampah Kota sebagai Alternatif Pemecahan Bahan Bakar Murah untuk Rakyat**  
Yuliani Indrianingsih, Dedet Hermawan S.

*Redaksi menerima tulisan yang belum pernah diterbitkan atau dalam proses penerbitan dari kalangan akademisi dan peneliti. Redaksi berhak mengubah tulisan tanpa mengurangi atau mengubah maksudnya. Pedoman penulisan tercantum pada bagian akhir Jurnal ini.*

## PENGARUH HOSTLOAD GENERATOR PEMBANGKIT TERHADAP PROFIL TEGANGAN

A.N. Afandi<sup>1)</sup>, Asri<sup>2)</sup>, Husna<sup>3)</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro Universitas Negeri Malang

<sup>2,3</sup>Teknik Elektro Universitas Malikussalaeh Lhokseumawe

### ABSTRACT

*The disturbance can influence to the transient stability, it represent the reliability of system to keep the synchronous condition. The transient stability also depends on power transmission line and tie bus, that was interconnected to the closer system, including with power station characteristic, such as spin inertia on shaft. The problem of power system stability relate to blackout condition such in Malang, this will cause the outage on all system supply. Its means the disturbance must be repair and recovering. According to the result of research, shown that hostload operation at power station will influence to voltage on every bus, but the bus that at long distance did not feel it, it just become to the closer bus. The voltage changing in Wlingi and Sutami  $\pm 1$  kV or 1.000 volt.*

*Keywords: stability, generator, drop, hostload*

### PENDAHULUAN

Masalah pada sistem tenaga listrik yang sering muncul adalah masalah yang berkaitan dengan dinamika dan stabilitas sistem untuk merespon adanya gangguan yang terjadi, karena masalah dinamika dan stabilitas sistem tersebut sangat berkaitan erat dengan unjuk kerja sistem yang mencerminkan kondisi setiap saat, baik kondisi normal maupun kondisi saat terjadi gangguan, serta kondisi pemulihannya. Selanjutnya stabilitas sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai suatu keadaan sistem untuk kembali lagi ke keadaan normal atau stabil setelah mengalami gangguan (Nagrath, 1989). Gangguan pada sistem dapat menimbulkan osilasi tegangan, frekuensi dan daya. Oleh karena itu, perlu pengaturan agar osilasi yang terjadi segera kembali ke kondisi normal. Untuk analisa stabilitas sistem yang berkaitan dengan osilasi ada tiga kondisi yang harus dipertimbangkan, yaitu stabilitas *steady state*, stabilitas *transient* dan stabilitas *dynamic* (Nagrath, 1989).

Selanjutnya dalam stabilitas sistem tenaga listrik permasalahan dapat dinyatakan dengan menggunakan model persamaan diferensial, sehingga hal itu sangat berkaitan dengan terjadinya osilasi frekuensi rendah dan dapat distabilkan kembali dengan menambahkan

sinyal kendali tambahan melalui *Power System Stabilizer* (Padiyar, 1996). Penambahan sinyal kendali melalui blok *Power System Stabilizer* tersebut dapat dilakukan dengan masukan umpan balik berupa perubahan kecepatan, perubahan frekuensi atau perubahan akselerasi daya (Yu, 1983).

Berbagai penelitian tentang stabilitas sistem tenaga listrik telah banyak dilakukan untuk mengevaluasi dan memperbaiki respon terhadap gangguan yang terjadi. Berkaitan dengan hal tersebut, maka tujuan dilakukannya penelitian tentang stabilitas sistem tenaga listrik ini adalah untuk mengetahui respon generator pembangkit bila terjadi gangguan yang dapat menyebabkan sistem tenaga listrik di Kota Malang keluar dari interkoneksi sistem tenaga listrik se-Jawa Bali. Sehingga respon pembangkit yang ada dapat diketahui unjuk kerjanya saat terjadi gangguan.

### KOMPONEN DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

Menurut Nagrath (1989) dinamik pada sistem tenaga listrik dikarakteristikan oleh perilaku pengiriman daya yang secara keseluruhan memiliki batas maksimum sampai tercapai kondisi lepas sinkron, selain itu juga dicerminkan oleh osilasi komponen mekanis

dan listrik yang diwakili oleh sudut daya  $\delta$ . Selanjutnya untuk memahami perilaku dinamik pada sistem tenaga listrik dan untuk merencanakan kontrol pada perbaikan unjuk kerja sistem, Yu (1983) menyatakan sangat perlu dimengerti komponen dasar sistem tenaga listrik, khususnya yang memiliki pengaruh signifikan dengan perilaku dinamik sistem tenaga. Komponen dasar tersebut sebagaimana pada gambar 1 yang meliputi: turbin dan governor, generator, eksitasi beserta regulator tegangan, transformator dan jaringan transmisi.

Pada gambar 1 ditunjukkan bahwa turbin dan governor mendapat umpan balik dengan  $\Delta\omega$ , sedangkan eksitasi dan regulator mendapat umpan balik berupa  $\Delta V_t$ . Selanjutnya generator dihubungkan ke sistem tenaga listrik melalui transformator dan saluran transmisi.

Konversi energi mekanik terjadi pada turbin uap melalui proses termodinamik, dimana uap diekspansikan melalui turbin tekanan rendah, menengah dan tinggi secara normal semuanya pada satu poros. Energi uap tekanan tinggi dan temperatur tinggi dari boiler dikonversikan menjadi energi mekanik melalui sirip turbin dan dialihkan ke poros yang terhubung dengan generator.

Sedangkan governor untuk mempertahankan kecepatan konstan, yaitu kecepatan sinkron antara turbin dan generator. Bila kecepatan turun, guna menaikkan keluaran daya listrik maka akan dikirim sinyal ke governor untuk menaikkan masukan daya mekanik ke turbin dan bila kecepatan naik maka daya masukan

mekanik dikurangi guna mempertahankan kecepatan konstan. Pada pembangkit yang besar governor memberikan fungsi kendali daya dan frekuensi, dari area yang berada didalam interkoneksi besar.

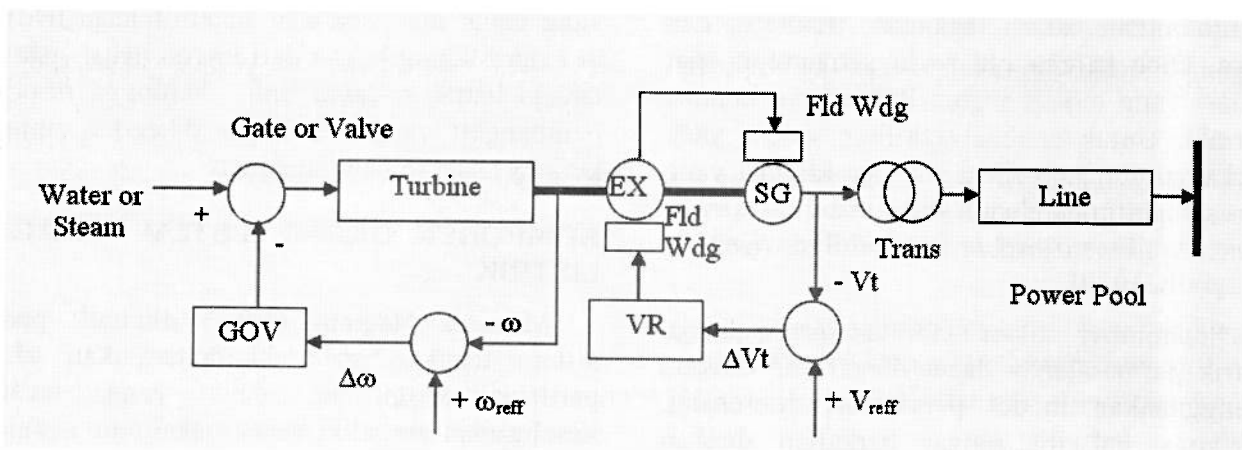
## MODEL GENERATOR

Padyar (1996) menyatakan bahwa untuk memahami dinamika sistem tenaga listrik, maka model sederhana generator sinkron kurang teliti untuk digunakan karena harus mempertimbangkan parameter-parameter yang turut berubah setiap saat. Oleh karena itu pada kajian dinamika sistem tenaga listrik perlu mempertimbangkan kumparan medan dan kumparan peredam. Selanjutnya menurut Yu (1983) jenis masalah pada dinamika sistem tenaga listrik mencakup tinggi/rendahnya osilasi frekuensi, besar/kecilnya gangguan dan besar/kecilnya sistem.

Untuk analisa generator sinkron pada dinamika sistem digunakan dua sumbu, yaitu  $d_{axis}$  dan  $q_{axis}$ . Sumbu  $d$  merupakan sumbu yang mewakili pengaruh kumparan medan dan sumbu  $q$  merupakan sumbu yang memiliki pengaruh kumparan redaman. Dengan demikian generator sinkron dimodelkan seperti pada gambar 2, dengan persamaan-persamaan pemodelan sebagai berikut:

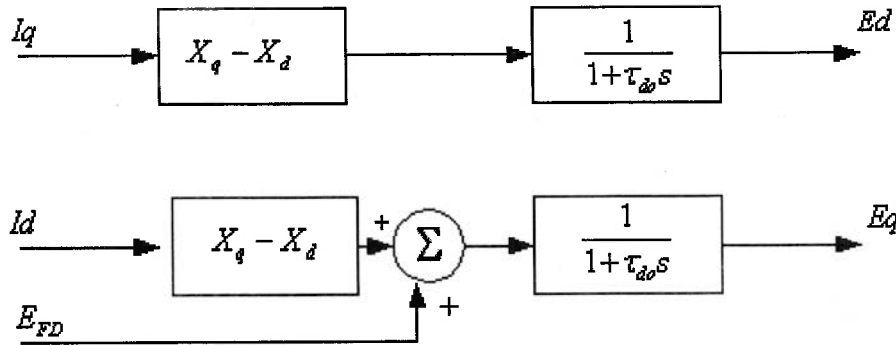
$$\tau'_{q0} \dot{E}'_d = -E'_d - (xq - xq')I_q \quad (1)$$

$$\tau'_{d0} \dot{E}'_q = E_{FD} - E'_q + (xq - xq')I_d \quad (2)$$

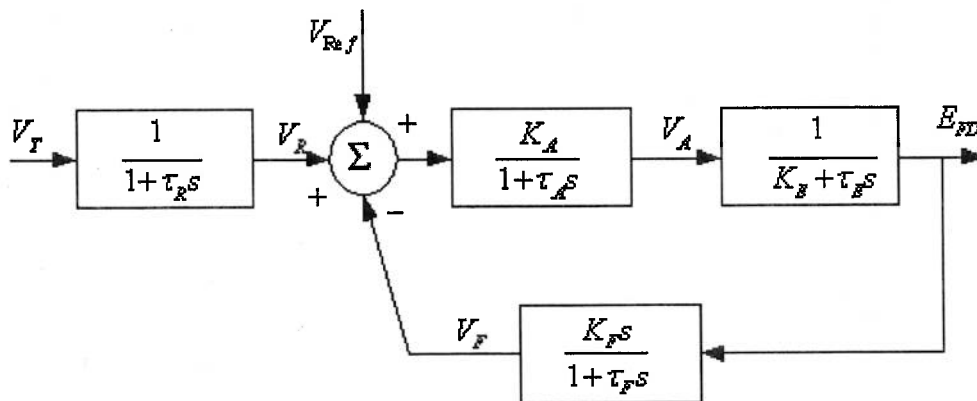


Gambar 1. Komponen sistem tenaga listrik





Gambar 2. Model generator



Gambar 3. Model eksitasi

### MODEL SISTEM EKSITASI

Padyar (1996) menyatakan tujuan utama sistem eksitasi adalah untuk mengontrol arus penguatan medan mesin sinkron. Pada generator, arus penguatan medan dikendalikan untuk mengatur tegangan keluaran generator. Umumnya sistem eksitasi disusun oleh beberapa komponen, yaitu: penyearah, regulator tegangan, komparator/penguat dan exciter. Sistem eksitasi suatu generator berdasarkan model IEEE type 1 ditunjukkan seperti pada gambar 3.

Dengan  $\tau_R$  = konstanta waktu input regulator,  $K_F$  = penguatan rangkaian penstabil regulator,  $\tau_F$  = konstanta waktu rangkaian penstabil regulator,  $K_A$  = penguatan regulator,  $E_{fd}$  = Tegangan medan,  $\tau_A$  = konstanta waktu regulator, maka memiliki model *state space* untuk linierisasi sebagai berikut:

$$\dot{V}_{R\Delta} = \frac{1}{\tau_R} V_{T\Delta} - \frac{1}{\tau_R} V_{R\Delta} \quad (3)$$

$$\dot{V}_{F\Delta} = \frac{K_F}{\tau_F} E_{fd\Delta} - \frac{1}{\tau_F} V_{F\Delta} \quad (4)$$

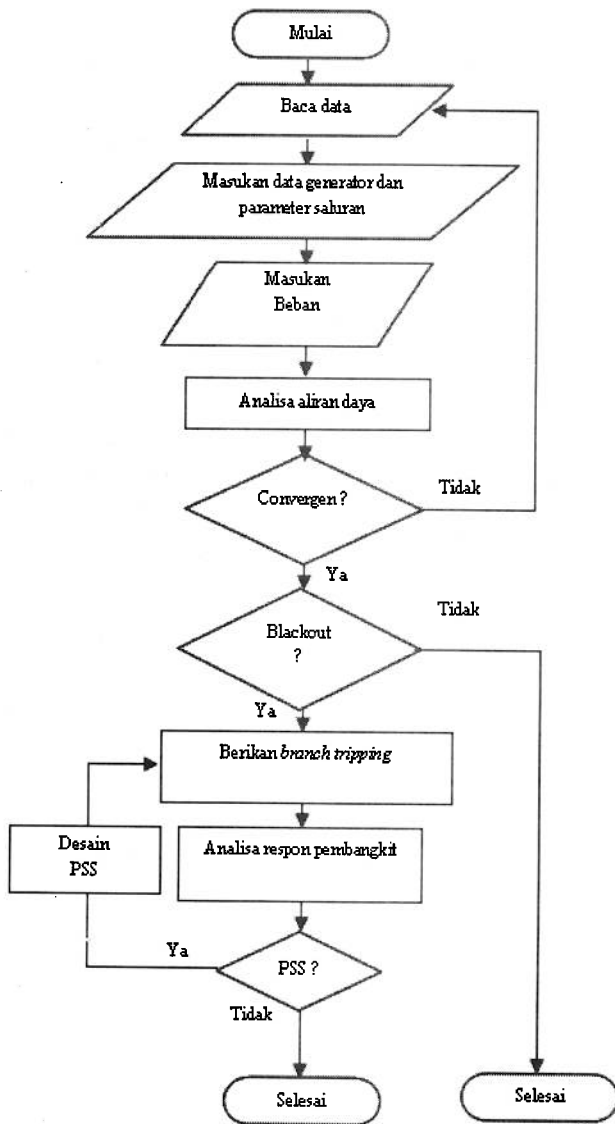
$$\dot{V}_{A\Delta} = \frac{K_A}{\tau_A} (V_{REF\Delta} - V_{F\Delta}) - \frac{1}{\tau_A} V_{A\Delta} \quad (5)$$

$$\dot{E}_{fd\Delta} = \frac{1}{\tau_E} V_{A\Delta} - \frac{K_E}{\tau_E} E_{fd\Delta} \quad (6)$$

### MODEL SISTEM PEMBANGKIT

Pengoperasian pembangkit dapat dipahami sebagai interaksi antara sistem *prime mover*, sistem eksitasi dan generator. *Prime mover* menghasilkan daya mekanik pada poros dan generator menghasilkan daya listrik. Menurut Gross (1986), turbin menghasilkan torsi mekanis yang searah dengan perputaran sudu turbin/poros dan torsi mekanis ini akan dilawan oleh torsi listrik. Dalam analisa dinamika yang berkaitan dengan osilasi frekuensi rendah, maka sistem pembangkit menurut Yu (1983) dapat dimodelkan seperti pada gambar 6. Model tersebut memiliki *state space* sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta e'_q \\ \Delta E_{FD} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{K_1}{M} & -\frac{K_2}{M} & 0 \\ \omega_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{K_4}{T_{do}} & -\frac{1}{T_{do} \cdot K_3} & \frac{1}{T_{do}} \\ 0 & -\frac{K_A \cdot K_5}{T_A} & -\frac{K_A \cdot K_6}{T_A} & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \\ \Delta e'_q \\ \Delta E_{FD} \end{bmatrix} \quad (7)$$



Gambar 4. Alur penelitian

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui respon tiap pembangkit bila terjadi gangguan yang menyebabkan kota Malang mengalami *blackout* atau pemadaman listrik total, sehingga diketahui kondisi osilasi atau stabil setiap pembangkit saat interkoneksi ke sistem Jawa Bali terlepas. Analisis dilakukan dengan memberi *branch tripping* pada sisi selatan di Kebon Agung, yaitu pada interkoneksi ke

Tulung Agung dan Blitar. Sedangkan pada sisi utara dibemberikan *branch tripping* di Lawang yang merupakan interkoneksi ke Pasuruan. Secara umum tahapan analisa seperti pada gambar 4, yaitu tersaji dalam urutan *flowchart*.

Untuk mendukung analisa stabilitas, maka data-data digunakan adalah data aliran daya untuk menentukan tegangan-tegangan setiap terminal dan besarnya daya yang dibangkitkan, data parameter-parameter generator sinkron untuk menentukan dinamika tanggapan, antara lain meliputi konstanta inersia H, konstanta sinkron/transien dan konstanta-konstanta waktu generator dan parameter-parameter sistem eksitasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Sistem di Malang Raya

Sistem tenaga listrik yang ditinjau adalah sistem tenaga listrik di Malang yang merupakan interkoneksi ke Region 4 melalui Pasuruan, sistem tenaga listrik tersebut juga berinterkoneksi dengan Tulung Agung melalui Blitar. Selain itu, sistem tenaga listrik di Region 4 mencakup interkoneksi antara Jawa Timur ke Madura dan Jawa Timur ke Bali, kedua interkoneksi itu melalui saluran kabel bawah laut 150 kV. Sistem tenaga listrik di Region 4 memiliki pembangkit yang tersambung ke sistem 500 kV pada sistem tenaga listrik di pulau Jawa, yaitu pembangkit di Paiton, Grati dan Gresik. Beban puncak di Region 4 digunakan sekitar 3.178,01 MW dan 1.163,441 Mvar, dengan rincian beban di Madura 109,11 MW dan 42,9 Mvar, beban di Bali 336,3 MW dan 118,8 Mvar, serta beban di Jawa Timur 2.732,6 MW dan 1.001,741 Mvar.

Sedangkan sistem tenaga listrik di kota Malang ditinjau pada sisi 150 kV, karena pada sistem tenaga listrik di Malang tidak memiliki sistem 500 kV, serta untuk sistem 70 kV dan tegangan rendah diintegrasikan ke sistem 150 kV dengan mempertimbangkan semua interkoneksi dan kompensasi setiap sistem dan beban yang ada. Sehingga seluruh beban di Malang pada titik sisi 150 kV terpusat di Lawang, Kebon Agung, Pakis, Sengkaling dan Wlingi.



Tabel 1. Pusat beban sistem tenaga listrik Malang Raya

No	Bus	Pusat Beban Puncak	
		MW	Mvar
1	Kebon Agung	115	60
2	Lawang	16,8	7
3	Pakis	30,5	16,9
4	Sengkaling	58,7	34,2
5	Sutami	0,5	0
6	Wlingi	58,9	38,5

Data impedansi saluran transmisi pada sistem tenaga listrik untuk setiap saluran antar daerah pusat beban di Malang ditunjukkan pada tabel 2.

### Aliran Daya

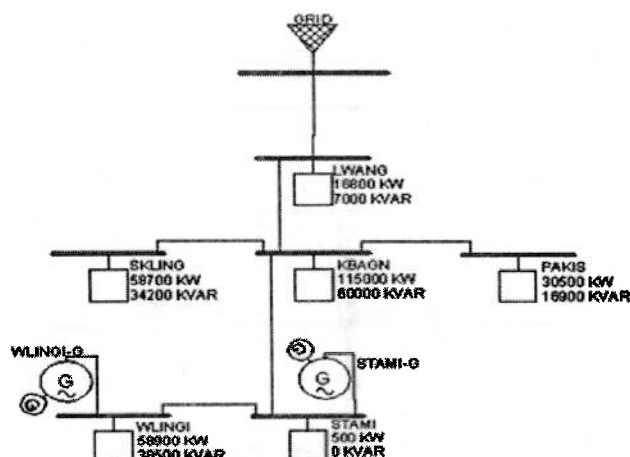
Aliran daya dianalisa menggunakan metode Newton Raphson, perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya aliran daya setiap saluran dan tegangan setiap bus pada sistem tenaga listrik di Malang. Hasil perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton Raphson ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Aliran daya sistem tenaga listrik di Malang

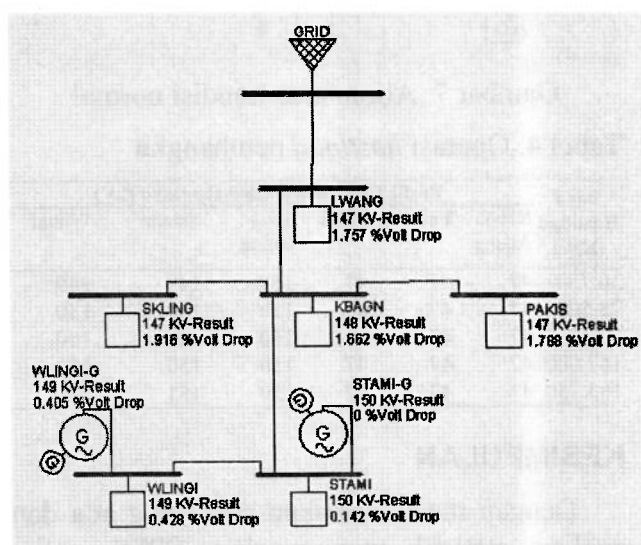
No	Lokasi		Kiriman Daya Dari		Rugi Daya	
	Dari	Ke	1 (MW)	2 (Mvar)	(KW)	(Kvar)
1	KBAGN	PAKIS	30,53	15,93	33,8	-967,1
2	KBAGN	STAMI	-221,17	-115,64	2.529,9	2.392,8
3	LWANG	KBAGN	-16,8	-7,0	12,2	-895,2
4	SKLING	KBAGN	-58,7	-34,2	122,3	-593,9
5	STAMI-G	STAMI	248,46	128,8	300,8	281,4
6	WLINGI	STAMI	-23,91	-11,91	58,3	-1.422,6
7	WLINGI-G	WLINGI	34,99	26,59	7,5	7,0

Tabel 2. Data impedansi saluran transmisi Malang Raya

No	Dari	Ke	Panjang (m)	Sir	Per KM		
					R (ohm)	X (ohm)	B/2 (pu)
1	KBAGN	PAKIS	12.900	2	0,04739	0,04429	0,0000230
2	KBAGN	STAMI	27.950	2	0,03168	0,04346	0,0000244
3	LWANG	KBAGN	25.805	2	0,03168	0,04346	0,0000210
4	SKLING	KBAGN	15.100	2	0,03819	0,04346	0,0000169
5	STAMI-G	STAMI	0	1	0,08642	0,08083	0
6	WLINGI	STAMI	21.600	1	0,08642	0,08083	0,0000330
7	WLINGI-G	WLINGI	0	1	0,08642	0,08083	0



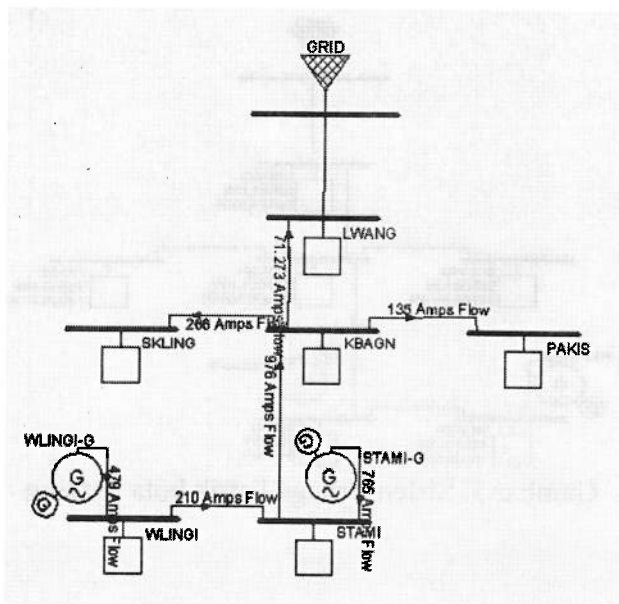
Gambar 5. Sistem tenaga listrik kota Malang



Gambar 6. Drop tegangan di kota Malang

### Operasi Hostload

Operasi *hostload* generator pembangkit akan memberikan gejala kontingensi yang sangat penting, hal ini untuk memastikan profil tegangan setiap pusat beban tetap berada pada batas sekuritas. Sehingga penyaluran daya listrik berjalan dengan jaminan kualitas yang baik. Kontingensi akibat *hostload* pada sistem 150 kV tercermin seperti pada tabel tabel 4.



Gambar 7. Aliran arus kondisi normal

Tabel 4. Operasi *hostload* pembangkit

Daya Hostload (KW)	Profil Tegangan Akibat Hostload (kV)					
	Kebon Agung	La-wang	Pakis	Seng-kaling	Sutami	Wlingi
36.750	47	47	47	150	149	149
73.500	47	47	47	150	150	150
110.250	47	47	47	150	150	150
147.000	47	47	47	150	150	150
183.750	47	47	47	150	151	151

## KESIMPULAN

Dengan memperhatikan data yang ada dan analisis statistik menggunakan SPSS, maka dapat disimpulkan:

1. Akibat adanya operasi *hostload* pembangkit terjadi perubahan tegangan pada setiap *bus*, tetapi *bus* terdekat dengan pembangkit mengalami perubahan tegangan yang besar, sedangkan pada *bus* yang jauh merasakan pengaruh operasi *hostload* yang sangat kecil.
2. Akibat adanya operasi *hostload*, maka perubahan terbesar terjadi pada *bus* Wlingi dan *bus* Sutami, yaitu  $\pm 1$  kV atau 1.000 volt.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gross, Charles A. (1986) *Power System Analysis*, John Wiley & Sons, Singapore.
- Kundur, P. (1994) *Power System Stability and Control*, McGraw Hill, New York.

Nagrath, I.J., Kothari, D.P. (1989) *Modern Power System Analysis*, Tata Mc Graw Hill, New Delhi.

Padyar, K.R. (1996) *Power System Dynamics-Stability and Control*, John Wiley & Sons, Singapore.

Stevenson, (1998) *Power System Analysis*, McGraw Hill, Singapore.

Sadaat, H. (1999) *Power System Analysis*, McGraw Hill, Singapore.

Yu, Yao Nan. (1983) *Electric Power System Dynamics*, Academic Press, New York.

# STUDI PENGGUNAAN MOTOR SERVO MAGNET PERMANEN TEGANGAN 480 V DC 1850 RPM PADA MESIN POTONG KERTAS KARTON

Alfian Junaidi

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Tridharma  
Jl. A. Wahab Syachranie No.7 Batu Ampar, Balikpapan 76126  
e-mail: alfianjunaidij@yahoo.co.id

## ABSTRACT

*Along with technology development, electrical motor become essential and un-separately part of production processes. Permanent Magnet DC Servo Motor is one of the motor types that often used in industry because of their superiority in speed control. This paper will discuss about permanent magnet DC servo motor that applied in the paper cutting machine. The motor's speed is controlled by changing the frequency of the supply. From the result of the testing, the motor has constant voltage, raising current, power and torque together along the speed raise. The torque increases between 0,56 Nm (in 102 rpm) to 1,43Nm (in 225 rpm).*

*Keyword: Permanent magnet DC Servo Motor.*

## PENDAHULUAN

Karena meningkatnya kemajuan teknologi pada saat ini, motor listrik menjadi bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam kegiatan produksi, khususnya di pabrik-pabrik. Ada suatu kebutuhan bahwa motor-motor tersebut dapat dikontrol dengan baik.

Motor servo magnet permanen merupakan salah satu jenis motor yang dapat dikontrol dengan mudah dan presisi tinggi. Umumnya motor jenis ini banyak digunakan dalam peralatan elektronik yang kecil, misalkan pada motor pemutar kaset video, penggerak robot dan lain sebagainya (Panjaitan, 1986).

Dalam makalah ini akan dibahas cara kerja, penggunaan dan karakteristik dari motor servo magnet permanen yang diaplikasikan pada mesin pemotongan karton yang digerakkan dengan kecepatan tinggi, dan menuntut kepresisian dalam proses pemotongan.

Dengan mengutamakan pengaturan berpresisi tinggi pada proses pemotongan karton akan dapat diperoleh hasil potongan karton dalam jumlah yang banyak dalam waktu relatif singkat, sehingga hal ini dapat memperbesar kapasitas produksi.

## LANDASAN TEORI

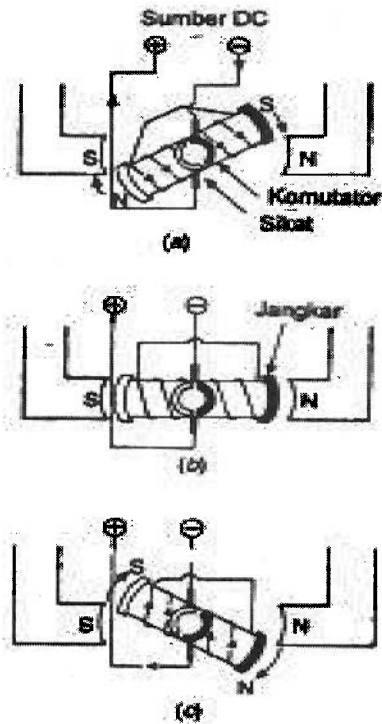
### Motor Servo Magnet Permanen

Motor servo pada dasarnya mempunyai konstruksi yang sama dengan konstruksi motor DC pada umumnya. Dalam motor DC konvensional sikat dan cincin belah merupakan suatu kerugian. Karena ada gesekan antara sikat dan cincin maka akan terjadi rugi gesek, timbulnya percikan api dan terkikisnya sikat arang maupun cincin. Maka mulai dipikirkan motor DC tanpa sikat atau disebut *Brushless DC Motor* yang dapat diwujudkan dengan menggunakan prinsip kerja motor induksi 3 fasa (tanpa sikat dan cincin). Dengan menambahkan komponen *permanent magnet, electronic inverter* (yang menimbulkan medan putar) dan *position control* (umumnya menggunakan sensor efek Hall), maka akan didapatkan *brushless DC motor*. Jadi disini rangkaian inverter dan *position control* berfungsi sebagai pengganti komutator mekanik (sikat & cincin belah) dalam membalik medan. *Brushless DC motor* ini mempunyai karakteristik yang mendekati motor DC konvensional (Abdul Kadir, 1991). Untuk mengerti cara kerja motor yang digunakan maka haruslah dimengerti terlebih dulu bagaimana prinsip kerja motor DC magnet

permanen, motor DC tanpa sikat dan medan putar.

### Motor DC Magnet Permanen

Motor DC magnet permanen adalah motor yang medan magnet utamanya berasal dari magnet permanen, dan kumparan medan elektromagnetik digunakan untuk medan jangkar (Anonim, 1999). Gambar 1 memperlihatkan operasi motor magnet permanen. Arus mengalir melalui kumparan jangkar dari sumber tegangan DC, menyebabkan jangkar berfungsi sebagai magnet. Kutub pada kumparan jangkar akan ditarik oleh kutub medan utama dari polaritas yang berbeda, sehingga jangkar berputar. Pada gambar 1a terlihat jangkar berputar searah dengan putaran jarum jam.



Gambar 1. Operasi Motor DC Magnet Permanen

Apabila kutub jangkar segaris dengan kutub medan, sikat-sikat ada pada celah di komutator sehingga tidak ada arus mengalir pada jangkar. Jadi, gaya tarik atau gaya tolak dari magnet akan berhenti, seperti tampak pada gambar 1b. Selanjutnya kelembaman membawa jangkar melewati titik netral. Komutator membalik arus jangkar ketika kutub yang tidak sama dari jangkar dan medan saling

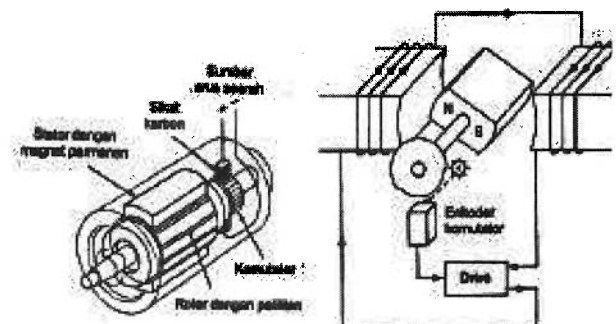
berhadapan satu sama lain, sehingga membalik polaritas medan jangkar. Kutub-kutub yang sama dari jangkar dan medan kemudian menjadi saling tolak menolak, sehingga jangkar berputar terus menerus seperti diperlihatkan pada gambar 1c.

Arah putaran dari motor DC magnet permanent ditentukan oleh arah arus yang mengalir pada jangkar. Pembalikan ujung-ujung jangkar tidak akan membalik arah putara. Salah satu keistimewaan dari motor DC magnet permanen ini adalah kecepatannya berbanding langsung dengan harga tegangan yang diberikan di jangkar. Semakin besar tegangan jangkar, semakin tinggi kecepatan motor (Anonim, 1999).

### Motor DC Tanpa Sikat Magnet Permanen

Pada gambar 2 digambarkan operasi motor DC tanpa sikat magnet permanen. Magnet permanen dipasang pada bagian yang berputar (rotor) dan kumparan dipasang pada stator. Tidak seperti pada motor DC dengan sikat, motor DC tanpa sikat tidak dapat beroperasi dengan menghubungkannya dengan sumber DC. Arus pada rangkaian stator harus dicatu pada posisi rotor yang ditentukan sehingga pada kenyataannya motor dijalankan dengan arus bolak-balik.

Kumparan medan stator diberi medan magnet berputar dari pemberian tegangan yang berurutan (Kenjo, 1991). Arus dicatu dengan enkoder komutasi dalam merespon sinyal dari sensor optik atau sensor efek Hall untuk menggantikan komutasi mekanik (Veinot, 1987) Dengan demikian dapat dihilangkan rugi-rugi gesek sikat dan komutator.



Gambar 2. Motor DC Magnet Permanen

Motor DC tanpa sikat magnet permanen banyak digunakan pada sistem servo dan robot. Motor tersebut mempunyai efisiensi tinggi, umur pemakaian lama, tingkat kebisingan suara rendah, dan pemakaian daya rendah.

Motor DC tanpa sikat bukanlah merupakan motor stepper. Motor ini mempunyai putaran yang halus dan kontinu seperti motor DC magnet permanen konvensional, dan tidak ada penahanan *fixed-steps* seperti pada motor stepper (Kenjo, 1991).

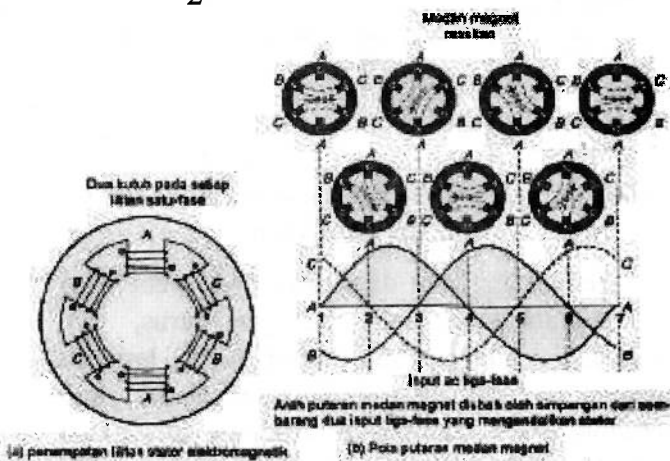
### Medan Magnet Putar

Jika terdapat tiga fasa atau tiga kumparan dengan pergeseran  $120^\circ$  dan diberi tegangan atau arus yang  $120^\circ$  bergeser terhadap waktu (3 fasa) maka fluks resultan akan ditimbulkan dan ini seolah-olah seperti ada kutub magnetis yang diputar secara mekanis (Kenjo, 1991; Panjaitan, 1986).

Pada gambar 3(b) kecepatan sinkron dapat dihitung sebagai berikut:

$$S = \frac{120f}{P} \quad (1)$$

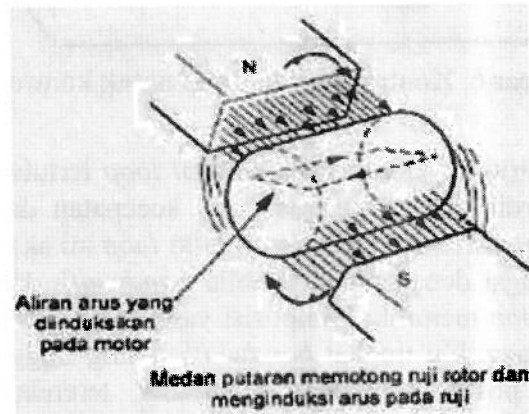
$$S = 120 \times \frac{60}{2} = 3600 \text{ rms}$$



Gambar 3. Pembangkitan medan-magnet putar

Motor arus bolak-balik diklasifikasikan sebagai motor dengan dasar prinsip pengoperasian sebagai motor induksi atau motor sinkron. Motor induksi AC adalah motor yang paling sering digunakan sebab motor ini relatif sederhana dan dapat dibuat lebih murah dibandingkan dengan yang lain. Motor induksi dapat dibuat baik untuk jenis tiga-fase maupun satu-fase, karena pada motor induksi tidak ada

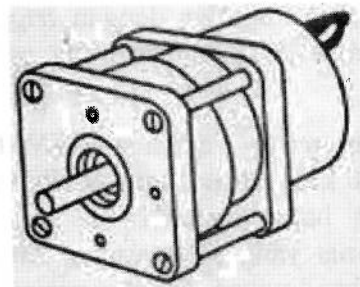
tegangan eksternal yang diberikan secara langsung pada rotornya. Sebagai penggantinya, arus AC pada stator menginduksikan tegangan lewat celah udara dan pada lilitan rotor untuk menghasilkan arus rotor dan medan magnet. Medan magnet stator dan rotor kemudian berinteraksi dan menyebabkan rotor menjadi berputar (Gambar 4) (Kenjo 1991; Petruzella, 1996).



Gambar 4. Arus Induksi Rotor

### Motor Servo DC Magnet Permanen

Motor servo DC magnet permanen (Gambar 5) digunakan pada mesin yang menghendaki posisi yang tepat dari obyek, yang memerlukan torsi konstan. Pemakaian lain meliputi pengoperasian katup bertekanan, penempatan cermat dari damper dan operasi khusus yang lain di berbagai aplikasi sistem kontrol (Kenjo, 1991).

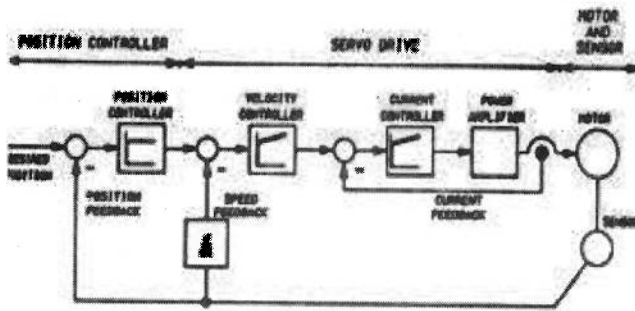


Gambar 5. Servomotor DC Magnet Permanen

### Kontrol Gerak Dengan Sistem Kontrol Loop Tertutup Menggunakan Motor Servo Magnet Permanen

Sesuai dengan fungsinya sebagai penggerak yang terkontrol motor servo DC magnet permanen dicatu dari *driver* elektronik yang berfungsi sebagai penyearah dan

pengontrol. Dalam pengontrolan motor servo umumnya digunakan sistem *loop* tertutup.



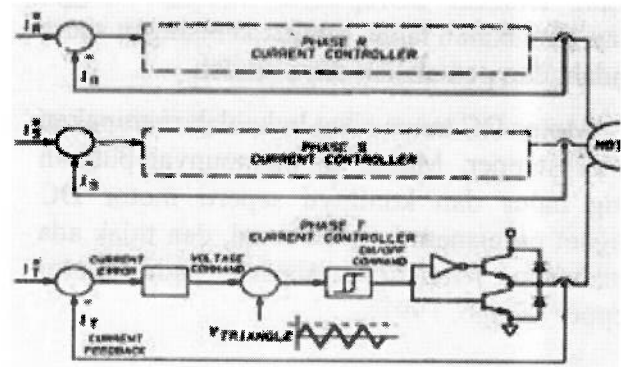
Gambar 6. Kontrol *loop* tertutup untuk kontrol gerak

Struktur umum pada *control loop* tertutup ini terdiri dari *loop* arus, *loop* kecepatan dan *loop* posisi. Struktur kontrol multi *loop* ini akan berfungsi dengan baik apabila *bandwidth* dari tiap *loop* memiliki komposisi yang tepat. *Loop* arus memiliki tingkat *bandwidth* paling tinggi, *loop* posisi memiliki *bandwidth* terendah. *Bandwidth* umum yang ada pada control ini -3 DB dan pergeseran fase sebesar  $-45^{\circ}$ . pada umumnya control arus menggunakan PWM Amplifier dan *control loop* tertutup dari arus pada tiap fhasanya.

Peralatan daya harus bertahan terhadap tegangan tinggi, arus tinggi dan memperlihatkan tingkat konduksi dan *losses* adalah transistor bipolar dan FET, tetapi saat ini telah ditemukan komponen baru yang disebut IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). Alat ini mengkombinasikan *output transistor bipolar* dengan *trigger* dari *gate* dan proses pemadaman yang cepat dari FET.

Pada umumnya frekuensi PWM berkisar antara 5 – 20 kHz. Sensor arus *feedback* sangat penting dan harus memberikan angka yang tepat dari arus yang sebenarnya. Sinyal arus *feedback* dibandingkan dengan perintah yang diberikan saat itu, akan menghasilkan sinyal *error* dari arus. *Error* yang terjadi diproses oleh regulator untuk menghasilkan perintah terhadap tegangan motor. Sinyal tegangan dibandingkan dengan gelombang segitiga untuk menghasilkan sinyal PWM yang memerintahkan komponen daya untuk menghidupkan dan mematikan sistem. Teknik

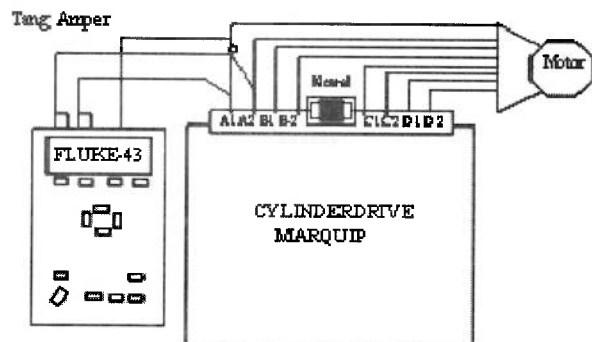
PWM banyak digunakan pada konversi daya DC ke AC (Veinot, 1987).



Gambar 7. *Loop* arus 3 fase untuk PWM power amplifier

## METODE PENELITIAN

Pada mesin potong karton terdapat dua buah motor servo magnet permanen, yaitu motor *upper* dan motor *lower*. Pada saat proses pemotongan karton hanya digunakan salah satu motor servo.



Gambar 8. Rangkaian pengujian motor servo magnet permanen

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengukur tegangan, arus, dan frekuensi pada putaran motor servo tertentu dengan menggunakan rangkaian seperti yang terdapat pada Gambar 8. Adapun spesifikasi motor servo magnet permanen yang diuji tertera pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi motor servo magnet permanen

Spesifikasi	Nilai
Tegangan	480 V
Arus	30 A
Putaran	180 RPM
Faktor Daya	1.0
Temperatur maks.	550C
Berat	116 kg



## HASIL PENELITIAN

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil seperti yang terdapat pada Tabel 2, 3, dan 4.

Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan terhadap Putaran

N (rpm)	Tegangan			
	A1 - A2	B1 - B2	C1 - C2	D1 - D2
102	306.7	237.5	240.9	275
134	295.3	233.4	265.3	276.6
159	275.3	249.3	273.2	278.9
185	310.7	225.1	248.8	280.1
229	297.1	295.9	302.8	346
225	271.3	227.1	245.4	333.2

Tabel 3. Hasil pengukuran arus terhadap Putaran

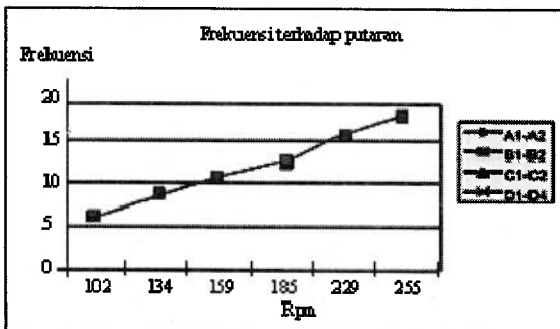
N (rpm)	Arus			
	A1 - A2	B1 - B2	C1 - C2	D1 - D2
102	2.26	5.00	1.87	1.77
134	2.54	1.87	3.05	4.06
159	5.13	4.14	4.37	2.39
185	8.35	8.90	6.42	2.84
229	5.10	10.38	10.55	8.74
225	1.09	9.10	11.43	10.68

Tabel 4. Hasil pengukuran frekuensi terhadap Putaran

N (rpm)	Frekuensi			
	A1 - A2	B1 - B2	C1 - C2	D1 - D2
102	6.8	6.8	6.8	6.8
134	8.933	8.933	8.933	8.933
159	10.6	10.6	10.6	10.6
185	12.33	12.33	12.33	12.33
229	15.27	15.27	15.27	15.27
225	17	17	17	17

## PEMBAHASAN

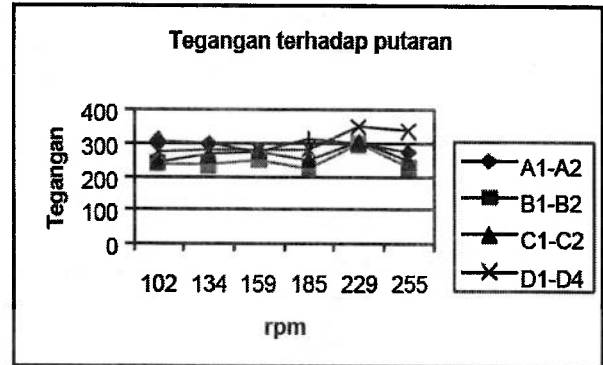
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh beberapa grafik yang disajikan pada Gambar 9 hingga Gambar 19.



Gambar 9. Grafik frekuensi terhadap putaran

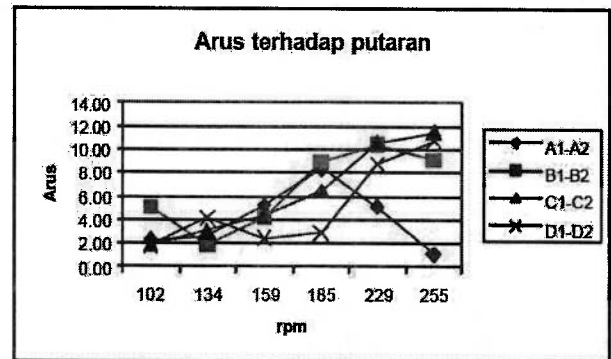
Pengaturan putaran motor diatur dengan mengubah frekuensi sumber, maka pada grafik frekuensi (f) terhadap putaran pada gambar 9 dapat dilihat bahwa hubungan kenaikan frekuensi terhadap putaran cukup linier.

Terlihat frekuensi naik bersamaan pada keempat kumparan dengan jarak antara masing-masing kumparan berhimpit. Frekuensi pada tiap kumparan juga mengalamikenaikan, sejak dari putaran 102 rpm hingga 255 rpm frekuensi terus naik.

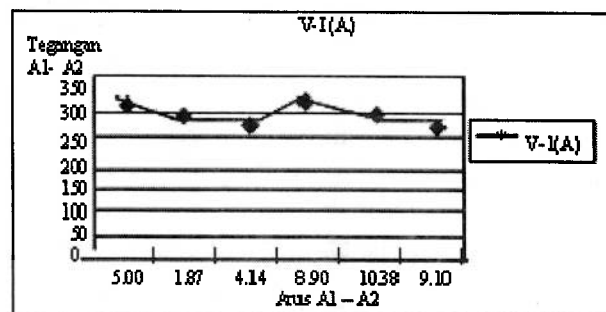


Gambar 10. Grafik tegangan terhadap putaran

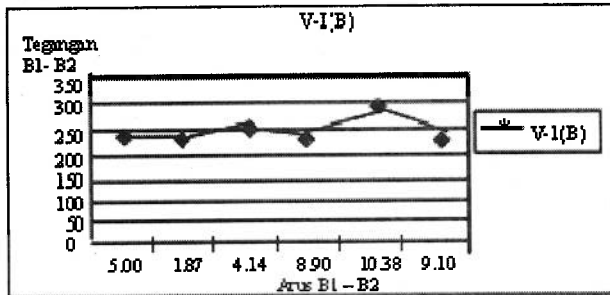
Dari grafik tegangan (V) terhadap n (putaran) pada gambar 10 terlihat bahwa tegangan antara masing-masing kumparan hamper berdekatan atau berhimpit dan cenderung konstan. Pada tiap kumparan di putaran 102 rpm hingga 255 rpm, terlihat tegangannya konstan berada pada kisaran 225 V hingga 350 V.



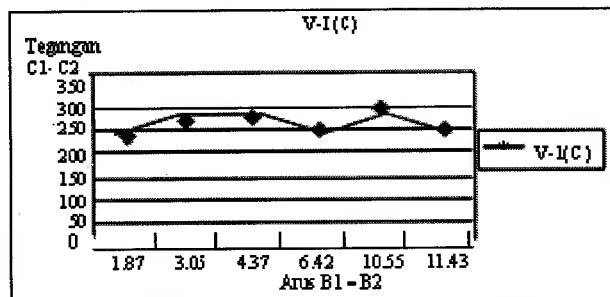
Gambar 11. Grafik arus terhadap putaran



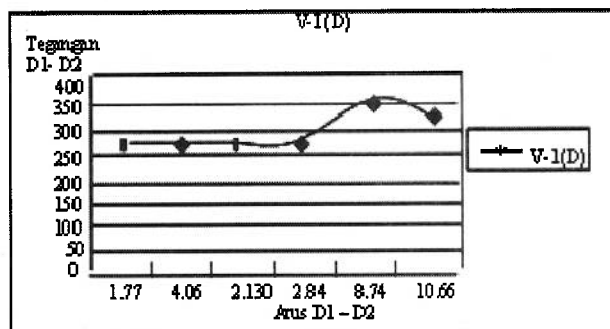
Gambar 12. Grafik tegangan A1-A2 terhadap arus A1-A2



Gambar 13. Grafik tegangan B1-B2 terhadap arus B1-B2



Gambar 14. Grafik tegangan C1-C2 terhadap arus C1-C2

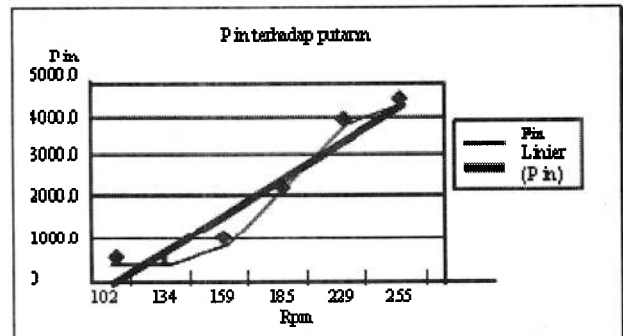


Gambar 15. Grafik tegangan D1-D2 terhadap arus D1-D2

Sedangkan dari grafik arus (I) terhadap n (putaran) pada gambar 11 terlihat bahwa Arusantara masing-masing kumparan hamper berdekatan atau berhimpit. Hanya pada A1 - A2 arus terlihat turun, dan yang lain cenderung naik (kurang lebih 12A), hanya pada kumparan A mengalami penurunan arus setelah mencapai putaran 185 rpm.

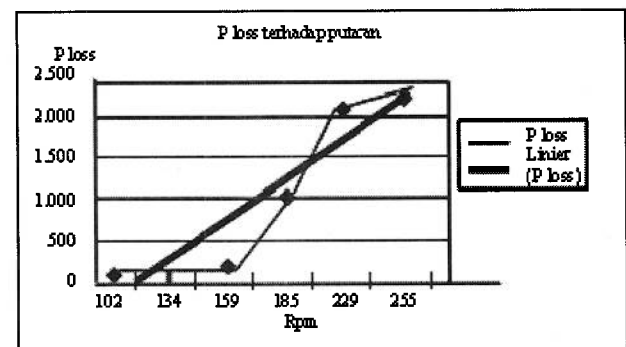
Dari grafik V terhadap IA, IB, IC, dan ID pada Gambar 12 sampai Gambar 15 terlihat bahwa tegangan konstan. Pada grafik tegangan terhadap arus tampak bahwa tegangan untuk tiap kumparan konstan diantara 250 V -350 V.

Jadi secara umum dapat dikatakan tegangan relatif konstan pada kenaikan putaran. Sedangkan arus meningkat seiring dengan kenaikan putaran.

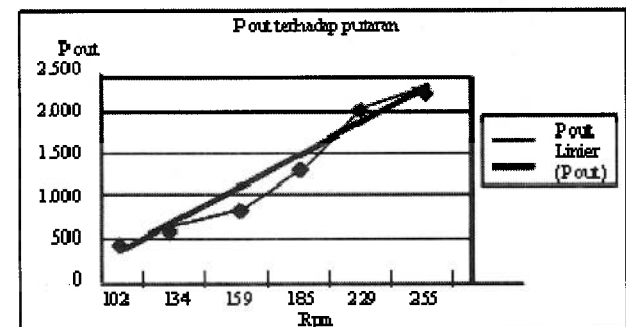


Gambar 16. Grafik daya input terhadap putaran

Dari data pengukuran dapat dihitung daya input (Pin), daya output (Pout), rugi-rugi daya (Ploss), dan Torsi (T) lalu digambarkan grafiknya terhadap fungsi putaran. Grafik P input terhadap n (putaran) pada gambar 16 terlihat bahwa garis tren linier dan naik dengan faktor korelasi = 0,9751.



Gambar 17. Grafik rugi-rugi daya terhadap putaran

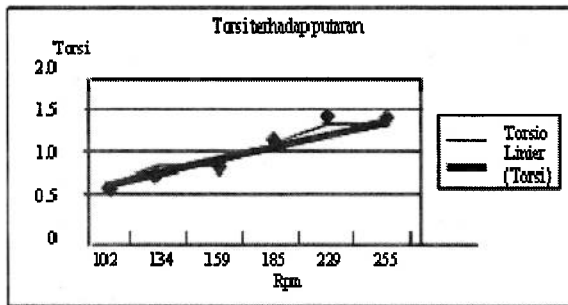


Gambar 18. Grafik daya input terhadap putaran

Sedangkan dari grafik Ploss terhadap n (putaran) pada gambar 17 terlihat bahwa trendline linier dan naik. Correlation = 0,963. Dari grafik Daya Nyata (P) output terhadap n (putaran) pada gambar 18 terlihat bahwa garis trend terlihat naik dengan faktor korelasi = 0,985.

Dari grafik Torsi terhadap n (putaran) pada gambar 19 terlihat bahwa garis tren naik dan berfluktuasi sedikit dengan faktor korelasi =

0,972 Torsi yang dihasilkan dari putaran 102 rpm hingga 255 rpm terus naik, hanya sedikit berfluktuasi pada putaran 159 rpm dan 229 rpm. Didapat juga nilai torsi terendah sebesar 0,56 Nm pada putaran 102 rpm dan torsi tertinggi sebesar 1,43 Nm pada putaran 255 rpm.



Gambar 19. Grafik torsi terhadap putaran

Secara umum dapat dilihat bahwa P in, P loss dan P out, terus naik dari putaran 102 rpm hingga 255 rpm.

## KESIMPULAN

1. Dari karakteristik tegangan terhadap putaran didapat bahwa tegangan relatif konstan di 225-230 V.
2. Secara umum arus naik seiring dengan kenaikan kecepatan hingga mencapai sekitar 12 A.
3. Daya input, daya losses dan Torsi meningkat secara linier seiring dengan kenaikan kecepatan. Torsi mencapai 1,43 Nm pada putaran 255 rpm
4. Grafik arus terhadap tegangan di tiap kumparan relatif konstan disekitar 250-350 V.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1999) *Handbook Electro-craft Servo System*, Electro-Craft Limited, Minnesota.
- Abdul Kadir. (1991) *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, LP3ES. Jakarta.
- Kenjo, Tak. (1991) *Electric Motor and Their Controls: An Introduction*, Oxford University Press, Oxford.
- Petruzulla, Frank D. (1996) *Industrial Electronics*, diterjemahkan oleh Drs. Sumantpo, MA. Andi Offset, Yogyakarta.

Panjaitan, R. (1986) *Mesin Arus Bolak Balik*, Erlangga, Jakarta.

Theraja, B.L. (1984) *Text Book of Electrical Technology*, Publication Division of Nirja Construction & Development, New Delhi.

Veinot, Cyril G., Martin, Joseph E. Martin. (1987) *Eractional and Subfractional Horse Power Electric Motors*, University Graphics, Caledonia.



## ONTOLOGY SISTEM E-LEARNING BERBASIS SEMANTIK WEB

Bernard Renaldy Suteja<sup>1)</sup>, Suryo Guritno<sup>2)</sup>, Retantyo Wardoyo<sup>3)</sup>, Ahmad Ashari<sup>4)</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi UK. Maranatha

<sup>2</sup>Ilmu Komputer Universitas Gadjah Mada

<sup>3</sup>Ilmu Komputer Universitas Gadjah Mada

<sup>4</sup>Elektronika dan Instrumentasi Universitas Gadjah Mada

e-mail: <sup>1</sup>bernardjogja@gmail.com, <sup>2</sup>suryoguritno@ugm.ac.id, <sup>3</sup>rw@ugm.ac.id, <sup>4</sup>ashari@ugm.ac.id

### ABSTRACT

*E-Learning content being a barrier for E-Learning is no longer true on today's Internet. The current concerns are how to effectively annotate and organize available content (both textual and non-textual) to facilitate effective sharing, reusability and customization. In this paper, we explain a component-oriented approach to organize content in an ontology. We also illustrate our 3-Tier E-Learning Content Management Architecture and relevant Interfaces. We use a simple yet intuitive example to successfully demonstrate the current working prototype which is capable of compiling personalized course materials. The system e-Learning prototype uses the ontology.*

*Keywords: e-Learning, Ontology, Semantic Web*

### LATAR BELAKANG

Perkembangan internet dan *e-learning* dengan aplikasi dan *tools* baru yang menyertainya, secara cepat telah mengubah bentuk atau cara pembelajaran yang lama. Pada masa lalu secara sederhana kita mendistribusikan content *e-learning* ke WWW dengan gaya semi terstruktur (dalam bentuk dokumen HTML dengan banyak *link* ke dokumen-dokumen lain). Sehingga prinsipnya bahwa *content* tersedia dan dapat diakses secara *online*.

Namun kenyataannya dalam memperoleh *content* yang sesuai (dibutuhkan) banyak menjumpai permasalahan yang disebabkan karena terbatasnya pemberian *keyword* pada *content* tersebut. Hal ini makin bertambah sulit ketika tidak dijumpainya meta data secara eksplisit dan informasi yang berkaitan dengan aspek pedagogik dari *content* (ketergantungan *content*). Dengan demikian hanya yang ahli yang dapat menemukan *content* yang sesuai atau untuk mengorganisasikannya kedalam bentuk *heterogen content* yang masuk akal.

Dengan munculnya teknologi semantik web, pada *e-learning content* dapat ditambahkan meta data (termasuk didalamnya atribut-atribut pedagogik) dan kemudian diatur/diorganisasikan ke dalam *ontology*

sehingga dimungkinkan memudahkan penyebaran, penemuan, dan penggunaan *content* dengan cara yang lebih baik. Dengan cara ini tidak hanya manusia yang dengan mudah menemukan dan mengatur *content* yang diperlukan namun juga agen cerdas. Agen cerdas yang ada pada aplikasi akan menemukan dan mengelola *content* dari sumber *content* yang heterogen kemudian mengkombinasikan menjadi *customized courseware* dengan kriteria spesifik dan aturan-aturan lainnya. *Customized courseware* ini mengacu pada sekumpulan *content* (bersumber dari *heterogen content*) yang mana *content-content* saling terkait dan aturan pedagogik tetap terjaga.

Pada tulisan ini, akan dibahas bagaimana arsitektur *3-tier e-Learning* dapat dikembangkan untuk mendukung terciptanya *OntoEdu* yang merupakan inti penerapan *web semantic* pada *e-learning*.

### LANDASAN TEORI

#### *E-Learning* dan *Content*

*Electronic learning* atau *e-learning* adalah proses pembelajaran mandiri yang difasilitasi dan didukung melalui pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi (Wouku, 2003). Dari beberapa sistem *e-learning* yang

dikembangkan hingga saat ini, secara umum dapat dibagi berdasarkan sifat interaktivitasnya menjadi 2 (dua) kelompok:

- *E-learning* yang bersifat statis.  
Pengguna sistem ini hanya dapat mengunduh bahan-bahan (*content*) belajar yang diperlukan. Sedangkan dari sisi administrator, ia hanya dapat mengunggah *file-file* materi. Pada sistem ini memang suasana belajar yang sebenarnya tak dapat dihadirkan, misalnya jalinan komunikasi. Sistem ini cukup berguna bagi mereka yang mampu belajar otodidak dari sumber-sumber bacaan yang disediakan dalam sistem ini, baik yang berformat HTML, PowerPoint, PDF, maupun yang berupa video. Walaupun digunakan, sistem ini berfungsi untuk menunjang aktivitas belajar-mengajar yang dilakukan secara tatap muka di kelas.
- *E-learning* yang bersifat dinamis.  
Fasilitas yang ada pada sistem ini lebih bervariasi dari apa yang ditawarkan sistem pertama. Pada sistem kedua ini, fasilitas seperti forum diskusi, *chatting*, *e-mail*, alat bantu evaluasi pembelajaran, manajemen pengguna, serta manajemen materi elektronik sudah tersedia. Sehingga pengguna (siswa) mampu belajar dalam lingkungan belajar yang tidak jauh berbeda dengan suasana kelas. Sistem kedua ini dapat digunakan untuk membantu proses transformasi paradigma pembelajaran dari *teacher-centered* menuju *student-centered*. Bukan lagi pengajar yang aktif memberikan materi atau meminta siswa bertanya mengenai sesuatu yang belum dipahami, tetapi disini siswa dilatih untuk belajar secara kritis dan aktif. Sistem e-learning yang dikembangkan dapat menggunakan pendekatan metode belajar kolaboratif (*collaborative learning*) maupun belajar dari proses memecahkan problem yang disodorkan (*problem-based learning*).

Berhubungan dengan kondisi pembelajaran dan fasilitas apa yang sesuai, dapat dilihat pada tabel berikut ini yang diadopsi dari Distance Learning and Sun Microsystems (Snae dan Brueckner, 2007).

Tabel 1. Perbandingan *distance learning* menurut Sun Microsystems

	Same Time (Synchronous) (Waktu yang sama)	Different Time (Asynchronous) (Waktu yang berbeda)
Same Place (Tempat yang sama)	Classroom	Learning Center Laboratory Library
Different Place (Tempat yang berbeda)	Audioconferencing Videoconferencing Satellite delivery Chatting Room Instructor-led (Synchronous Learning Systems) Synchronous Streaming	WWW E-Learning Systems Video tape/audio tape CD-ROM Archived Streamed Video Email/Listserv

*E-learning content* adalah sumber daya digital apapun yang digunakan untuk mendukung proses pembelajaran. *E-learning content* dapat dikategorikan menjadi dua bagian:

- *textual* meliputi text based content seperti plain-text dan PDF
- *non-textual* meliputi *multimedia content* seperti audio, visual, dan animasi

*Textual content* secara mudah dapat ditemukan melalui *search engine* (seperti Google atau Yahoo) dengan memberikan kata kuncinya, hanya orang yang sudah ahli dapat menemukan *content* yang dibutuhkan dari hasil *content* yang sudah ditemukan kemudian dikombinasikan. Lain halnya dengan *non-textual*, masih sulit untuk menemukannya walaupun sudah menggunakan *search engine*.

### Standarisasi E-Learning

Terdapat standarisasi *e-learning* yang harus digunakan sebagai acuan pengembangan sistem, seperti yang diterangkan berikut ini.

#### LTSC

Diciptakan oleh Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) yang telah membentuk banyak standar teknologi untuk bidang elektrik, teknologi informasi, dan ilmu pengetahuan. Tujuan dari LTSC ini adalah untuk membentuk akreditasi standar teknis, memberikan rekomendasi pelatihan, dan menjadi acuan dalam teknologi pembelajaran.

#### IMS

Merupakan organisasi yang penting dalam komunitas *e-learning* berupa konsorsium antara akademisi, perusahaan dan pemerintah untuk membangun dan mendukung *open*



spesification untuk distribusi *e-learning* dan pengembangan *content* dan pertukaran siswa antara sistem yang berbeda.

### ADL

Membuat Shareable Courseware Object Reference Model (SCORM). SCORM merupakan sebuah spesifikasi standar untuk *reusability* dan *interoperability* dari *content* pembelajaran (Jekjantuk dan Hasan, 2007).

SCORM fokus pada dua aspek terpenting pada *interoperability* dari *content* pembelajaran:

- Mendefinisikan secara agregat model untuk mengemas *content* pembelajaran.
- Mendefinisikan API yang dapat digunakan untuk komunikasi antara *content*

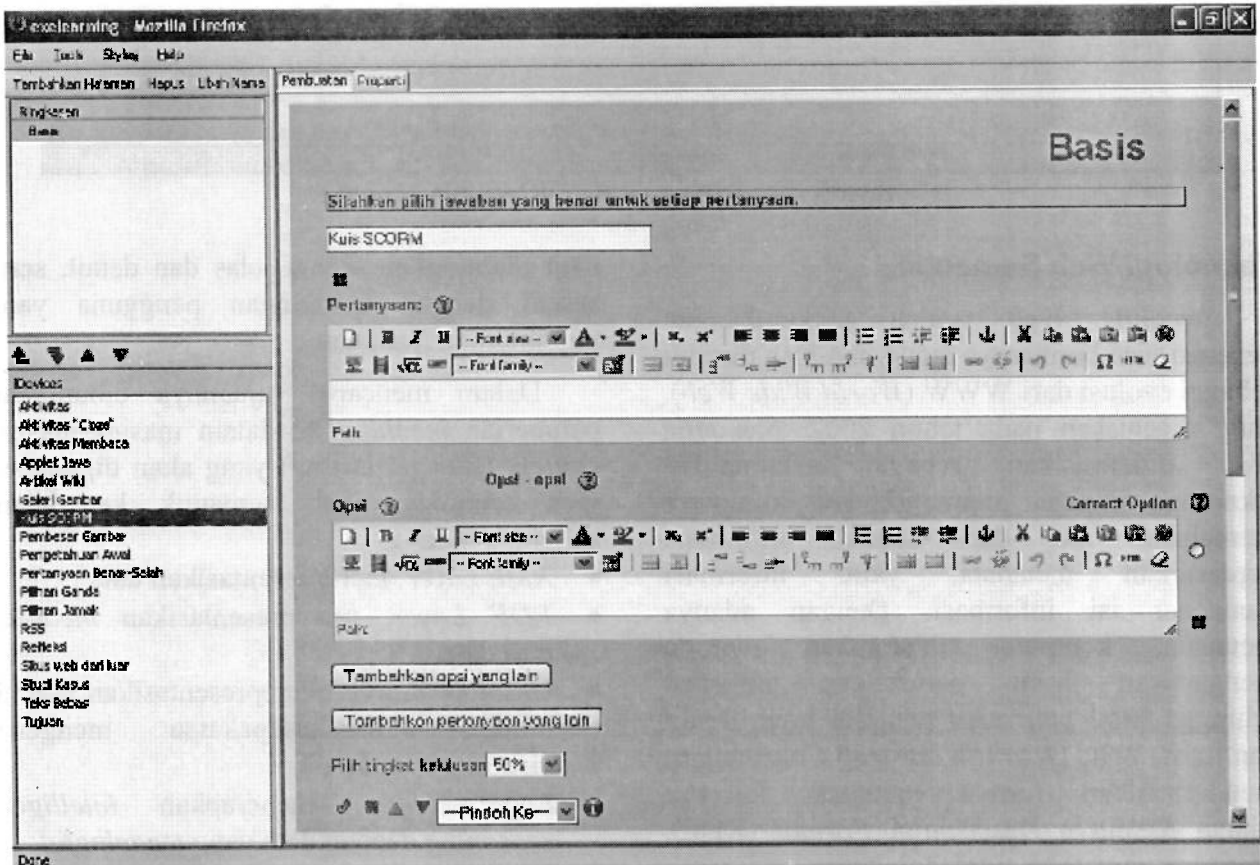
pembelajaran dengan sistem yang digunakan.

SCORM juga membagi teknologi pembelajaran berdasarkan *functional component*:

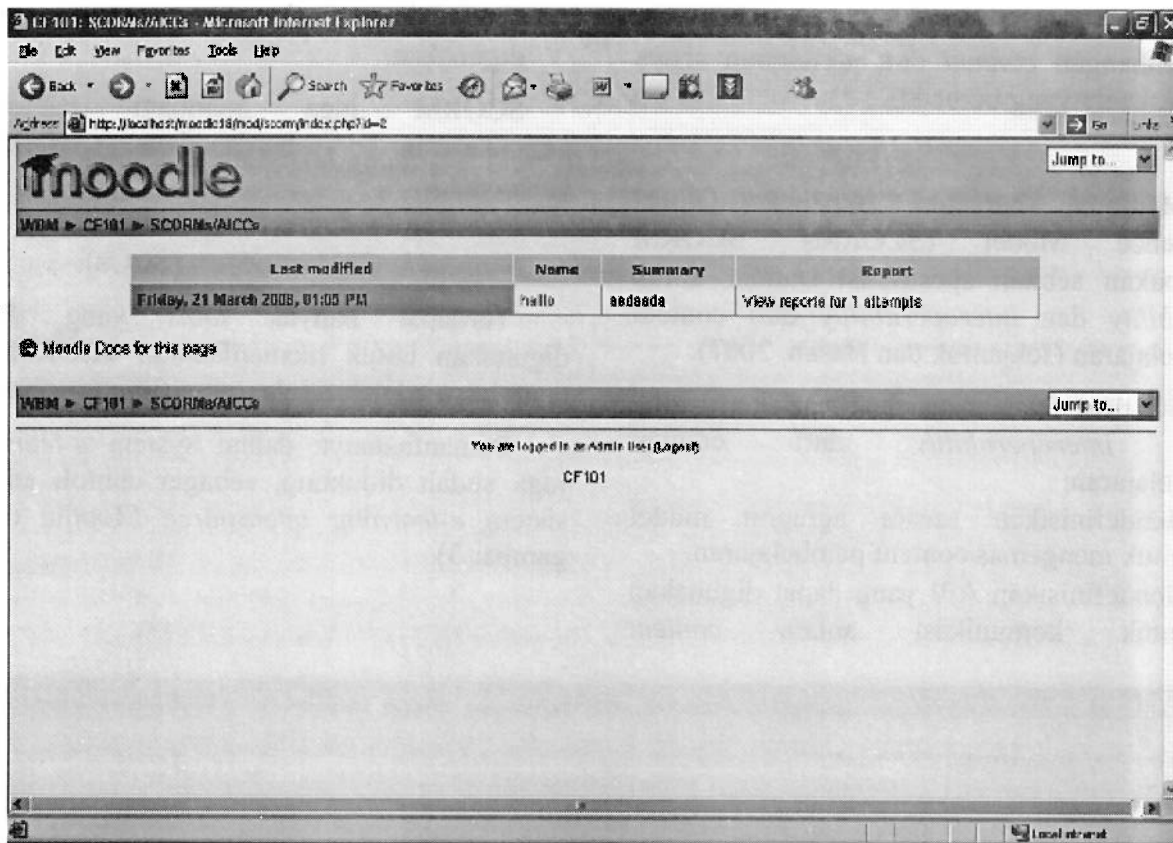
- *Learning Management Systems* (LMS).
- *Shareable Content Object* (SCOs).

Terdapat banyak *tools* yang dapat digunakan untuk memanfaatkan SCORM ini contohnya adalah eXelearning (lihat gambar 2).

Pemanfaatannya dalam system *e-learning* juga sudah didukung, sebagai contoh adalah sistem *e-learning opensource* Moodle (lihat gambar 3).



Gambar 2. Penggunaan SCORM pada eXelearning



Gambar 3. Implementasi SCORM pada Moodle

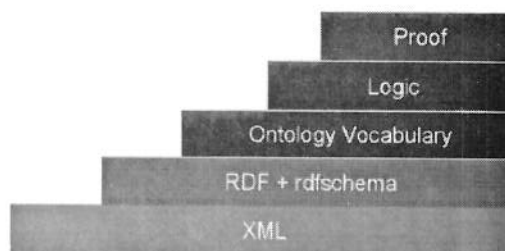
### Teknologi Web Semantic

*Semantic Web* adalah perkembangan generasi *web* berikutnya atau yang bisa disebut sebagai evolusi dari WWW (*World Wide Web*), yang dicetuskan pada tahun 2002. *Semantic Web* didefinisikan sebagai sekumpulan teknologi, dimana memungkinkan komputer memahami arti dari sebuah informasi berdasarkan metadata, yaitu informasi mengenai isi informasi. Dengan adanya metadata, komputer diharapkan mampu mengartikan hasil pemasukan informasi sehingga hasil pencarian menjadi lebih detail dan tepat. W3C (*World Wide Web Consortium*) mendefinisikan format metadata tersebut adalah *Resource Description Format* (RDF). Tiap unit dari RDF adalah 3 komposisi, yaitu *subject*, *predicate*, dan *object*. *Subject* dan *object* adalah entitas yang ditunjukkan oleh teks. Sedangkan *predicate* adalah komposisi yang menerangkan sudut pandang dari *subject* yang dijelaskan *object*. Hal yang paling menarik dari RDF yaitu *object* dapat menjadi *subject* yang nantinya diterangkan oleh *object* yang lainnya. Sehingga *object* atau masukan

dapt diterangkan secara jelas dan detail, serta sesuai dengan keinginan pengguna yang memberikan masukan.

Dalam mencapai tujuannya dibutuhkan pemberian *meaning* ke dalam masing-masing *content* (sebagai atribut) yang akan digunakan oleh teknologi web semantik ke dalam beberapa *layer* :

- *XML Layer*, merepresentasikan data
- *RDF Layer*, merepresentasikan *meaning* dari data
- *Ontology Layer*, merepresentasikan bentuk umum aturan/kesepakatan mengenai *meaning* dari data
- *Logic Layer*, menerapkan *intelligent reasoning* dengan data yang *meaningful*.



Gambar 4. Layer Web Semantik

Teknologi web semantik dapat digunakan untuk membangun sistem dengan mengumpulkan *content e-Learning* dari sumber yang berbeda untuk kemudian di proses, dikelola dan di-*share* untuk pengguna atau *artificial agent* dengan menggunakan *ontology*. Terdapat tiga teknologi penting yang terlibat dalam penggunaan web semantik yaitu: eXtensible Markup Language (XML), Resource Description Framework (RDF), dan Ontology Web Language (OWL).

## Ontology Web

Pengertian tentang *ontology* memiliki banyak pengertian seperti yang dijelaskan pada berbagai sumber, termasuk yang dikemukakan oleh beberapa ilmuwan. Neches dan rekannya memberikan definisi awal tentang *ontology* yaitu "Sebuah *ontology* merupakan definisi dari pengertian dasar dan relasi vokabulari dari sebuah area sebagaimana aturan dari kombinasi istilah dan relasi untuk mendefinisikan vakabulari".

Gruber mendefinisikan yang sering digunakan oleh beberapa orang, definisi tersebut adalah "Ontology merupakan sebuah spesifikasi eksplisit dari konseptualisme". Sedangkan Barnaras pada proyek KACTUS memberikan definisi *ontology* yang berdasarkan pada pengembangan *ontology*. Definisi yang diberikan adalah : "Sebuah *ontology* memberikan pengertian untuk penjelasan secara eksplisit dari konsep terhadap representasi pengetahuan pada sebuah *knowledge base*" (Wicaksana, 2006).

Ada buku yang memberikan definisi tentang *Ontology*, salah satunya adalah "The Semantic Web", definisi dari *Ontology* adalah:

1. Salah satu cabang metafisika yang terfokus pada alam dan hubungan antara makhluk hidup;
2. Teori tentang sifat alami makhluk hidup.

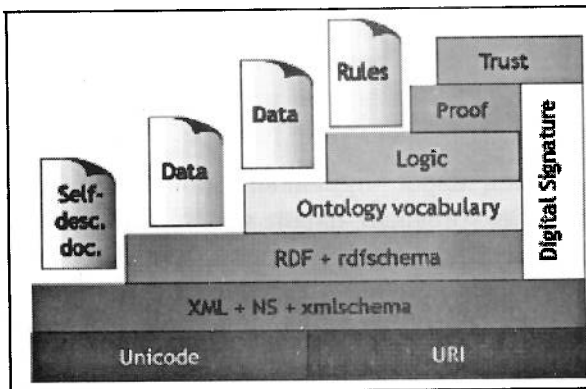
*Ontology* merupakan suatu teori tentang makna dari suatu obyek, *property* dari suatu obyek, serta relasi objek tersebut yang mungkin terjadi pada suatu domain pengetahuan. Pada tinjauan filsafat, *ontology* adalah studi tentang sesuatu yang ada. Selain itu *ontology* adalah sebuah konsep yang secara

sistematik menjelaskan tentang segala sesuatu yang ada atau nyata. Dalam bidang *Artificial Intelligence* (AI) *ontology* memiliki dua pengertian yang berkaitan. Pertama *ontology* merupakan kosakata representasi yang sering dikhususkan untuk domain atau subyek pembahasan tertentu. Kedua, sebagai suatu *body of knowledge* untuk menjelaskan suatu bahasan tertentu. Secara umum, *ontology* digunakan pada AI dan representasi pengetahuan. Segala bidang ilmu yang ada di dunia, dapat menggunakan metode *ontology* untuk dapat berhubungan dan saling berkomunikasi dalam hal pertukaran informasi antara sistem-sistem yang berbeda.

Untuk dapat digunakan, sebuah *ontology* harus diekspresikan dalam notasi yang nyata. Sebuah bahasa *ontology* adalah sebuah bahasa formal dari sebuah pembuatan *ontology*. Beberapa komponen yang menjadi struktur *ontology*, antara lain:

- XML  
Menyediakan sintaks untuk output dokumen terstruktur, tetapi belum dipaksakan untuk dokumen XML menggunakan *semantic constrains*.
- XML Schema  
Bahasa untuk pembatasan struktur dari dokumen XML.
- RDF  
Model data untuk objek (*resources*) dan relasi diantaranya, menyediakan *semantic* yang sederhana untuk model data tersebut, dan data model ini dapat disajikan dalam sintaks XML.
- RDF Schema  
Adalah kosa kata untuk menjelaskan *properties* dan *classes* dari sumber RDF, dengan sebuah *semantics* untuk hirarki penyamarataan dari *properties* dan *classes*.
- OWL  
Menambahkan beberapa kosa kata untuk menjelaskan *properties* dan *Classes*, antara lain: relasi antara *classes* (misalkan *disjointness*), kardinalitas (misalkan 'tepat satu'), *equality*, berbagai tipe dari *properties*, karakteristik dari *properties* (misalkan *symmetry*), menyebutkan satu persatu *classes*.

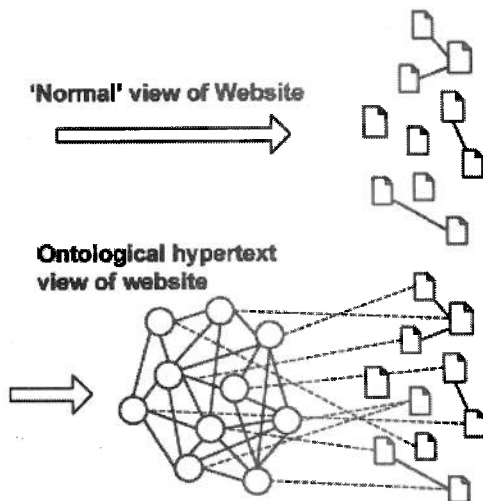
Berbagai bahasa yang menyusun *ontology*, seperti yang telah dijelaskan di atas memiliki kedudukan tertentu dalam struktur *ontology*. Setiap layer akan memiliki fungsi tambahan dan kompleksitas tambahan dari layer sebelumnya. Pengguna atau *user* yang memiliki fungsi pemrosesan *layer* paling rendah dapat memahami walaupun tidak seluruh *ontology* yang terletak di *layer* atasnya (Moreale dan Vargas-Vera, 2004).



Gambar 5. Ontology Layer

Dalam setiap *layer* tersebut, masing-masing bagian memiliki fungsi masing-masing:

- XML memiliki fungsi menyimpan isi halaman *web*
- RDF adalah *layer* untuk merepresentasikan semantik dari isi halaman tersebut
- *Ontology layer* untuk menjelaskan *vocabulary* dari *domain*
- *Logic Layer* memungkinkan untuk mengambil data yang diinginkan

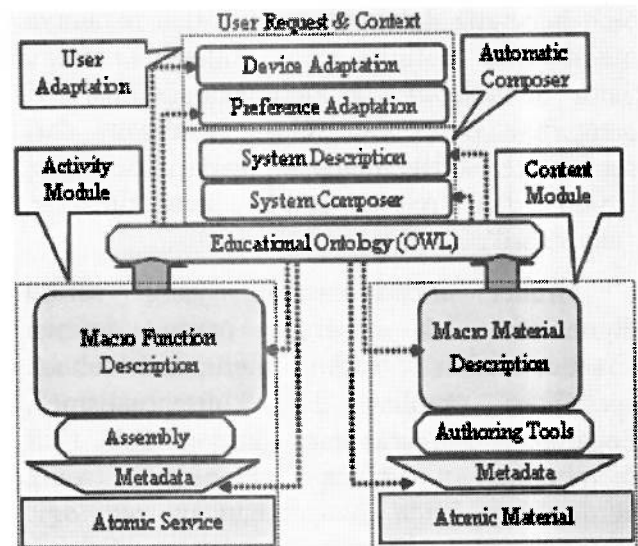


Gambar 6. Ilustrasi perbandingan organisasi *website* berbasis *ontology* dan yang bukan menggunakan berbasis *ontology*.

## OntoEdu

Dalam OntoEdu, *ontology* digunakan untuk menggambarkan konsep dari komunikasi dan hubungan antar *platform* education. OntoEdu didalamnya terdapat dua macam *ontology* yang terlibat yaitu: *content ontology* dan *activity ontology*.

*Educational ontology* merupakan modul inti untuk mengatur komponen lainnya. Dengan *ontology* maka OntoEdu dapat “belajar” *knowledge* dari *education specialist* dan juga *information specialist* sehingga secara otomatis dapat mengemas menjadi suatu *content* yang sesuai dengan yang diinginkan pengguna (*user request*) (Cui et. al., 2004).



Gambar 7. Layer OntoEdu

Berdasarkan pada *ontology* dan teknologi web semantik maka akan tercipta sebuah platform arsitektur hubungan *education* yang fleksibel disebut dengan arsitektur OntoEdu. Terdapat lima komponen dalam OntoEdu ini yaitu:

- *User adaptation*  
Menerima parameter dari user berkaitan dengan transformasi adaptasi terhadap sistem.
- *Auto composition*  
Bertanggung jawab untuk memberikan penugasan sebagai respons dari pengguna.
- *Education ontology*  
Melibatkan *activity ontology* dan *material ontology*.

- *Service modul*  
Model dinamis yang digunakan meningkatkan distribusi *learning*.
- *Content modul*.  
Model dinamis yang digunakan meningkatkan distribusi *content learning*.

## DESAIN ONTOLOGY E-LEARNING

Berikut dirancang sebuah *prototype e-learning* dengan memanfaatkan *ontology* pada *education*, khususnya pada bagian *teaching*. Fasilitas yang akan dicapai adalah sebagai berikut:

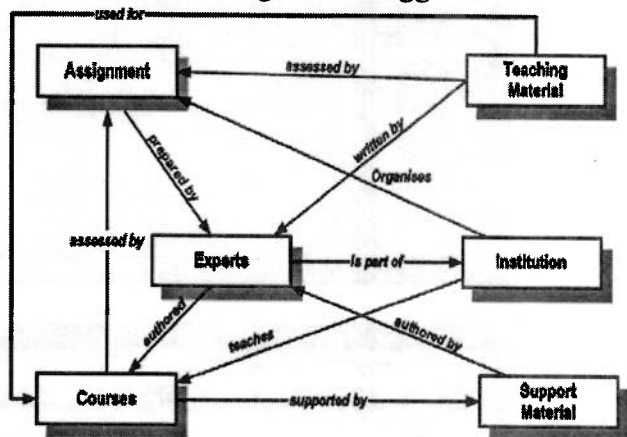
- meningkatkan kualitas pembelajaran.
- mengarahkan pengajar (penulis) untuk mendapatkan informasi yang relevan.
- pembuktian tingkat efektivitas terhadap *retrieval* dari system *e-learning* (waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh informasi).
- fasilitas pendukung seperti *search* dan diskusi.
- menerapkan kemudahan dalam mengakses ke informasi yang dibutuhkan.
- improvisasi pengajaran dan atau pembelajaran oleh pengguna.

Dalam pembuatan *ontology* ini, langkah awal meliputi *searching* dan *browsing web* dan kemudian melakukan kategorisasi terhadap material yang ditemukan sehingga akhirnya diproses dengan identifikasi dan definisi dari *main concept* serta *metadata content* (Heiyanthuduwaje dan Karunaratne, 2006). Hasil dari kategorisasi yang dihasilkan menghasilkan domain *concept* untuk *ontology* sebagai berikut:

- *Courses*  
Untuk mengidentifikasi *course* dengan *syllabus*, *notes*, *course works*.
- *Teaching material*  
Mencakup Tutorial (Artikel yang menjelaskan secara detail mengenai tugas-tugas), *Lectures* (*lecture notes* atau *slides* dalam bentuk/format yang bermacam-macam), Lab material, *Book* (*Online book*), *Tool* (*Software* yang siap digunakan, *Code sample*, *Work example*, dan *White paper*).
- *Assessments*  
*Quizzes* (Pertanyaan singkat dengan jawaban singkat, *Multiple Choice*

*Questions* (MCQ), *Exam tests* dengan pertanyaan terbuka, bentuk tes lainnya.

- *Support Materials*  
*Collections* (Meliputi berbagai sumber, seperti *homepage* dan portal) *Background readings* (pengetahuan dasar), Forum, Sumber daya yang dapat mendukung pengajaran
- *Experts*  
Untuk mengidentifikasi sebagai komunitas pengajar yang berpengalaman.
- *Institutions*  
Termasuk di dalamnya organisasi sumberdaya pengajar dan ahli di bidangnya. Termasuk juga Universitas/Perguruan Tinggi.



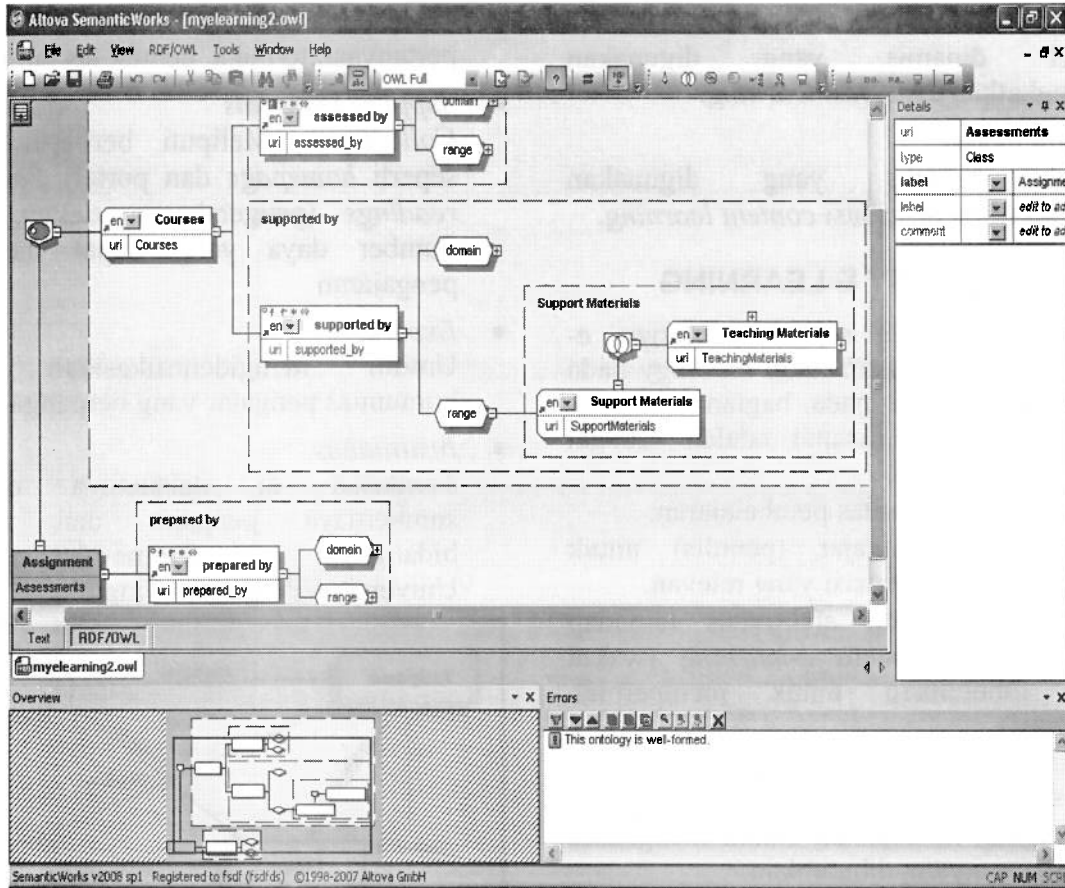
Gambar 7. Skema perancangan *ontology e-learning*.

## PEMANFAATAN TOOL ALTOVA SEMANTIC WORK

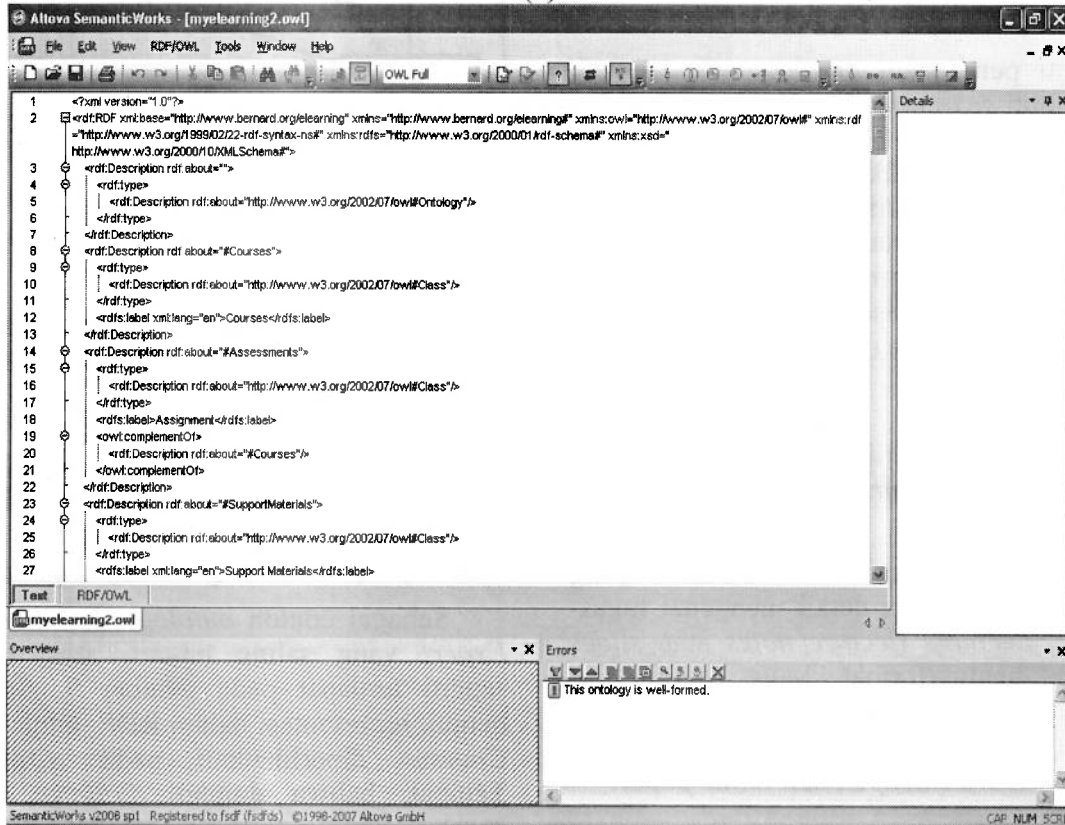
Untuk merancang *ontology* digunakan tool *Altova Semantic Work*. Menggunakan *Altova Semantic Work*, pengembangan *ontology* dilakukan dengan gambar-gambar (visual) (Zimmerman, 2006). Yang dapat dilakukan pembuatan dan perubahan adalah *RDF*, *RDFS* dan *OWL* termasuk pemeriksaan sintaks. Semua yang berhubungan dengan *Semantic*.

Sebagai contoh *ontology* dari *Courses* dan *Expert* yang saling terkait, akan diperoleh seperti terdapat pada gambar 9. Sedangkan bentuk representasi dalam *RDF* untuk *ontology Courses* diperlihatkan pada gambar 10. Tampak bahwa domain *Courses* memiliki korelasi berupa *property assessed\_by* dengan domain *Assessment* dan *property support\_by* dengan domain *Support Materials*.





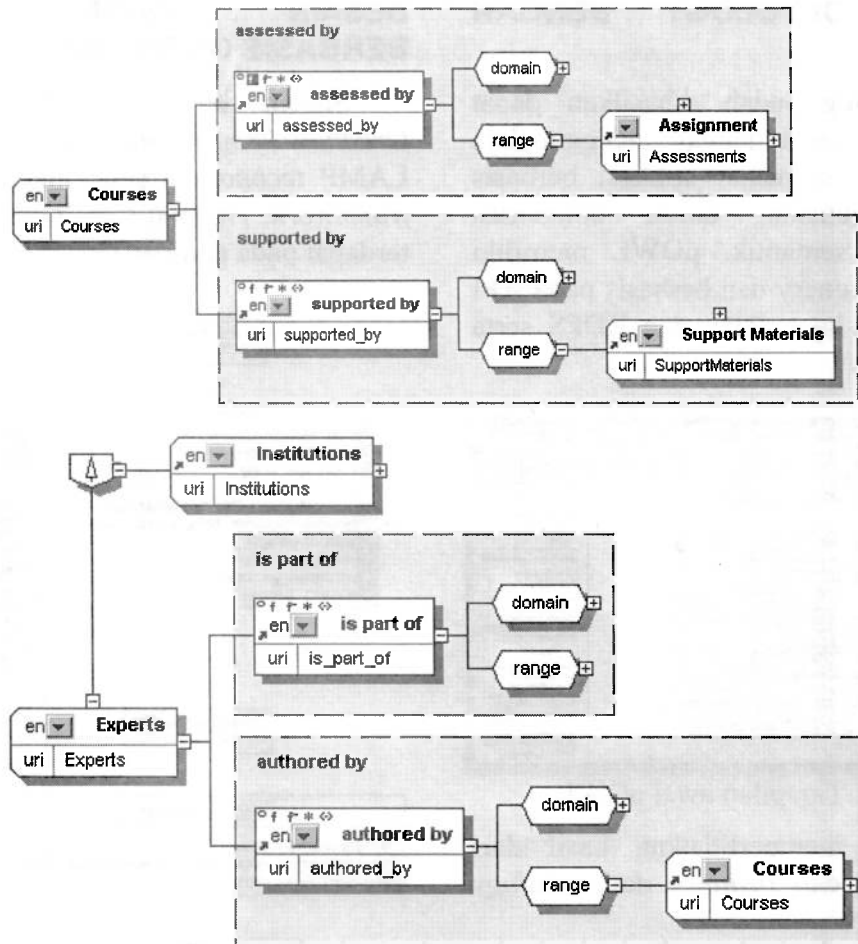
(a)



(b)

Gambar 8 (a) (b). *Ontology* berbasis pada web semantik dengan menggunakan format metadata RDF.





Gambar 9. Contoh diagram *ontology* dari *Couses* dan *Expert*

```

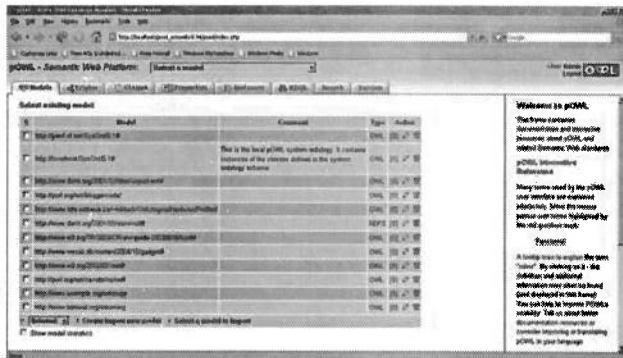
<rdf:Description rdf:about="#Courses">
<rdf:type>
<rdf:Description rdf:about="http://www.w3.org/2002/07/owl#Class"/>
</rdf:type>
<rdfs:label xml:lang="en">Courses</rdfs:label>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#assessed_by">
<rdf:type>
<rdf:Description rdf:about="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</rdf:type>
<rdfs:label xml:lang="en">assessed by</rdfs:label>
<rdf:type>
<rdf:Description rdf:about="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
</rdf:type>
<rdfs:domain>
<rdf:Description rdf:about="#Courses"/>
</rdfs:domain>
<rdfs:range>
<rdf:Description rdf:about="#Assessments"/>
</rdfs:range>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#supported_by">
<rdf:type>
<rdf:Description rdf:about="http://www.w3.org/2002/07/owl#ObjectProperty"/>
</rdf:type>
<rdfs:label xml:lang="en">supported by</rdfs:label>
<rdfs:domain>
<rdf:Description rdf:about="#Courses"/>
</rdfs:domain>
<rdfs:range>
<rdf:Description rdf:about="#SupportMaterials"/>
</rdfs:range>
</rdf:Description>

```

Gambar 10. Skema RDF *ontology* dari *Couses* dan *Expert*

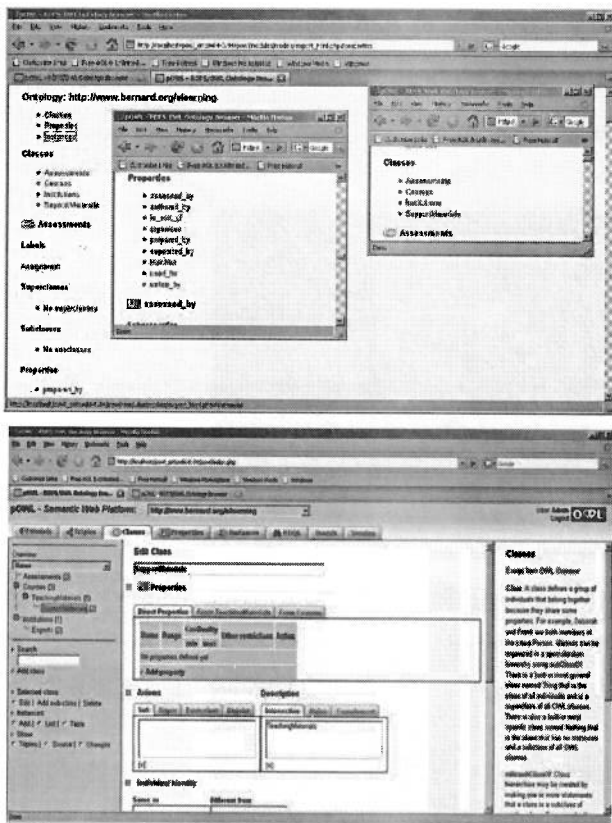
## PENGUJIAN ONTOLOGY DENGAN POWL

Ontology yang sudah dihasilkan dapat diuji kompatibilitasnya dengan menggunakan pOWL. pOWL merupakan aplikasi berbasis web yang digunakan untuk kolaborasi pembuatan web semantik. pOWL memiliki kemampuan SQL query dan berbasis pada API untuk menangani layer RDF dan RDFS serta OWL.



Gambar 11. Tampilan awal pOWL

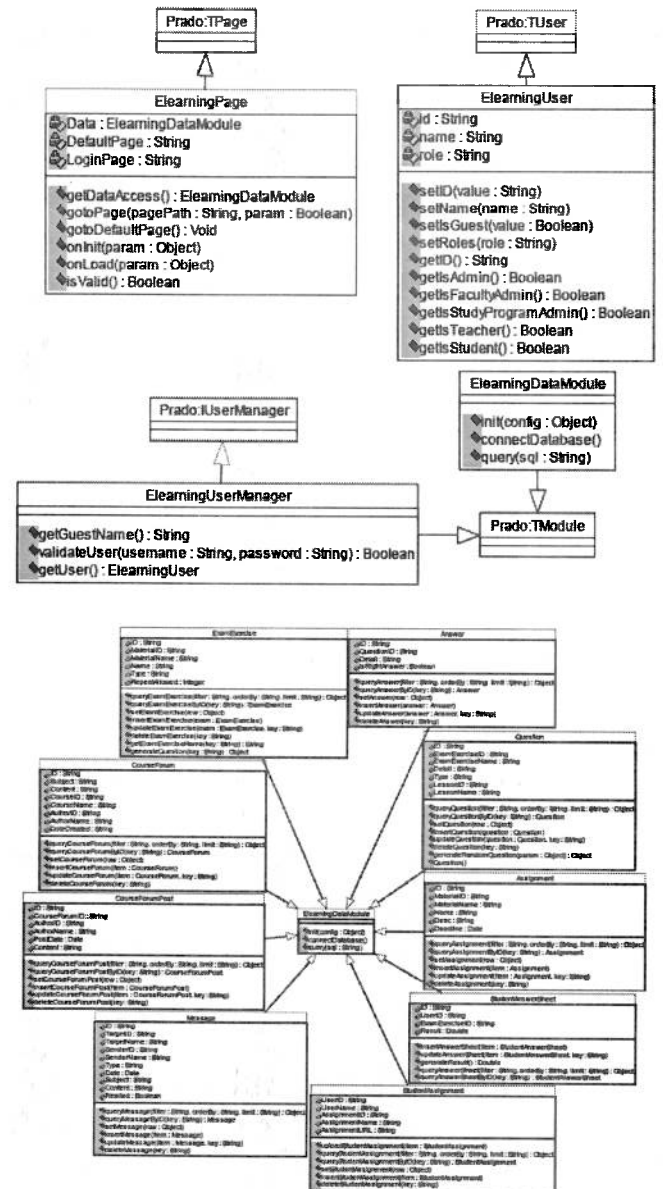
Gambar 12 memperlihatkan hasil dari Class, Properties dan Instance dari ontology yang dibuat.



Gambar 12. Tampilan Class, Properties dan Instance

## DESAIN SYSTEM E-LEARNING BERBASIS ONTOLOGY

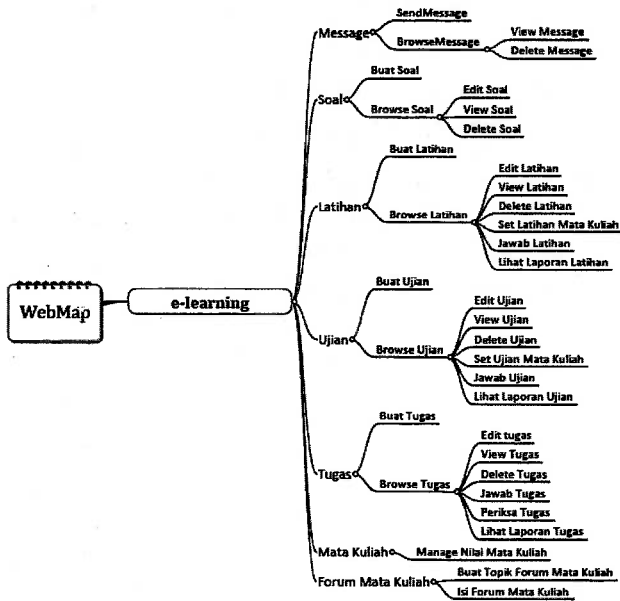
Sistem dibangun berbasis pada Object Oriented Programming dengan menggunakan LAMP technology serta memanfaatkan Prado framework. Adapun Clas Diagram dari sistem terdapat pada gambar 13.



Gambar 13. Class Diagram dari sistem yang dibuat

Class ElearningPage merupakan class turunan dari class TPage. Class ElearningPage menyediakan method-method yang berhubungan dengan page (halaman web), seperti perpindahan page, inialisasi page, dan tampilan atau isi page. Berikut ini merupakan deskripsi dari method yang ada pada class

ElearningPage: Class TUser. Class ElearningUser merupakan class turunan dari class TUser. Class ElearningUser ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan akan informasi data pengguna yang login. Class ELearningDataModule merupakan class turunan dari class TModule. Class ELearningDataModule ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan koneksi dengan database.



Gambar 14. Web Map dari sistem e-learning yang dibangun

### Implementasi Manage Soal

Pada gambar 15 merupakan implementasi user interface manage soal dan pilih soal latihan dari aplikasi elearning yang akan dikembangkan.

### Implementasi Jawab Latihan

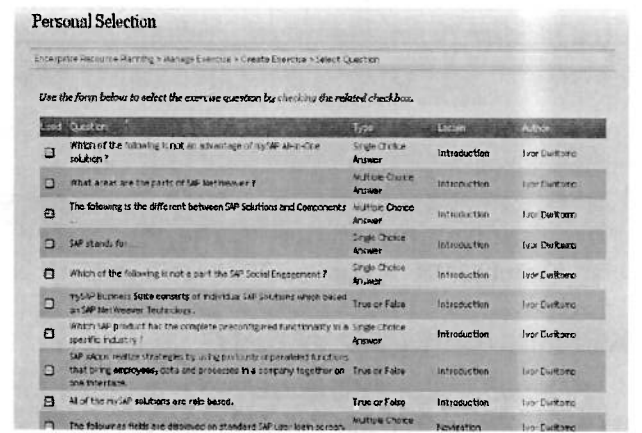
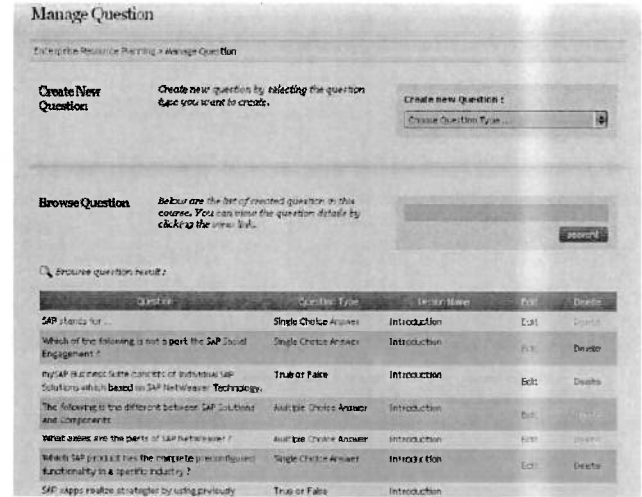
Pada gambar 16 merupakan implementasi user interface jawab latihan dari aplikasi elearning yang akan dikembangkan.

### Implementasi Manage Tugas

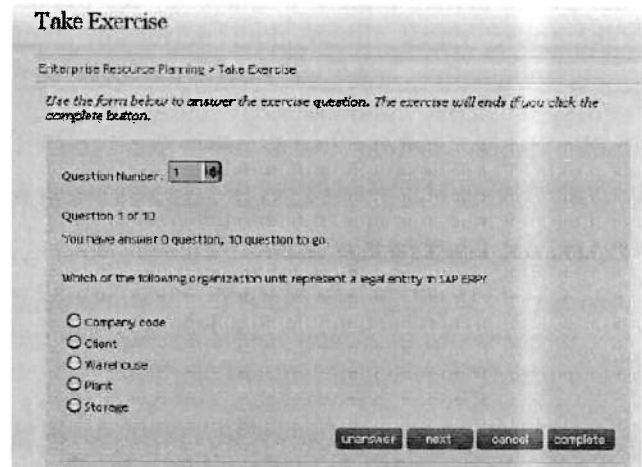
Pada gambar 17 merupakan implementasi user interface manage tugas dari aplikasi e-learning yang akan dikembangkan.

### Implementasi Manage Ujian

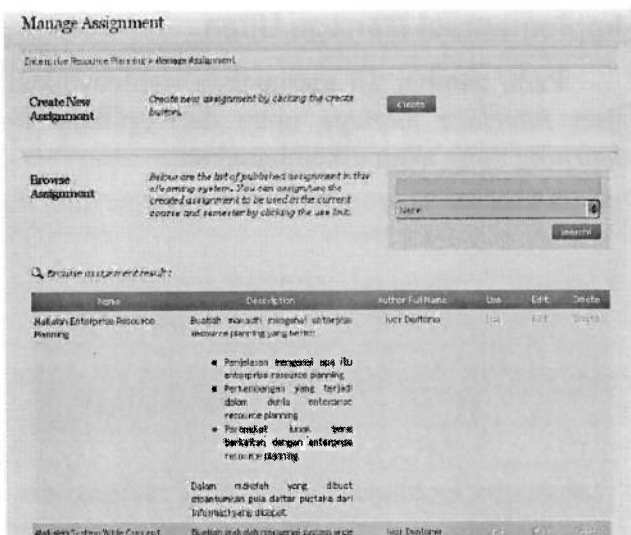
Pada gambar 18 merupakan implementasi user interface manage ujian dari aplikasi e-learning yang akan dikembangkan.



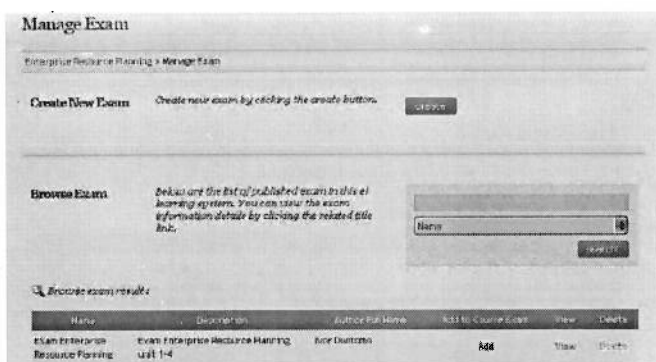
Gambar 15. Tampilan Manage Soal



Gambar 16. Tampilan Jawab latihan



Gambar 17. Tampilan Manage Tugas



Gambar 18. Tampilan Manage Ujian

*Ontology-based Education Grid System for E-Learning.*

Emanuela Moreale and Maria Vargas-Vera. (2004) *Semantic Services in e-Learning: an Argumentation Case Study.*

I Wayan Simri Wicaksana, dkk. (2006) *Pengujian Tool Ontology Engineering.*

Kerstin Zimmermann. (2006) *An Ontology Framework for e-Learning in the Knowledge Society.*

Nophadol Jekjantuk, Md Maruf Hasan. (2007) *E-Learning content management An ontology-based approach.*

S.R. Heiyanthuduwage and D. D. Karunaratne. (2006) *A Learner Oriented Ontology of Metadata to Improve Effectiveness of Learning Management Systems.*

**KESIMPULAN DAN SARAN**

*Ontology* yang dibuat dalam penelitian ini dapat menciptakan *e-learning* yang terorganisasi dengan baik khususnya dalam hal pemanfaatan *content e-learning*. Ke depan diharapkan dapat diupayakan perluasan atau pengembangan domain-domain *ontology* sehingga dapat menciptakan integritas yang baik dalam sistem *e-learning* itu sendiri ataupun dengan sistem lainnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

Arouna Woukeu. (2003) *Ontological Hypermedia in Education: A framework for building web-based educational portals.*

Chakkrit Snae and Michael Brueckner. (2007) *Ontology-Driven E-Learning System Based on Roles and Activities for Thai Learning Environment.*

Cui Guangzuo, Chen Fei, Chen Hu, Li Shufang. (2004) *OntoEdu: A Case Study of*

## EXPERIMENTAL DESIGN IN OPTIMIZING ALCOHOL TREATMENT OF PYROLYSIS OIL BY REACTIVE DISTILLATION

Diana

Chemical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology, Islamic University of Indonesia  
Jalan Kaliurang km. 14,5 Sleman, Jogjakarta 55501  
e-mail: diana@fti.uii.ac.id

### ABSTRAK

*Proses distilasi reaktif dapat digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat pyrolysis oil sebagai bahan bakar. Metode ini mereaksikan pyrolysis oil dengan alkohol yang mempunyai titik didih tinggi, seperti n-butanol, menggunakan katalis asam. Reaksi dilakukan pada suhu didihnya dan tekanan vakum. Proses ini mampu meningkatkan sifat-sifat pyrolysis oil sebagai bahan bakar secara signifikan.*

*Tulisan ini akan mempelajari pengaruh dari kadar alkohol (n-butanol), konsentrasi katalis ( $H_2SO_4$ ), suhu, tekanan dan waktu pada beberapa sifat-sifat produk. Mengingat kompleksitas susunan pyrolysis oil, penggunaan metode empiris, yaitu analisis statistik, akan memunculkan hasil yang lebih efektif. Metode half fraction factorial digunakan untuk mendesain eksperimen alkoholisis pada pyrolysis oil. Dengan desain ini dihasilkan menghasilkan persamaan-persamaan untuk memprediksi sifat-sifat dari produk sehingga bisa digunakan untuk menentukan kondisi proses yang optimal.*

*Desain yang diperoleh menunjukkan bahwa proses tidak hanya dipengaruhi oleh variabel secara individual, namun juga dipengaruhi interaksi antara 2 variabel yang berbeda. Studi mengindikasikan bahwa kondisi optimal proses distilasi reaktif pyrolysis oil adalah pada 50% kadar alkohol, konsentrasi katalis 1%, suhu  $70^{\circ}C$ , tekanan 50 mbar dan waktu 2 jam. Kondisi ini hanya berlaku untuk rentang kondisi operasi dan bahan baku yang tertentu.*

*Kata kunci: experimental design, pyrolysis-oil, distilasi reaktif*

### INTRODUCTION

Biomass has traditionally been used in combustion to produce heat and power. It represents one of the most promising sources of renewable energy since it is available almost everywhere and its price does not suffer from market fluctuation. In environmental point of view, biomass also has clear advantages. By using renewable biomass as an energy source, it would not increase the level of carbon dioxide in the atmosphere.

One of the renewable sources is biomass. Fast pyrolysis oils from biomass are promising second generation biofuels. Several studies have shown that the high heating rates and short reaction times in the pyrolysis process afford high yields of liquid products as high as 70 – 80% based on the starting biomass weight (Bridgewater, 1999). It is an acidic, viscous

liquid that has a dark brown color and a pungent smoky odour.

It was reported that crude bio oil could be satisfactorily used in boilers and gas turbines (Czernik, 2004, Lopez, 2000). However, no successful runs could be performed in standard diesel engines developed for high quality diesel fuel. Negative product properties of bio-oil are: poor stability when exposed to air or elevated temperature, high water contents which decreases the specific heating value, high viscosity, low pH, and corrosive.

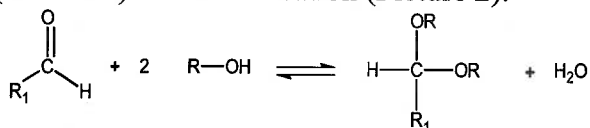
To utilize pyrolysis oil as a substitution of fossil fuel and its derived applications, currently a large research effort is undertaken worldwide. To achieve improved products with the desired properties is often referred to an 'upgrading.' Different procedures can be envisaged for the upgrading of pyrolysis oil.

One of them is alcohol treatment by reactive distillation.

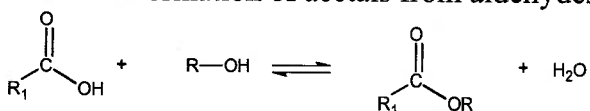
The aim of this paper is to determine suitable conditions of reactive distillation process to upgrade pyrolysis oil fuel properties. Simultaneous reaction and separation of bio oil was studied in a semi batch system. The studies are performed to optimize the process condition using experimental design and statistical analysis.

### Upgrading of Bio Oil by Alcoholysis – State of The Arts

Various kind of physical and chemical methods exist to modify the properties of bio oil. One method to upgrade the bio oils is by chemical reaction either with removal or conversion of reactive components that contribute to bio-oil instability (Diebold, 2000). Alcohols are known to be efficient solvents for pyrolysis liquids. Simple chemical reactions of bio oil with alcohols in acidic conditions will convert the carbonyl and carboxyl compounds to relatively stable substances. The chemical reactions occur between bio oil and alcohols are acetalization (Picture 1) and esterification (Picture 2).



Picture 1. Formation of acetals from aldehydes



Picture 2. Formation of ester from acids

It has been postulated that solvent addition can influence the liquid viscosity by three mechanisms (Oasmaa, 1999):

1. physical dilution without affecting the chemical reaction rates,
2. reducing the reaction rate by molecular dilution, and
3. chemical reactions between the solvent and the liquid components that prevent further chain growth.

Many articles indicate that the addition of alcohols results in positive effects with respect to bio oil properties except the flash point. Diebold and Czernik (1997) reported that the

use of alcohols dramatically decreased the rate of aging and instantly lowered the viscosity by about half. Methanol was found to be the most effective of the alcohol tested (methanol, ethanol, isopropanol) (Oasmaa, 2004). A patent describes a method for upgrading bio oil claims that reacting biomass pyrolysis liquid with alcohol using an acid catalyst and water removal using molecular sieves gives a more stable product, lowers the acidity, increases the calorific value, and reduces the viscosity (Radlein, 1996).

Since the proposed reactions produce water and are equilibrium reaction, removing water simultaneously within the process and keeping the alcohol remain are the major issues. This can be achieved by reactive distillation using high boiling point alcohol which separate water by evaporation.

Regarding Le Chatlier's principle, if one or more products involved in an equilibrium reaction are removed more of the products will be formed. This is the principle behind reactive distillation. The reaction mixture is heated and the product(s) are boiled off.

There are 2 types of reactive distillation in alcoholysis: azeotropic distillation and non azeotropic distillation. Azeotropic distillations occur when alcohols form azeotropes with water. The alcohol will be recycled to the system after separated from the water using settling unit for water insoluble alcohol or membrane for water soluble alcohol. Conversely, when using high boiling point alcohol, a non azeotropic distillation takes place. This method will evaporate the water prior to the alcohol.

### Statistical Analysis

Bio oil is a complex solution consists of various compound; namely: water, carboxylic acids, alcohols, aldehydes, ketones, carbohydrate and degraded lignin. There are many factors involved with interactions possibility and no theoretical models which can be used to explain its process performance. Consequently, successful research can be characterized by effective, empirical problem solving.



Statistical problem solving provides a set of powerful tools which can be used to maximize the efficiency and productivity of empirical problem solving. Data is collected to solve empirical problems. Since there are limited time and resources available to generate and understand this data, it is important that the data be information rich. Statistical experimental design is one way to increase the amount of information-rich data we collect. A well design experiments significantly increase the information content of the data.

Two level factorial designs are the most frequently used for screening experiments because of their ease of interpretation and their effectiveness. Each factor is evaluated at a "low" and a "high" setting. Two level, full factorial designs are very powerful because they provide information about all main effects and all factor interactions. In practice, three-factor and higher interactions are seldom to be important and interpretable. Therefore, two level fractional factorial designs, with resolutions of V or higher, are preferable due to their smaller sample sizes and still provide independent estimates of the effects of all the experimental factors and their two-factor interactions (Haaland, 1999).

## EXPERIMENTAL SECTION

### Material

#### Raw pyrolysis oil

The oil was obtained from the BTG fast-pyrolysis plant located in Enschede, The Netherlands. It originated from beech and was produced using rotating cone reactor. It was used as received without pre-treatment and has properties as shown in the table 1.

Table 1. Properties of raw pyrolysis oil as received

Physical property	
Water content	31.5 % wt
Density	1.17 kg/L
pH	3
Elemental analysis (wet basis)	
C	35.8 % wt
H	8.38 % wt
N	0 % wt
O (by difference)	55.82 % wt
HHV	14 MJ/kg
Viscosity @ 40 °C	17 cSt
Flash point	52.5 °C

### Catalyst

Catalyst Sulphuric acid 95-97% from Merck were used as homogenous acid catalyst. It was used as received and catalyst loading was chosen in such a way to give a certain weight percentage.

### Alcohol

N-butanol was selected based on its boiling point and for its potential to perform the desired chemical reactions: esterification and acetalization. N-butanol 99% from Acros Organics was used in this study and was not purified before use.

### Setup and Procedures

The process was carried out under vacuum pressure in a 250 mL three necks round bottomed flask attached to Dean Stark apparatus. It was equipped with thermometer to check actual temperature of samples. First, a sample containing pyrolysis oil and alcohol with certain ratio was introduced into the flask. The apparatus was heated up in a water bath equipped with magnetic stirrer and temperature controller. When desired temperature was achieved, certain amount of catalyst was added. Then, the sample chamber pressure was reduced using a vacuum pump up to the setting pressure. The pressure was kept constant and controlled using a pressure controller. The vapor was passed over a condenser which results in the condensation of the vapor. The time when the first distillate condensed was taken as the initial process time.

### Analytical Methods

The sample was characterized using a number of analytical techniques (Radlein and Majerski, 1996) : water content was determined by Karl-Fischer titration using 702 SM Titrino and viscosity of the product was measured at 40°C using cone and plate rheometer (Rheolyst AR-1000 N). Water increase was calculated from water content of the product and the distillate data.

### Experimental Design with Two Level Fractional Factorial Methods

A half fraction factorial design with five factors was tested at two levels. The factors

were alcohol content, catalyst concentration, water bath temperature, pressure and reaction time. Determination ranges of the factors are based on some preliminary test due to the facility of the equipment and possibility to analyze the product. The high and low level for them are listed in table 2.

Table 2. The factors included in half fraction factorial design

Factor	Name	Units	Low Actual	High Actual	Low Coded	High Coded
A	Alcohol content	% wt	30	50	-1	1
B	Catalyst concentration	% wt	1	3	-1	1
C	Temperature	°C	50	70	-1	1
D	Pressure	mbar	50	70	-1	1
E	Reaction time	minute	60	120	-1	1

The relationship between the actual variables ( $x_i$ ) and coded variables ( $X_i$ ) is:

$$X_i = \frac{x_i - [x_{max} + x_{min}]/2}{[x_{max} - x_{min}]/2} \quad (1)$$

where  $X_i$  is a dimensionless coded value of the variable  $x_i$ , and  $x_{min}$  and  $x_{max}$  are the minimum and maximum values of the actual variable.

Table 3. Experimental data and the observed responses values

Exp. name	Factor						Response		
	Alc. Cont. % wt	Cat. conc. % wt	Temp °C	Press. mbar	Time mnt	Water increase % wt	Visc. mm <sup>2</sup> /s	Water cont. %wt	
E1	30	1	50	50	120	6.83	54.13	3.90	
E2	50	1	50	50	60	4.32	9.03	5.28	
E3	30	3	50	50	60	5.75	56.72	5.63	
E4	50	3	50	50	120	6.22	11.95	4.12	
E5	30	1	70	50	60	7.30	62.48	2.46	
E6	50	1	70	50	120	5.89	7.63	4.88	
E7	30	3	70	50	120	9.27	148.38	2.65	
E8	50	3	70	50	60	4.68	12.40	6.73	
E9	30	1	50	70	60	3.11	21.91	9.56	
E10	50	1	50	70	120	4.52	8.69	6.23	
E11	30	3	50	70	120	5.59	61.95	5.23	
E12	50	3	50	70	60	4.47	9.19	7.90	
E13	30	1	70	70	120	7.48	89.34	2.34	
E14	50	1	70	70	60	3.89	8.70	5.47	
E15	30	3	70	70	60	7.07	65.97	4.17	
E16	50	3	70	70	120	5.79	11.56	4.59	
E17	40	2	60	60	90	5.10	22.22	3.67	
E18	40	2	60	60	90	5.55	21.44	2.32	
E19	40	2	60	60	90	4.99	25.74	2.40	

A total of 19 experiments, including three center points, were carried out in randomized run order. The center points are added in order to check the experiment reproducibility and estimate the experimental error. Furthermore, center points can detect such non linear behaviour, which suggests rapid progress

toward optimization. However, when using a fractional design with center points, we get a generalized curvature term which cannot be tied to any single factor.

By using this design, an analysis of variance (ANOVA) test can identify the effect of individual factors and their second order interactions. Higher order interactions were assumed to be negligible if the half fraction design applied. This resulted in empirical model related to the response by the equation:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^5 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{i=4} \sum_{j=i+1}^5 \beta_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

where Y is the response,  $\beta_0$  is the constant coefficient (intercept),  $\beta_{is}$  are the linear coefficients,  $\beta_{ijs}$  are the interaction coefficients, and  $X_i$  and  $X_j$  are coded factors. Here  $X_1$  is A,  $X_2$  is B,  $X_3$  is C,  $X_4$  is D, and  $X_5$  is E.

The parameters of the model were estimated by multiple linear regressions, using Design Expert 6.0, software for experimental design and optimization from StatEase. This program permits the creation and analysis of experimental designs. The goodness of fit of the model was evaluated by *p*-value, the coefficient of determination ( $R^2$ ) and studentized residuals. An effect is determined to be significant if it has >95% confidence level (*p*-value < 0.05).

## RESULT AND DISCUSSION

The effect of alcohol content, catalyst concentration, water bath temperature, pressure and time on reaction rate and some product properties were investigated using half fraction two level factorial methods. Reaction rate was represented by the amount of water increase. The product properties analyzed were viscosity, water content, and flash point. The experimental design and the observed responses values are illustrated in Table 3 and the result of ANOVA (analysis of variance) test are summarized in Table 4.

Table 4. Summary of ANOVA test result

Response	Name	Units	Min	Max	Trans	Model
Y1	Viscosity	mm <sup>2</sup> /s	7.63	148.38	Inverse sqrt	RMain effects
Y2	Water content	% wt	2.32	9.56	None	R2FI

The ANOVA tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. The effect of a factor is shown by its F value. The higher the F value, the more influencing the factor. Factors which have *p*-value (Prob > F) less than 0.05 were selected and determined to be the significant factors to develop a model. ANOVA test only applied for selected terms.

**Effect of process variables on viscosity**

The proposed model for viscosity is inverse square root form. Figure 3 shows the half normal plot of the studied effects on viscosity and the result of the ANOVA test performed by the program are presented in Table 5. It can be seen that alcohol content (A) and catalyst concentration (B) are significant model terms for inverse square root of viscosity. The curvature F-value of 1.13 implies the curvature is not significant as there is a 30.49% chance that it occurs due to noise.

In this form, the model was significant (*p*-value<0.0001) and the lack of fit is not significant (F = 7.97 and *p*-value > 0.05 = 0.1169).

The model for the viscosity was obtained for the coded factors as:

$$\text{Viscosity}^{-0.5} = 0.2261 + 0.0952*A - 0.0183*B$$

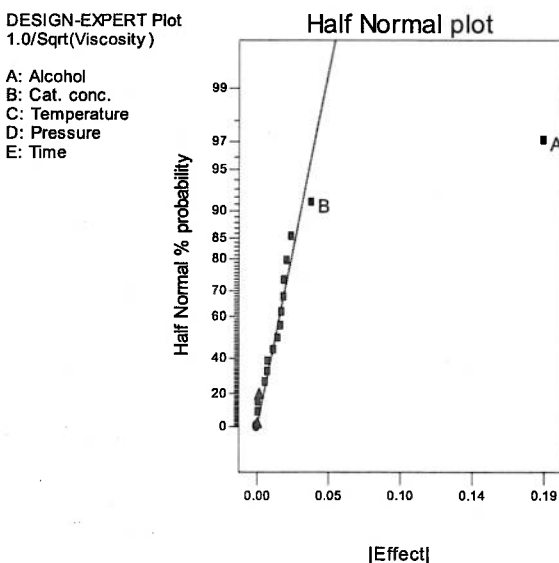


Figure 3. Half normal plot of variable effect on viscosity

Table 5. Result of ANOVA test on viscosity

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F value	Prob > F
Model	0.1504	2	0.0752	107.57	< 0.0001
A	0.1450	1	0.1450	207.48	< 0.0001
B	5.35E-03	1	0.0053	7.65	0.0144
Curvature	7.89E-04	1	7.89E-04	1.13	0.3049
Residual	0.0105	15	6.99E-04		
Lack of Fit	0.0103	13	7.91E-04	7.97	0.1169
Pure Error	1.99E-04	2	9.93E-05		
Cor Total	0.1617	18			

The equation was carried out in terms of actual factors as:

$$\text{Viscosity}^{-0.5} = -0.1182 + 9.521E-03*\%Alc - 0.0183*\%Cat.$$

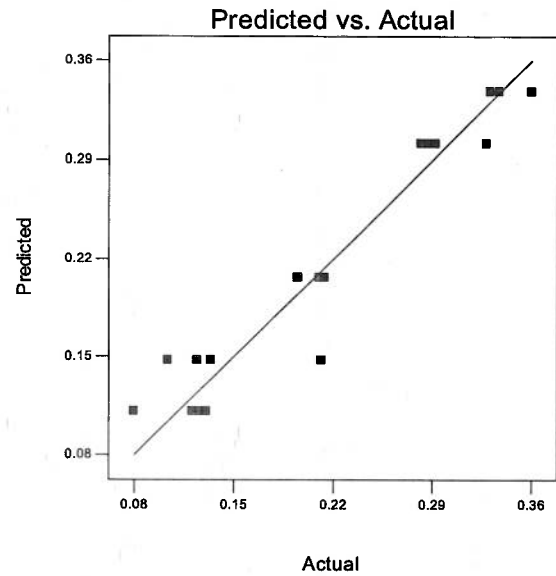


Figure 4. Plot of predicted versus actual values of viscosity

Figure 4 shows predicted and actual values. The coefficient of determination (*R*<sup>2</sup>) is 0.9348, which indicated that the model is adequately represented the real relationship among the selected parameters. It is also supported by adequate precision value of 18.71 which is more than the desired value of 4.

To check the normality of the residuals the normal probability of the studentized residuals is plotted. The model was good since the residuals scattered along the normal line and within the limit of studentized residuals value (Diebold, 2000; Lopez Juste and Salva Monfort, 2000).

Alcohol addition decreased the viscosity of the mixture. This phenomenon was expected

since butanol has much lower viscosity than bio oil. Generally, the viscosity of non-polar mixtures can be predicted by weight averaging the natural log of the individual viscosities. For polar mixtures a correction term is added and the viscosities are mole averaged. This prediction cannot be used because the effect of adding butanol to bio oil is more than a physical dilution effect.

In this case, viscosity of the product was not only influenced by physical dilution but also chemical reaction and water separation. The last term increased the viscosity. Higher alcohol content decreases the viscosity of the products significantly, contrasting to the addition of catalyst. Chemical reaction was enhanced by the presence of catalyst. It was expected that the product e.g. butyl ester will lower the viscosity of the mixture as it has lower viscosity than butanol. However, because we do not know all the species in bio oil and all the reaction took place, it resulted in increasing viscosity while increasing the catalyst concentration. A possible unexpected reaction occurred is polymerization which will give higher viscosity.

### Effect of process variables on water content

Figure 5 shows the half normal plot of the studied effects on water content and the result of the ANOVA test were given in Table 6. In this case A, C, D, E, AC, and CD are significant model terms as they have >95% confidence level. The temperature (C) and time (E) were the most significant terms with the *p*-value of 0.0018 and 0.0026 respectively.

The curvature F-value of 17.9 implies there is significant curvature as there is only a 0.14% chance that the value this large occurs due to noise. This indicates that the water content response in this range is not linear. However, it does not include in the model.

Final equation of water content in terms of coded factors was given as:

$$\begin{aligned} \text{Water content} = & 0.5691 + 0.5791 * A \\ & - 0.9097 * C + 0.6153 * D \\ & - 0.8284 * E + 0.6778 * A * C \\ & - 0.6334 * C * D \end{aligned}$$

With the same data the equation was converted in terms of actual factors:

$$\begin{aligned} \text{Water content} = & 0.4681 - 0.3488 * \% \text{Alc} \\ & + 0.018 * T + 0.4416 * P \\ & - 0.0276 * R_t \\ & + 6.78E-03 * \% \text{Alc} * T \\ & - 6.33E-04 * T * P \end{aligned}$$

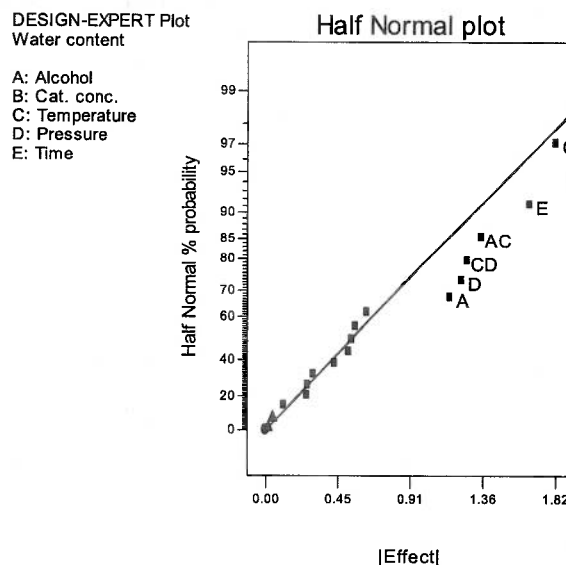


Figure 5. Half normal plot of variable effect on water content

Table 6. Result of ANOVA test on water content

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	49.41	6	8.24	11.2678	0.0004
A	5.37	1	5.37	7.3401	0.0203
C	13.24	1	13.24	18.1149	0.0014
D	6.06	1	6.06	8.2879	0.0150
E	10.98	1	10.98	15.0235	0.0026
AC	7.35	1	7.35	10.0570	0.0089
CD	6.42	1	6.42	8.7833	0.0129
Curvature	13.08	1	13.08	17.9003	0.0014
Residual	8.04	11	0.73		
Lack of Fit	6.88	9	0.76	1.3233	0.5027
Pure Error	1.16	2	0.58		
Cor Total	70.54	18			

The *p*-value (Prob > F = 0.004) and coefficient of determination ( $R^2 = 0.8601$ ) implies that the model was quite satisfactory. The value for lack of fit (1.3233) indicates that the lack of fit was not significant and therefore the fitted model was appropriate to describe the water content response. In addition, adequate precision value (10.99) that measures the signal

to noise ratio is greater than 4 indicating this model can be used to navigate the design space.

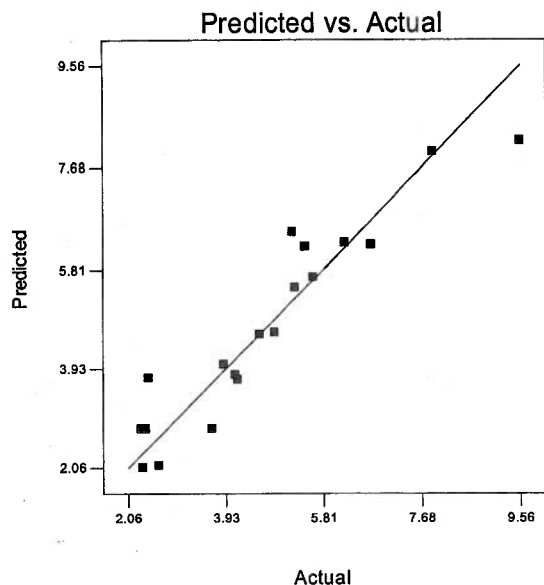


Figure 6. Plot of predicted versus actual values of water content

The water content of the products increased when raising the alcohol content and pressure, lowering the temperature and increasing the time. In addition, there are interactions between temperature with alcohol content and pressure. The effect of temperature was much significant in low alcohol content and high pressure.

Explanation of the increasing of water content by adding alcohol cannot be separated from its interaction with temperature. In low alcohol content, raising the water bath temperature greatly decreased the water content. This is understandable since the more heat flux was received by the system to evaporate the water. A different phenomenon observed in high alcohol content which the water bath temperature gave no effect on product water content. Apparently, the water hardly removed from the mixture because it was trapped in the mixture and formed an azeotropic solution with butanol and other component.

High pressure inhibited the water vaporization. Consequently, the product water content was high. In addition, temperature gave a major effect in high pressure, whereas it was not significant in low level.

Longer time decreased the water content as evaporation of the water continued. These give us an impression that the water content of the product is more determined by process separation than reaction.

## CONCLUSION

The study indicates that alcohol treatment through reactive distillation could improve bio oil properties. Butanol has higher boiling point than water and form azeotropic mixture with water. Thus, the water is removed continuously during the reaction by azeotropic distillation.

The study shows that adding butanol not only a dilution process but also a reaction process. Since it produced water, most probably the reactions occur are acetalization and esterification. However, several possible reactions like polymerisation may occur.

Since pyrolysis oil is a complex mixture, there are many factors involved with interactions possibility and no theoretical models which can be used to explain its process performance. Statistical problem solving provides a set of powerful tools which can be used to maximize the efficiency and productivity of empirical problem solving. A well design experiment will provide a set of equations to predict the properties of upgraded pyrolysis oil thus optimize the conditions of the process. The design can show the relative importance of the variables and interaction between two different factors. The study indicated that optimum condition is at 50% alcohol content, 1% catalyst concentration, temperature of water bath is 70°C, pressure is 50 mbar and reaction time is 120 minutes. This is valid only for selected range, variables and feedstock.

## REFERENCES

- Bridgwater, A.V. (1999) Principles and Practice of Biomass Fast Pyrolysis Processes for Liquid, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51(1-2): p. 3-22.
- Czernik, S. and Bridgwater, A.V. (2004) Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil, *Energy & Fuels*, 18(2): p. 590-598.

- Diebold, J.P. (2000) *A Review of the Chemical and Physical Mechanisms of the Storage Stability of Fast Pyrolysis Bio-oils*, NREL: Colorado.
- Diebold, J.P., Czernik, S. (1997) Additives to Lower and Stabilize The Viscosity of Pyrolysis Oil during Storage, *Energy and Fuels*, 11(5): p. 1081 – 1091.
- Lopez Juste, G. and Salva Monfort, J.J. (2000) Preliminary Test on Combustion of Wood Derived Fast Pyrolysis Oils in A Gas Turbine Combustor, *Biomass and Bioenergy*, 19(2): p. 119-128.
- Oasmaa, A. and Czernik, S. (1999) Fuel Oil Quality of Biomass Pyrolysis Oils - State of the Art for the End Use, *Energy & Fuels*, 13(4): p. 914-921.
- Oasmaa, A., et al., (2004) Fast Pyrolysis of Forestry Residue and Pine. 4. Improvement of the Product Quality by Solvent Addition, *Energy & Fuels*, 18(5): p. 1578-1583.
- Radlein, D., J. Piskorz, and P. Majerski, (1996) *Method of Upgrading Biomass Pyrolysis Liquids for Use as Fuels and as Source of Chemicals by Reaction with Alcohols*, European Patent Application.
- Oasmaa, A. and D. Meier, (2005) Norms and Standards for Fast Pyrolysis Liquids - 1. Round Robin Test, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 73(2): p. 323-334.
- Haaland, P.D., (1999) *Experimental Design in Biotechnology*, Marcel Dekker Inc., New York.

# ANALISIS PREFERENSI KONSUMEN DALAM PEMILIHAN JASA OPERATOR TELEKOMUNIKASI SELULER UNTUK PERANCANGAN BUSINESS PLAN

Elly Wuryaningtyas Yunitasari<sup>1)</sup> dan Farham HM Saleh<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Alumni Magister Teknik Industri UPN Veteran Jogjakarta

<sup>2)</sup>Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Jogjakarta  
e-mail: farham@fti.uii.ac.id

## ABSTRACT

*In the last few years, the growing demand of cellular telecommunication service in Indonesia is very well attractive. There were 126 million customers in 2008 and predicted will be over than 150 million in 2009, while margin EBITDA (earning before interest, tax, depreciation, and amortization) are 40%-50%. These attractive condition indicate that telecommunications business especially cellular has become new iconic in industrial sector in fatherland. Therefore operator cellular must be able to design a business plan to earn more pre-eminently is compared to other cellular telecommunications operator, and probably new investor. This research addresses to see the customer preference that could be used to design a business plan. With conjoin and cluster analysis, this research find that customers interest of 12 attribute of cellular telecommunication services and there were 11 cluster of customers as shown in Table 2 and Table 3 below.*

*Keywords: telecommunication, cellular, preference, conjoin, business plan*

## PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat akan jasa telekomunikasi dewasa ini meningkat pesat. Salah satu penyebabnya adalah globalisasi, dimana negara-negara di dunia menjadi satu kekuatan pasar yang semakin terintegrasi tanpa rintangan batas teritorial. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah menyebabkan ruang dan waktu bukan lagi menjadi pembatas bagi setiap individu untuk berinteraksi dan berkomunikasi. Jasa telekomunikasi sudah menjadi kebutuhan dasar manusia. Perkembangan telekomunikasi yang pesat ditunjukkan oleh peningkatan jumlah pengguna jasa telekomunikasi.

Komunikasi modern telah memberikan kesempatan kepada jutaan manusia di seluruh dunia untuk berhubungan tanpa dibatasi oleh ruang dan waktu. Industri telekomunikasi terutama telepon seluler telah mengalami kemajuan pesat dalam dua dekade terakhir. Saat ini telepon seluler digunakan oleh semua lapisan masyarakat dari rakyat jelata sampai presiden.

Seiring dengan perkembangan masyarakat, jasa industri telekomunikasi *fixed phone* tidak lagi cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Mobilitas masyarakat yang semakin tinggi menyebabkan industri telekomunikasi seluler berkembang dengan pesat. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan jumlah pengguna jasa telepon seluler dari berbagai operator jasa telekomunikasi seluler yang sangat tinggi, seperti ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah pengguna jasa telepon seluler

Jenis akses	Tahun (jumlah dalam juta)		
	2005	2006	2007
Fixed	13,4	14,0	16,2
Seluler	46,0	66,5	78,5

(Sumber : Ditjen Postel, 2008)

Sebagai gambaran, berdasarkan prediksi Kamar Dagang dan Industri (Kadin) dan Asosiasi Telekomunikasi Seluler Indonesia (ATSI), nilai bisnis industri telekomunikasi di Indonesia tahun 2008 diprediksi akan mencapai Rp 60 triliun-Rp 70 triliun yang dipicu oleh pembangunan jaringan oleh operator ke sejumlah daerah dan kota serta makin meningkatnya jumlah pelanggan (*Bisnis*



Indonesia, 2008). Saat ini jumlah pelanggan telekomunikasi nirkabel di Indonesia mencapai 126 juta orang dan tahun depan diproyeksikan menembus 150 juta orang, sementara margin EBITDA (*Earning Before Interest, Tax, Depreciation, and Amortization*) rata-rata operator berkisar antara 40%-50% (Ditjen Postel, 2008).

Perumbuhan yang pesat dari pengguna jasa telekomunikasi seluler, tentu berdampak pada minat investor untuk menjadi operator telekomunikasi. Selain itu tentu operator telekomunikasi seluler yang sudah eksis dalam pasar akan berusaha mempertahankan pelanggan yang ada bahkan memperbanyak jumlah pelanggan. Oleh karena itu mengenal karakteristik pelanggan dan calon pelanggan menjadi penting untuk mempertahankan posisi bersaingnya dalam pasar. Dengan mengenal dengan baik pelanggan dan calon pelanggan, maka perusahaan operator jasa telekomunikasi seluler dapat menyusun *business plan* (perencanaan bisnis) yang tepat. Tabel 2 menunjukkan jumlah pelanggan kartu prabayar di Indonesia dari berbagai operator telekomunikasi.

Tabel 2. Statistik Pelanggan Kartu Prabayar di Indonesia

Penyelenggara telekomunikasi	Jumlah
Telkomsel	50.548.000
Indosat	25.750.628
Exelcomindo Pratama	22.423.262
Hutchison CP. Telecommunications	3.209.196
Natrindo Telepon Seluler	591.99

Sumber: Ditjen Postel (2008)

Penelitian tentang preferensi konsumen telah dilakukan. Erasmus, Boshoff, dan Rousseou (2001), yang mengkritisi model-model keputusan konsumen yang telah dikembangkan dan menyarankan agar penelitian selanjutnya bersifat *context specific* dan *product specific*. Beberapa penelitian tentang preferensi konsumen yang bersifat produk spesifik dan konteks spesifik yang telah dilakukan antara lain penelitian tentang profil ideal telepon genggam GSM (Kuswoyo, 2004) dan penelitian tentang optimisasi konsep minuman probiotik (Sorenson dan Bouge, 2005). Sedangkan penelitian tentang hubungan

antara lingkungan sosial dan penerapan program pemasaran terhadap preferensi dan loyalitas dan penggunaan jasa telekomunikasi telah dilakukan dengan mengambil studi kasus di Bandung (Sudarma, 2000) dan di Jakarta (Rukmana, 2006).

Dari penelitian-penelitian di atas dan dihubungkan dengan gejala yang terjadi di industri telekomunikasi seluler GSM di Indonesia, maka perlu dilakukan penelitian tentang persepsi konsumen yang melahirkan preferensi terhadap jasa telekomunikasi seluler GSM yang akan menuntun kepada keputusan pembelian dan merupakan salah satu dasar dalam menyusun *business plan*. Pertanyaan-pertanyaan yang ingin dijawab dalam penelitian ini adalah:

1. Atribut penting apa saja yang dipertimbangkan oleh konsumen dalam memilih jasa operator telekomunikasi seluler GSM pra bayar?
2. Bagaimana tingkat kepentingan relatif masing-masing atribut dari jasa operator telekomunikasi seluler GSM pra bayar?
3. Bagaimanakah profil segmentasi konsumen jasa operator telekomunikasi seluler GSM pra bayar berdasarkan tingkat kepentingan relatif masing-masing atribut bagi masing-masing konsumen?
4. Dengan mengetahui preferensi dan segmentasi konsumen, masukan apa yang dapat diberikan terhadap *business plan* untuk operator telekomunikasi seluler?

### Business Plan

*Business Plan* merupakan salah satu pedoman untuk memahami bisnis yang sedang dijalankan, untuk pengembangannya dan untuk membuka usaha baru. Bygrave (1994) mendefinisikan *business plan* sebagai dokumen yang disediakan oleh *entrepreneur* sesuai pula dengan pandangan penasehat profesionalnya. Dokumen tersebut tersusun berdasarkan hasil pemahaman tentang perilaku dan perubahan perilaku konsumen perusahaan. Dengan demikian, *business plan* merupakan suatu dokumen tertulis yang menggambarkan dengan jelas bagaimana suatu usaha atau industri dijalankan dan akan dikembangkan, yang disusun berdasarkan pemahaman perilaku

dan perubahan perilaku konsumen dengan melibatkan penasehat profesional.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rekomendasi dalam menyusun suatu business plan bagi industri jasa telekomunikasi seluler, khususnya di Kota Madya Yogyakarta. Rekomendasi diberikan berdasarkan hasil analisis preferensi konsumen, analisis konjoin dan analisis klaster.

### Preferensi Konsumen

Berbagai teori dan konsep tentang perilaku konsumen telah dikemukakan oleh beberapa antara lain Asael (1998), Dharmesta (1993), Kotler dan Armstrong (2000), Roger (1990), Peter dan Olson (2003), dan Mowen (1995). Asael (1998) mengemukakan bahwa perilaku konsumen merupakan gambaran interaksi antara pemasar dengan konsumen, oleh karena perilaku konsumen harus dilihat dari sudut pandang pemasar dan konsumen. Hal ini disebabkan oleh perilaku konsumen antara keinginan dengan tindakan terkadang berbeda. Dharmesta (1993) mengemukakan bahwa terdapat tiga hal penting yang harus difahami dalam melakukan analisis tentang perilaku konsumen yaitu: (1) perilaku konsumen bersifat dinamis, (2) perilaku konsumen melibatkan interaksi antara perasaan dengan kesadaran, perilaku dengan peristiwa-peristiwa lingkungan, dan (3) perilaku konsumen itu melibatkan petukaran. Kotler dan Armstrong (2000) mengemukakan suatu model tanggapan-rangsangan untuk memahami perilaku konsumen, yang melibatkan unsur-unsur: Stimuli, Karakteristik Pembeli, Proses Keputusan Pembeli dan Keputusan Pembeli. Roger (1990) mengemukakan model perilaku konsumen yang berdasarkan konsep strategi pemasaran, bahwa keputusan konsumen dipengaruhi oleh perbedaan individu, pengaruh lingkungan dan pengaruh psikologis. Peter dan Olson (2003) mengemukakan model perilaku konsumen yang dinamis yang melibatkan tiga elemen analisis yaitu pengaruh kesadaran (*cognition*), lingkungan (*environment*) dan perilaku (*behaviour*). Dan Mowen (1995) mengemukakan Model Organisasi Perilaku Konsumen yang melibatkan interaksi antara *market research* dengan *environmental*

*analysis*. Pada sisi *market research* melibatkan interaksi timbal balik antara *resources exchanges* dengan *buying unit* dan *individual influencers*. Sedangkan pada sisi *environmental analysis* melibatkan interaksi timbal balik antara *marketer* dan *develops strategy* dengan *environmental influencers*.

Dari berbagai teori dan konsep di atas, jelas bahwa perilaku konsumen yang dibahas adalah dalam konteks pemasaran produk atau jasa. Karena pengambil keputusan membeli atau tidak membeli sepenuhnya pada posisi konsumen, maka untuk mengidentifikasi perilaku atau preferensi konsumen digunakan elemen dari bauran pemasaran (*marketing mix*) jasa yaitu tujuh P (7P) yang terdiri dari *product*, *price*, *place*, *promotion*, *people*, *process*, dan *physical evidence* (Zeithaml dan Bitner, 1996).

### INSTRUMEN DAN ALAT ANALISIS PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan instrumen dan alat analisis berikut.

#### Konsep Bauran Pemasaran 7P

Instrumen ini digunakan untuk mengidentifikasi preferensi konsumen berdasarkan konsep 7P tersebut. Dari hasil identifikasi dan analisis yang dilakukan didapatkan 25 buah indikator (atribut), yang merupakan stimuli yang akan dipersepsikan oleh konsumen (responden) dan dievaluasi untuk menjadi preferensi konsumen. Responden adalah pelajar SLTP dan SLTA se Kota Madya Yogyakarta.

#### Kuisisioner.

Instrumen ini digunakan untuk mengetahui atribut-atribut penting apa yang dipertimbangkan konsumen (responden) dalam memilih operator jasa telekomunikasi seluler. Dari penelitian pendahuluan yang melibatkan 30 responden yang kemudian hasilnya diuji dengan *Cochran Q test* dengan  $\alpha=0,05$ , diperoleh 12 atribut yang dianggap penting oleh konsumen.

#### Analisis Konjoin.

Analisis konjoin adalah teknik multivariat yang secara khusus digunakan untuk

mempelajari bagaimana responden membuat preferensi terhadap produk atau jasa. Hal ini berdasarkan premis sederhana bahwa konsumen mengevaluasi produk/jasa atau ide dengan cara mengkombinasikan sejumlah nilai terpisah yang dimiliki oleh setiap atribut dari produk/jasa/ide.

**Profil Kartu Prabayar GSM**

jangkauan	: seluruh Indonesia
sinyal	: kuat di dlm&di luar gedung
suara	: kurang jernih
teknologi	: 3G menengar
telepon	: Rp.5,00/dtk
internet	: Rp.10/Kb
pelayanan call center	: sulit dihubungi
SMS	: Rp.150,00
wkt aktif pulsa	: sisa masa aktif diakumulasi
panggian tersambung	: <95%
jenis layanan	: layanan stancar
tarif potongan harga	: Rp.0.1,00/dtk

Berdasarkan profil di atas, nyatakanlah seberapa minat Sdr/Sdri untuk menggunakan kartu prabayar tersebut

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

sangat tdk berminat
sangat berminat

**Gambar 1. Contoh Profil Operator Jasa Telekomunikasi Seluler**

Pada penelitian ini analisis konjoin dilakukan dengan menggunakan metode *The full-profile presentation method*. Dari hasil analisis terhadap ke-12 atribut yang dihasilkan pada penelitian pendahuluan, didapatkan bahwa masing-masing atribut memiliki dua level. Ke-12 atribut dengan masing-masing dua level dianalisis, yang kemudian menghasilkan 16 stimuli yang akan dinilai oleh responden pada penelitian untuk melakukan analisis konjoin. Masing-masing stimuli menggambarkan profil operator jasa telekomunikasi seluler prabayar. Proses penyusunan stimuli dibantu dengan software SPSS 16. Kuisisioner akhir disusun dengan mengandung komponen stimuli dan data demografi responden. Data demografi konsumen digunakan untuk analisis kluster. Contoh profil operator ditunjukkan Gambar 1.

### Analisis Kluster

Analisis kluster merupakan teknik statistik multivariat yang bertujuan untuk mengelompokkan objek-objek berdasarkan

kesamaan karakteristik di antara objek tersebut sehingga objek-objek tersebut mempunyai tingkat kesamaan yang tinggi di dalam satu kelompok dibandingkan dengan objek dari kelompok lain (Hair & Anderson, 1998). Dalam penelitian ini analisis kluster yang digunakan adalah analisis *K-Mean Cluster* dengan pertimbangan lebih sederhana dibanding analisis Hirarki. Hasil analisis kluster yang menggunakan bantuan software SPSS 16 menghasilkan 11 kluster. Dalam analisis kaster juga dibantu dengan Anova (*analysis of variance*) untuk pebedaan antara kluster.

### HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 25 atribut, diperoleh 12 atribut yang dianggap penting oleh konsumen sebagai faktor penentu pemilihan operator jasa telekomunikasi seluler prabayar seperti ditunjukkan Tabel 3. Selain menunjukkan ke-12 atribut yang dianggap penting, Tabel 3 juga merupakan hasil analisis konjoin yang menunjukkan tingkat kepentingan relatif dari masing-masing atribut.

**Tabel 3. Urutan atribut berdasarkan tingkat kepentingan relatif dari analisis konjoin secara agregat**

No.	Importance Value	Faktor	% Responden
1	14.203	Coverage (area cakupan operator telepon seluler)	93.33
2	9.936	Kepedulian terhadap keluhan pelanggan	90
3	9.874	Tarif SMS	83.33
4	8.881	Kejernihan suara	83.33
5	8.293	Kekuatan sinyal	83.33
6	8.216	Ketentuan tarif pada waktu ada potongan harga	83.33
7	7.624	Tarif akses internet	80
8	7.266	Tingkat kemampuan teknologi	76.67
9	6.923	Call success rate	73.33
10	6.918	Tarif telepon	70
11	6.093	Ketentuan waktu aktif pulsa	66.67
12	5.772	Jenis layanan yang ditawarkan	63.33

Dari hasil analisis konjoin, selanjutnya dilakukan analisis kluster dengan hasil yang ditunjukkan Tabel 4.

## ANALISIS

### Atribut Layanan Telekomunikasi

Berdasarkan identifikasi menggunakan kaidah 7P menunjukkan terdapat 25 atribut yang menjadi preferensi yang melekat dalam pemilihan operator jasa telekomunikasi seluler. Hasil penelitian awal yang dilakukan terhadap 30 responden dan menggunakan uji *Cochran Q Test*, 12 atribut dianggap paling penting oleh konsumen. Di antara ke 12 atribut yang dianggap penting tersebut adalah *coverage*, kekuatan sinyal dan kejernihan suara, sedangkan di antara atribut yang dianggap kurang penting adalah harga perdana, pemberian hadiah dan penampilan kantor operator. Memperhatikan atribut-atribut yang dianggap penting dan dianggap kurang penting oleh konsumen, menunjukkan bahwa pada saat sekarang konsumen semakin cerdas dalam menentukan pilihannya terhadap operator jasa telekomunikasi. *Coverage*, kekuatan sinyal dan kejernihan suara yang dianggap penting oleh konsumen, merupakan keinginan yang paling mendasar dari orang yang berkomunikasi dengan telepon seluler sedangkan harga perdana, pemberian hadiah dan penampilan kantor operator hanya merupakan atribut pelengkap yang dipertimbangkan oleh konsumen.

### Segmentasi Konsumen

Hasil dari analisis klaster menunjukkan bahwa konsumen tersegmentasi menjadi 11 klaster seperti ditunjukkan Tabel 4. Tabel 4

juga menunjukkan bahwa pada masing-masing klaster mempunyai kecenderungan dominan pada atribut tertentu. Misal pada klaster 1, yang lebih mementingkan kemampuan teknologi operator telekomunikasi seluler dibandingkan klaster 2, yang lebih mementingkan tingkat tarif internet. Hal ini menunjukkan bahwa pada klaster 1 merupakan pelajar (SMP atau SMA) yang selalu mengikuti perkembangan teknologi seluler seperti EDGE (*Enhanced Data rate for GSM Evolution*), yang berkemampuan seperti *high quality audio streaming, on line gaming* dan *high speed download*. Jika dikaitkan dengan faktor demografi responden, tentunya pada klaster ini kemungkinan besar merupakan pelajar yang mempunyai uang saku lebih dari Rp 150.000,- per bulan. Sedangkan pada klaster 2, merupakan pelajar yang sering berinternet tetapi dengan kemampuan keuangan atau uang saku yang relatif terbatas. Analisis yang sama dapat dilakukan pada klaster lainnya.

### Demografi Konsumen

Dalam penelitian ini dilakukan juga analisis terhadap demografi responden. Komponen demografi yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah jenis kelamin, usia, uang saku rata-rata, pendidikan, pekerjaan orang tua, dan kegiatan yang paling disukai. Pengelompokan dari masing-masing faktor demografi dilakukan sebagai hasil dari penelitian pedahuluan yang dilakukan terhadap responden.

Tabel 4. Hasil lengkap analisis klaster

	Final Cluster Centers										
	Cluster										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Coverage	13.345	10.836	9.041	17.178	20.725	17.349	10.731	17.699	35.936	8.165	10.322
Sinyal	11.181	4.788	7.342	3.542	13.648	6.955	22.891	17.920	3.404	4.829	7.174
Suara	13.243	7.798	5.580	16.800	6.584	3.522	14.124	3.600	11.142	7.551	6.788
Teknologi	15.689	8.184	4.982	2.973	4.992	7.729	7.463	1.694	8.046	7.179	6.132
Telpon	5.440	8.692	6.110	6.759	12.772	7.487	6.554	1.694	7.022	7.260	3.054
Internet	5.514	13.339	7.484	8.944	8.540	4.370	6.389	6.057	4.833	4.461	10.102
Peduli	11.059	8.749	31.696	14.658	7.032	8.310	3.407	11.759	3.642	6.253	9.304
SMS	5.920	9.015	3.355	9.808	9.844	7.913	8.088	10.828	3.833	25.258	5.170
Aktif	3.396	6.108	6.430	4.704	3.604	6.886	4.417	10.359	5.286	7.691	8.385
CSR	4.285	11.527	6.570	3.736	4.316	9.181	6.690	9.302	7.475	5.194	6.645
Layanan	4.423	5.099	5.617	4.631	5.723	4.825	3.609	1.694	4.524	4.190	15.831
Potongan	6.506	5.867	5.794	7.231	2.219	15.475	5.638	7.396	4.857	11.967	11.096

Jenis kelamin dikelompokkan menjadi pria dan wanita. Usia dikelompokkan menjadi: (1) kurang dari 12 tahun, (2) 12 – 14 tahun, (3) 15 – 17 tahun, dan (4) lebih dari 17 tahun. Uang saku rata-rata dikelompokkan menjadi: (1) kurang dari Rp 50.000, (2) Rp 50.000 – Rp 100.000, (3) Rp 100.000 – Rp 150.000, (4) Rp 150.000 – Rp 200.000, (5) Rp 200.000 – Rp 250.000, dan (6) Lebih dari Rp 250.000. Pendidikan dikelompokkan menjadi: SMP dan SMA. Pekerjaan orang tua dikelompokkan menjadi: (1) Pegawai negeri, (2) Pegawai swasta, (3) Wiraswasta, dan (4) Pekerjaan selain dari ketiga pekerjaan tersebut. Kegiatan paling disukai dikelompokkan menjadi: (1) internet, (2) olahraga, (3) musik, (4) aktif di organisasi, dan (5) selain keempat kegiatan tersebut.

Dari pengelompokan konsumen tersebut dapat tersusun berbagai kombinasi tentang profil demografi konsumen. Jika dikaitkan dengan analisis klaster yang dilakukan sebelumnya dan salah satu faktor demografi konsumen (pelajar) misalnya uang saku, maka ternyata pada klaster 1 didominasi oleh pelajar dengan uang saku lebih besar dari Rp 150.000 per bulan, sedangkan pada klaster 2 didominasi oleh pelajar dengan uang saku kurang dari Rp 100.000 per bulan. Hal ini sejalan dengan karakteristik klaster 1 yang preferensi dominannya adalah atribut teknologi dan klaster 2 yang preferensi dominannya adalah atribut tarif internet. Analisis yang sama dapat dilakukan pada klaster dan faktor demografi lainnya.

## **Business Plan**

Sebagaimana telah diungkapkan pada sub bab sebelumnya, bahwa *business plan* merupakan dokumen yang berisi bagaimana menjalankan dan mengembangkan perusahaan, yang disusun berdasarkan pengenalan yang mendalam akan perilaku konsumen. Oleh karena profil konsumen pada masing-masing segmen atau klaster telah diketahui, maka perusahaan jasa operator telekomunikasi seluler dapat menyusun *business plan*-nya.

Sebagai contoh yang direkomendasikan pada operator jasa telekomunikasi yang adalah jika operator ingin menguasai segmen 1 ini

sebaiknya meningkatkan kemampuan teknologi yang dimiliki serta selalu terdepan dalam menerapkan teknologi baru. Misalnya dengan EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) mampu meningkatkan kecepatan pengiriman data dan kecepatan transmisi data di jaringan. Layanan berbasis teknologi EDGE berkemampuan memberikan berbagai aplikasi layanan generasi ketiga, yakni : *high quality audio streaming, video streaming, on line gaming, high speed download, high speed network connection, push to talk* dan lain-lain. Pada segmen ini konsumen sangat memperhatikan tingkat kemampuan teknologi. Segmen ini terdiri dari pelajar SMA yang orang-orangnya suka mengikuti perkembangan teknologi. Uang saku rata-rata tiap bulan termasuk level agak tinggi sampai level tinggi dengan pekerjaan orang tua sebagai pegawai swasta dan wiraswasta memungkinkan untuk memanfaatkan sebaik-baiknya dana yang ada untuk berbagai kegiatan yaitu internet, olahraga dan musik.

Untuk itu promosi perlu dilakukan di sekolah-sekolah, tempat-tempat berkumpulnya anak muda, warung internet, tempat-tempat untuk olahraga. Promosi yang menarik dengan mengedepankan teknologi akan menarik minat segmen ini.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Atribut penting yang dipertimbangkan oleh konsumen dalam memilih jasa operator telekomunikasi seluler GSM prabayar adalah *coverage*, kekuatan sinyal, kejernihan suara, tingkat kemampuan teknologi, tarif telepon, tarif akses internet, kepedulian terhadap keluhan pelanggan, tarif SMS, ketentuan waktu aktif pulsa, *call success rate*, jenis layanan yang ditawarkan, dan ketentuan tarif pada waktu ada potongan harga.
2. Dari hasil analisis konjoin diperoleh tingkat kepentingan relatif masing-masing atribut dari jasa operator telekomunikasi seluler seperti ditunjukkan Tabel 2 di atas.

3. Dari analisis kluster dihasilkan 11 segmen dan diketahui faktor demografi yang mempengaruhi pembentukan segmen secara signifikan yaitu jenis kelamin, usia, uang saku rata-rata tiap bulan, pendidikan, pekerjaan Orang Tua dan kegiatan paling disukai.

### Saran

Saran-saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Operator telekomunikasi seluler harus jeli melakukan *positioning* dalam menetapkan *business plan* karena setiap segmen konsumen memiliki karakteristik dan keinginan yang berbeda-beda.
2. Penentuan referensi konsumen penting dilakukan sebelum menyusun *business plan*.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian dalam skala yang lebih besar untuk melihat preferensi konsumen di kota-kota lain di Indonesia pada penelitian selanjutnya.
4. Sebaiknya perusahaan secara berkala melakukan survey terhadap preferensi konsumen karena industri telekomunikasi berkembang sangat cepat sekali demikian pula kebutuhan masyarakat, sehingga apa yang diinginkan konsumen saat ini belum tentu sama dengan apa yang diinginkan konsumen di masa yang akan datang.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bogue, J. & Sorenson, D. (2005) *A Conjoint-based Approach to Concept Optimization: Probiotic Beverages*, Departement of Food Business and Development, University College, Cork, Ireland.
- Gaspersz, Vincent. (2002) *Pedoman Penyusunan Rencana Bisnis*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ghozali, I. (2006) *Aplikasi Analisis Multivariat dengan Program SPSS*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- Hair, J. et al. (1998), *Multivariate Data Analysis*, Fifth edition, Prentice Hall, New York.
- Kencanawati, Gilang (2004) *Pengaruh Switching Barrier Terhadap Attitudinal Loyalty dan Customer Retention Pelanggan Seluler Pasca Bayar*, Tesis, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung.
- Kuswoyo, Chandra (2004) *Analisis Preferensi Konsumen terhadap Multiatribut Handset Telepon Seluler GSM dan Implikasinya terhadap Strategi Pemasaran dengan Konjoin Analisis*, Tesis Program Pasca Sarjana ITB, Bandung.
- Littlejohn, Stephen W. (1996) *Theories of Human Communication*, Fifth Edition, Wadsworth Publishing Company, Belmont California.
- Lovelock, C. (2001) *Service Marketing: People, Technology, Strategy*, 4th edition. Prentice – Hall, Inc., New Jersey.
- Murti, Bhisma (2002) Penerapan Analisis Konjoin Untuk Kebijakan Asuransi Kesehatan, *Jurnal Manajemen Pelayanan Kesehatan*, Vol. 05/No. 01/2002, Bagian Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Roger, James F, Blackwell and Miniard, P. W. (1990) *Consumer Behavior*, Edisi Terjemahan, Binarupa Aksara.
- Sekaran, U. (1992) *Research Methods for Business: A Skill Building Approach*, Second Edition, John Willey & Sons, Inc., Canada.
- Simamora, Bilson. (2005) *Analisis Multivariat Pemasaran*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Zeithaml, V.A., Bitner, M.J. (1996), *Service Marketing*, McGraw-Hill Companies, Inc.





## FOTOOKSIDASI LLDPE HASIL TEKNIK HIMREM 1 DENGAN SINAR UV

Hasnah Muin

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang, Telp 0274 895287 Fax 895007 Yogyakarta  
e-mail: hasnahmuin2002@yahoo.com

### ABSTRACT

*Nowdays, LLDPE waste is contributing to worldwide environmental problems, and hence modification of LLDPE to biodegradable material is desirable. Several data indicated that the presence of hydrolyzable and oxidezable functional group in main chain of synthetic polymer are apparent to be essential for biodegradation. In this research films of Himrem Technology1 were exposed to UV light, for increasing times to create several functional groups in LLDPE main chain. Infrared analysis was used to detect the degradation products and the carbonyl index was related to the photooxidation products. The changes in mechanical properties due to the chemical degradation were followed by determining stress-strain curves of films to UV light for increasing. This research indicated a relationship between the development of functional group and the change of physical properties.*

*Keywords: LLDPE, Himrem Technology 1, Photo oxidation*

### PENDAHULUAN

Produksi dan pemakaian plastik makin hari semakin luas. Sebagai plastik kemas *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE) hanya dipakai untuk satu kali pemakaian dan setelah itu dibuang ke tempat sampah. Senyawa ini bersifat inert tahan terhadap cuaca, cahaya, mikroba dalam tanah, dan tidak beraksi secara heterolitik. Hal ini menyebabkan tumpukan sampah makin lama makin luas sehingga dapat mencemarkan lingkungan (Muin, H., 2008; Alberston, A.N., 1992).

Peneliti sebelumnya telah meneliti adanya pengaruh fotooksidasi pada proses biodegradasi LDPE (*Low Density Polyethylene*). Hasil penelitian menunjukkan munculnya gugus karbonil akibat fotooksidasi pada rantai LDPE dapat mempercepat proses biodegradasi. Pada penelitian ini besarnya jumlah gugus karbonil yang maupun ikatan rangkap yang masuk pada rantai LLDPE diukur dengan membandingkan besarnya absorban karbonil (ACO) maupun ikatan rangkap (AC=C) terhadap absorbans metilen (ACH<sub>2</sub>) (Alberston, A.N., 1987). LLDPE mempunyai struktur kimia yang mirip dengan

LDPE, tetapi jumlah cabangnya lebih sedikit sehingga lebih bersifat kristalin dan lebih sukar terbiodegradasi .

Untuk mempercepat proses fotooksidasi pada penelitian ini telah dilakukan penambahan benzofenon dengan Teknik Himrem 1 untuk mempercepat proses fotooksidasi. Karena gugus fungsi yang terbentuk selama penyinaran bukan hanya gugus karbonil, tetapi ada gugus lain seperti ikatan rangkap, eter dan lain-lain yang dapat mempengaruhi sifat-sifat fisika polimer, maka penelitian ini mencoba mengungkapkan perubahan gugus fungsi yang terbentuk selama penyinaran, mekanisme reaksi serta hubungan perubahan gugus fungsi dengan sifat fisika yang terjadi akibat penyinaran.

### METODE PENELITIAN

#### Bahan dan Alat

Bubuk LLDPE murni sebelum ditambah aditif diperoleh dari Petrokimia Interindo Jakarta, benzofenon dari E.Merck Karakterisasi dilakukan dengan cara melakukan analisis gugus fungsi dengan FTIR (Fourier Transform Infra Red) dan UV serta penentuan uji tarik dan sifat perpanjangan menggunakan alat otograf.

## Metoda

Pencampuran LLDPE dengan benzofenon dilakukan dengan Teknik Himrem 1. Penyinaran dilakukan di ruangan fotodegradasi dengan menggunakan lampu UV merek Sylvania KGT5/BL USA pada panjang gelombang 300 nm. Dinding ruang fotodegradasi dilapisi dengan alumunium foil untuk mengurangi penyerapan sinar. Bahan yang disinari berupa lempeng dengan ketebalan 0,9 mm. Udara dan tekanan selama penyinaran sama dengan udara luar. Penyinaran dilakukan terhadap film hasil blending campuran LLDPE dan benzofenon. Penyinaran dilakukan selama 5, 10, 15, 20 dan 25 hari. Analisa gugus fungsi dilakukan dengan menggunakan FTIR. Perubahan sifat fisika yang terjadi akibat penyinaran dilakukan dengan menentukan uji tarik dan, % perpanjangan. Terjadinya fotooksidasi diikuti dengan melihat terjadinya gugus karbonil. Besarnya absorban karbonil, ikatan rangkap, ikatan rangkap ujung dan eter yang terbentuk diikuti oleh besarnya nilai indeks karbonil (A karbonil/A metilen), indeks ikatan rangkap (A ikatan rangkap/A metilen), indeks ikatan rangkap ujung (A ikatan rangkap ujung/A metilen), dan indeks eter (A eter/A metilen) yang dihasilkan.

## Karakterisasi

### Analisa gugus fungsi

Analisa gugus fungsi dilakukan terhadap sample yang telah dibuat film dengan menggunakan FTIR merk Perkin Elmer.

### Uji Sifat Mekanik

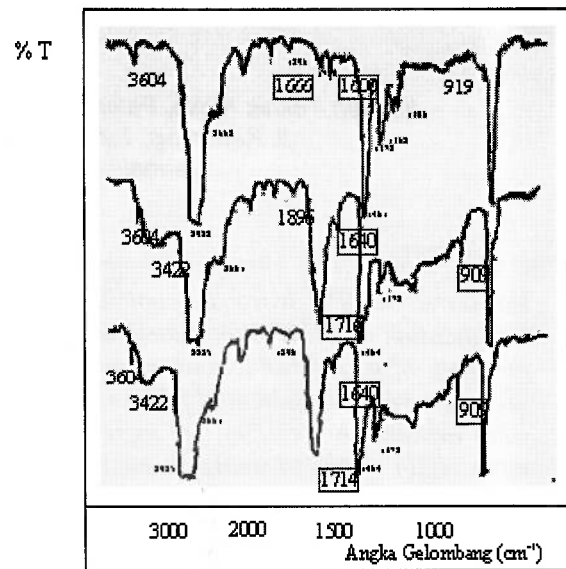
Uji sifat mekanik ditentukan dengan menentukan kuat putus dan perpanjangan saat putus film yang telah dibuat dumbbell menggunakan alat otograf, dengan kondisi alat sebagai berikut:

- Kecepatan tarik = 50 mm/ menit
- Jarak pegangan = 2,5 cm
- Jarak beban = 50 kgf
- Temperatur uji = 24-25<sup>0</sup> C

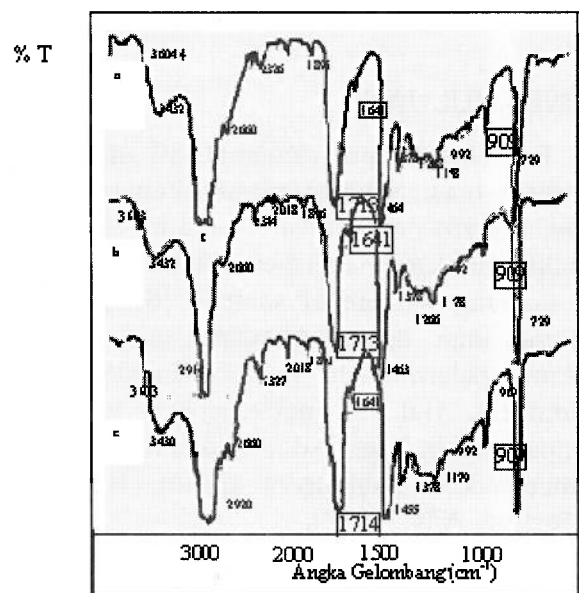
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa gugus fungsi dan perubahan indeks karbonil, eter, ikatan rangkap dan ikatan

rangkap ujung dengan menggunakan FTIR, terlihat pada Gambar 1 dan 2 serta Tabel 1.



Gambar 1. Spektra FTIR: Penyinaran (a) 0 hari (b) 5 hari (c) 10 hari



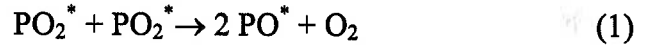
Gambar 2. Spektra FTIR: Penyinaran (a) 15 hari (b) 20 hari (c) 25 hari

Analisis FTIR hasil campuran LLDPE dengan benzofenon (Gambar 1) sebelum penyinaran teramati dengan adanya puncak OH (3604 cm<sup>-1</sup>), kelompok karbonil (1720 cm<sup>-1</sup>; 1666 cm<sup>-1</sup>), ikatan rangkap (1600 cm<sup>-1</sup>), dan puncak C-O antara 1300-1000 cm<sup>-1</sup>. Puncak pada 1666 cm<sup>-1</sup> diprediksi sebagai puncak karboksilat yang terkonjugasi ikatan rangkap. Terjadinya reaksi oksidasi sebelum penyinaran kemungkinan akibat panas pada proses

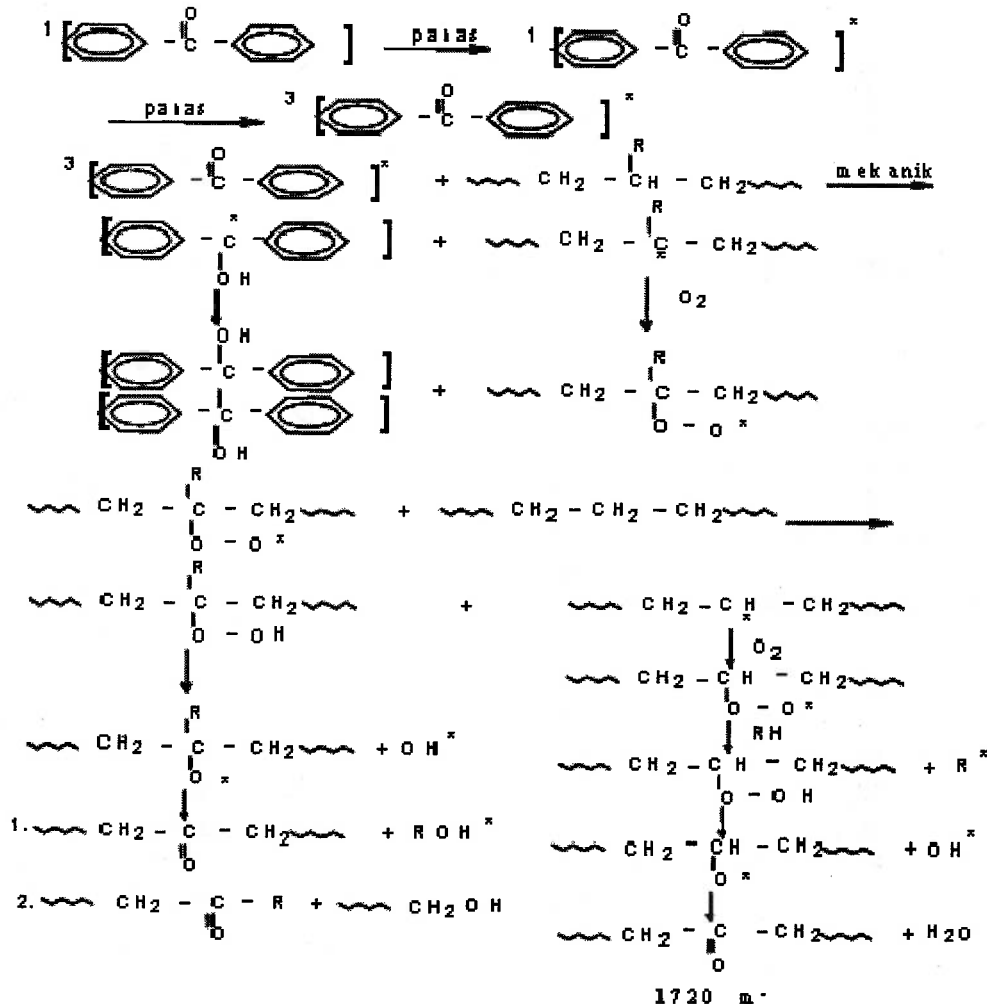
pencampuran. Akibat panas benzofenon tereksitasi dan kemudian memberikan energinya ke rantai polimer menghasilkan H\* yang beraksi dengan atom O dari benzofenon membentuk keto radikal. Radikal-radikal yang terjadi beraksi dengan oksigen membentuk peroksi radikal, yang berlanjut menghasilkan kelompok gugus karbonil, hidroksil dan ikatan rangkap. Kemungkinan reaksi yang terjadi adalah seperti terdapat pada Gambar 3.

Puncak pada 1720 cm<sup>-1</sup> diprediksi merupakan campuran keton dan ester akibat terjadinya proses oksidasi dalam laboplastomil. Terjadinya proses oksidasi diprediksi karena terjadinya pembentukan oksigen akibat reaksi

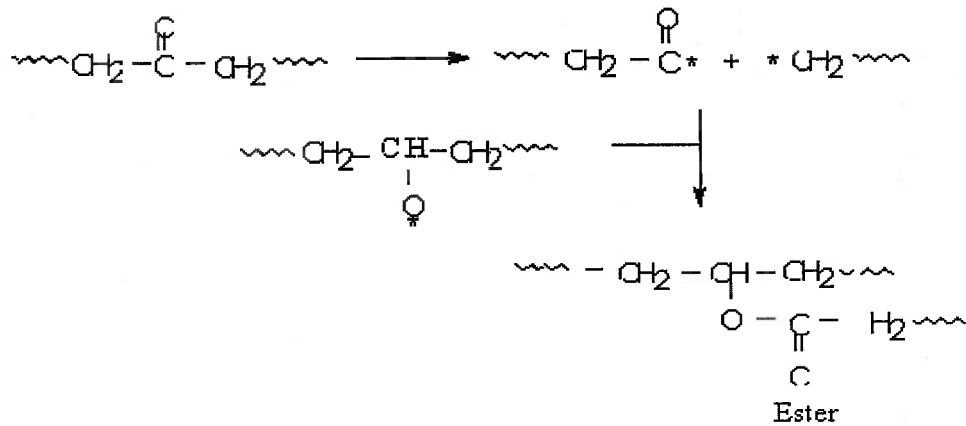
antara peroksi radikal dalam laboplastomil. Reaksi yang terjadi dapat terlihat pada reaksi berikut (Schnabel, 1981):



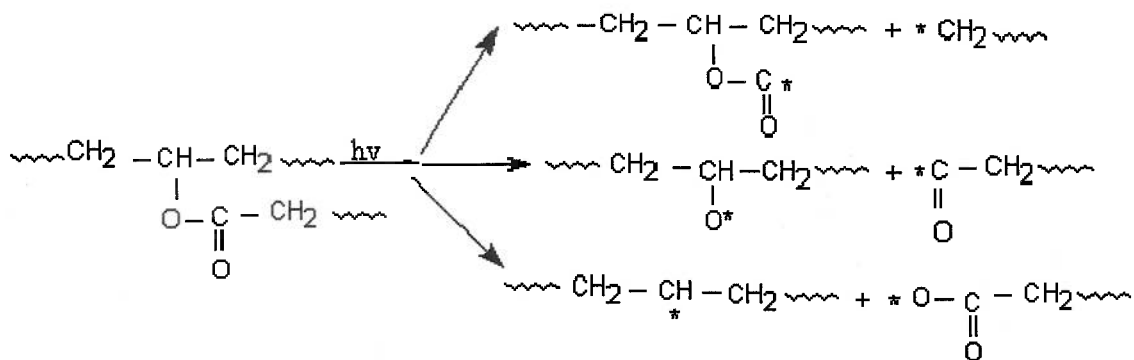
Selain oksigen yang dihasilkan reaksi tersebut di atas, kemungkinan oksigen juga berasal dari laboplastomil sendiri. Adanya gugus ester ditunjang oleh adanya puncak C-O pada 1276 dan 1149. Puncak dari 3604 cm<sup>-1</sup> merupakan puncak dari OH bebas yang kemungkinan berasal dari OH primer karena adanya puncak C-O pada 1076 cm<sup>-1</sup>. Terjadinya ikatan ester ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Mekanisme oksidasi campuran LLDPE dengan benzofenon dalam laboplastomil



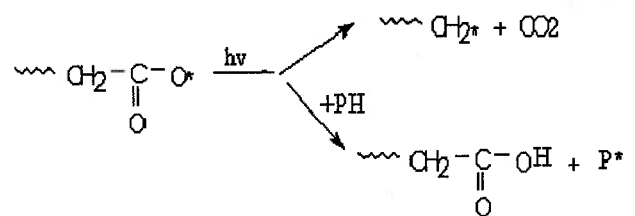
Gambar 4. Mekanisme terjadinya ikatan ester



Gambar 5. Mekanisme pemutusan gugus ester akibat penyinaran

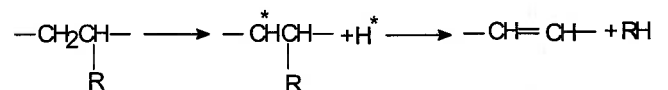
Setelah 5 hari penyinaran tidak terlihat adanya puncak pada  $1666\text{ cm}^{-1}$  dan  $1600\text{ cm}^{-1}$  dan terjadi pergeseran puncak dari  $1720\text{ cm}^{-1}$  ke  $1716\text{ cm}^{-1}$ . Terjadinya pergeseran puncak dari  $1720\text{ cm}^{-1}$  ke  $1716\text{ cm}^{-1}$  kemungkinan disebabkan terjadinya pemutusan ikatan ester akibat penyinaran sehingga menghasilkan campuran keton dan karboksilat. Hilangnya puncak pada  $1666\text{ cm}^{-1}$  dan  $1600\text{ cm}^{-1}$  akibat penyinaran, diprediksi karena terjadinya  $\text{CO}_2$  dan terputus ikatan  $\pi$  menjadi radikal yang kemudian beraksi dengan oksigen dari udara membentuk gugus karbonil. Hal ini ditandai dengan naiknya indeks karbonil setelah penyinaran. Terjadinya pemutusan gugus ester akibat penyinaran diperkirakan karena terjadinya reaksi seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Karboksil radikal dapat menghasilkan  $\text{CO}_2$  atau menghilangkan radikal H dari makromolekul yang lain membentuk karboksilat. Persamaan reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme terbentuknya karboksilat

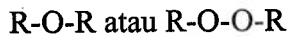
Selain dari pada itu, setelah 5 hari penyinaran juga teramati adanya puncak  $\text{C}=\text{C}$  pada  $1640\text{ cm}^{-1}$  dan puncak eter pada  $1268\text{ cm}^{-1}$  dan  $1177\text{ cm}^{-1}$  dan puncak ikatan rangkap ujung pada  $907\text{ cm}^{-1}$ . Terjadinya ikatan rangkap akibat terjadinya reaksi



Gambar 7. Mekanisme terbentuknya ikatan rangkap

Pembentukan ikatan eter dapat terjadi karena terjadinya ikatan silang antara gugus

karbonil sehingga menghasilkan senyawa berikut ini (Ranby, B. and Rabek J.F., 1975)



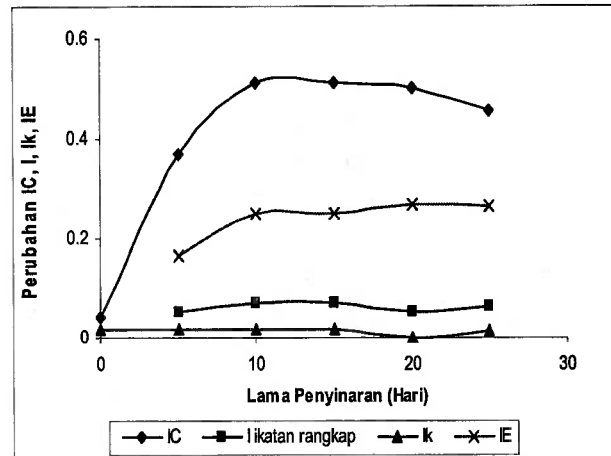
Terjadinya ikatan rangkap ujung disebabkan karena gugus karbonil yang terbentuk pada rantai utama LLDPE setelah penyinaran mengalami reaksi Norrish I dan Norrish II seperti tertera pada reaksi di Gambar 8.

Pada percobaan ini lamanya penyinaran tidak mempengaruhi daerah penyerapan hanya sedikit pergeseran, tetapi mempengaruhi besarnya indeks karbonil (ACO/ACH<sub>2</sub>), ikatan rangkap (A-HC=CH/ACH<sub>2</sub>), ikatan rangkap ujung (A-CH-CH<sub>2</sub>) dan indeks eter R-O-R/ACH<sub>2</sub>. Perubahan indeks karbonil, ikatan rangkap, ikatan rangkap ujung dan eter selama penyinaran terlihat pada Gambar 2

Pada Gambar 9 tidak terlihat adanya ikatan ester akibat penyinaran, tetapi terlihat terjadinya kenaikan indeks karbonil sampai hari kesepuluh. Hal ini kemungkinan karena terjadinya pemutusan ikatan ester, yang dapat menghasilkan karboksilat, radikal-radikal-radikal, CO<sub>2</sub> seperti terlihat pada mekanisme sebelumnya. Gambar 2 di atas juga menunjukkan bahwa gugus karbonil merupakan gugus yang paling banyak selama penyinaran yang diikuti oleh eter, ikatan rangkap ujung dan ikatan rangkap. Terlihat bahwa gugus karbonil naik sampai hari ke 10. Setelah hari ke sepuluh indeks karbonil mengalami penurunan.

Terjadinya penurunan indeks karbonil diiringi dengan naiknya ikatan eter. Hal ini menunjukkan terjadinya ikatan silang antara gugus karbonil membentuk ikatan eter pada hari ke-5 sampai hari ke-25. Ikatan silang yang

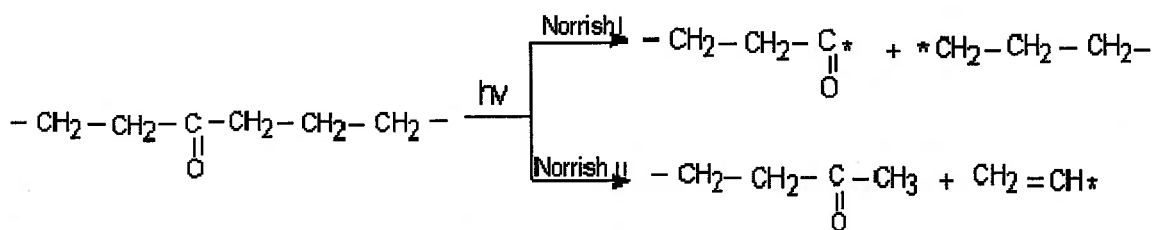
terjadi dapat berupa, R-O-R atau R-O-O-R (Ranby, B. and Rabek J.F. 1975). Pada percobaan ini juga ditemukan terjadinya kenaikan indeks ikatan rangkap pada hari ke-5 sampai hari ke-10 dan kemudian mengalami penurunan sampai hari ke-20 dan setelah itu naik lagi sampai hari ke 25.



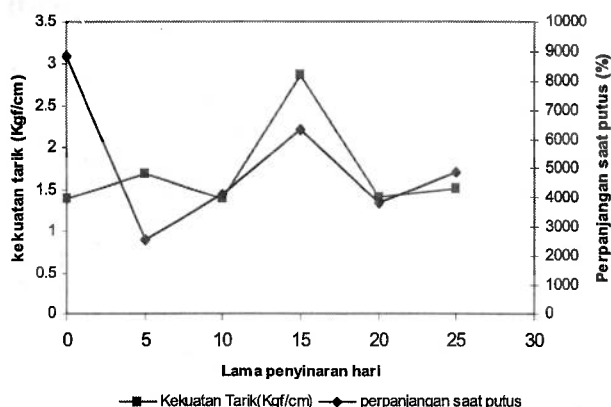
Gambar 9. Perubahan Indeks karbonil, ikatan rangkap, ikatan rangkap ujung dan eter selama penyinaran.

Gambar 9 juga menunjukkan bahwa gugus karbonil merupakan gugus yang paling banyak selama penyinaran yang diikuti oleh eter, ikatan rangkap ujung dan ikatan rangkap. Terlihat bahwa gugus karbonil naik sampai hari ke-10 dan setelah itu mengalami penurunan. Ikatan eter dari hari ke-5 sampai hari ke-25 mengalami kenaikan, indeks ikatan rangkap ujung naik sampai hari ke-15, hari ke-15-20 turun setelah itu naik lagi. Indeks ikatan rangkap naik sampai hari ke-10, hari ke-10 sampai ke 20 turun dan setelah itu naik lagi.

Perubahan kekuatan putus dan perpanjangan saat putus akibat penyinaran terlihat pada Gambar 10.



Gambar 8. Mekanisme terjadinya ikatan rangkap ujung



Gambar 10. Perubahan kekuatan tarik dan perpanjangan saat putus akibat penyinaran

Pada Gambar 10 terlihat terjadinya penurunan % perpanjangan akibat penyinaran sampai hari ke 5, Hal ini disebabkan terjadinya pemutusan ikatan ester akibat penyinaran. Ester merupakan gugus yang fleksibel yang dapat menaikkan % perpanjangan, Dari hari ke 5 sampai hari ke 10, % perpanjangan mengalami kenaikan disebabkan naiknya indeks ikatan rangkap, ikatan rangkap ujung dan indeks eter. Hari ke 10 sampai hari ke 15% perpanjangan tetap mengalami kenaikan karena naiknya ikatan rangkap ujung dan indeks eter. Kemudian mengalami penurunan sampai hari ke 20 yang disebabkan turunnya indeks ikatan rangkap membentuk ikatan silang walaupun indeks eter mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan jumlah ikatan rangkap lebih mempengaruhi % perpanjangan dibandingkan eter. Pada hari ke 20 sampai hari ke 25 % perpanjangan naik kembali sejalan dengan naiknya indeks ikatan rangkap dan indeks ikatan eter. Dari data di atas diperkirakan ada hubungan antara ikatan rangkap dan ikatan eter dengan % perpanjangan. Hal ini disebabkan karena ikatan rangkap maupun ikatan eter mengandung gugus yang fleksibel. Gambar 3 di atas juga menunjukkan terjadinya kenaikan kuat putus sampai hari ke 5. Hal ini disebabkan setelah penyinaran sampai hari ke 5 terjadi pemutusan ikatan ester yang dapat menimbulkan radikal-radikal pada rantai polimer. Radikal-radikal yang terbentuk kemudian bergabung membentuk ikatan silang, walaupun pada saat itu terjadi pembentukan gugus karbonil. Pembentukan gugus karbonil juga diiringi pembentukan gugus eter akibat ikatan silang dari gugus karbonil. Pada hari ke 5

sampai hari ke 10 kuat putus turun, sejalan dengan naiknya indeks karbonil. ikatan rangkap dan ikatan rangkap ujung. Hal ini disebabkan karena masuknya gugus karbonil naiknya ikatan rangkap ujung yang menunjukkan pemutusan ikatan polimer karena terjadinya reaksi Norish Type II. Pada hari ke 10 sampai hari ke 15 kuat putus naik sejalan dengan turunnya indeks karbonil karena terjadi ikatan silang membentuk eter, dan turunnya indeks ikatan rangkap dan ikatan rangkap ujung membentuk radikal-radikal yang dapat menghasilkan ikatan silang. Pada hari ke 15 sampai hari ke 20 kuat putus turun, walaupun indeks karbonil, ikatan rangkap maupun ikatan rangkap ujung mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan pada hari ke 15 telah terjadi pemutusan ikatan. Pada hari ke 20 kuat putus naik, sejalan dengan turunnya indeks karbonil membentuk ikatan eter akibat terjadinya ikatan silang antara gugus karbonil walaupun indeks ikatan rangkap dan indeks ikatan rangkap ujung tidak mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan terjadinya gugus karbonil membentuk ikatan eter lebih dominan dari terjadinya ikatan silang akibat penurunan ikatan rangkap.

## KESIMPULAN

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada proses fotooksidasi LLDPE yang telah ditambah benzofenon sebagai fotosensitizer terjadi persaingan antara terbentuknya gugus karbonil dan ikatan silang.
2. Besarnya % perpanjangan sangat dipengaruhi gugus yang fleksibel
3. Besarnya kuat putus sangat dipengaruhi oleh indeks karbonil dan terjadinya ikatan silang dari ikatan rangkap maupun gugus karbonil selama penyinaran.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Dirjen Dikti yang telah memberikan bantuan dana penelitian, sampai terwujudnya tulisan ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada karyawan Lab Teknologi dan Lab Organik ITB yang telah banyak membantu penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Albertsson, A.C., S.O. Andersson, dan S, Karlsson. (1987) The Mechanism of Biodegradation of Polyethylene, *Polym, Degrad, Stab*, 18, 73-78.
- Albertsson, A.C. (1992) Biodegradation of Polymers, dalam *Handbook of Polymer Degradation*. Marcel Dekker, INC., 346-363.
- Muin, H. (2005) *Memasukkan Gugus Fungsi Pada Rantai LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) Untuk Memudahkan Degradasi*, Disertasi, ITB. Bandung.
- Ranby, B., and Rabek, J.F. (1975) *Photodegradation, Photo - Oxidation and Photo stabilization of Polymers*, John Wiley & Sons Ltd.
- Schnabel W. (1981) Mechanical Degradation, *Polymer degradation: Principles and Practical Application*, Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
- Steven, M.P. (1975) *Polymer Chemistry an Introduction*, Addison-Wesley Publishing, Company, Inc, 49- 72 dan 189-203.





## FOTODEGRADASI ALIZARIN RED S MELALUI REAKSI PHOTO-FENTON-LIKE DENGAN KATALIS FE(III)/ZEOLITE BETA

Is Fatimah

Program Studi Ilmu Kimia, Universitas Islam Indonesia  
Kampus Terpadu Ull, Jl. Kaliurang Km 14, Besi, Yogyakarta 55581  
e-mail: isfatimah@fmipa.uil.ac.id

### ABSTRACT

*Purpose of research is to synthesize and study the activity of Fe(III)/ BEA beta on the alizarin red S photodegradation via Photo-Fenton Like mechanism. Catalyst was prepared by SBA ion exchange process to Fe<sup>3+</sup> solution at the condition of ion concentration is fourth times to cation exchange capacity (CEC) of SBA. Activity test of Fe(III)/BEA was studied compared to the oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as well as advance oxidation process with UV- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> systems. Alizarin red S concentration at varied time of reaction was analyzed using UV-Visible spectrophotometry.*

*Result of research show that there is catalytic activity of Fe(III)/BEA as shown by the increase of reaction rate relative to both the oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration and catalyst dosage to the kinetic constant explain the influencing factors in the mechanism.*

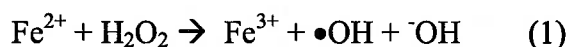
*Keywords: Photo-Fenton, SBA, photodegradation*

### PENDAHULUAN

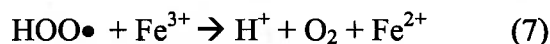
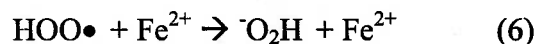
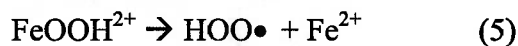
Kontaminasi air oleh molekul organik menjadi permasalahan di lingkungan, terutama berkaitan dengan pengolahan unit pengolahan limbah dalam industri. Pada beberapa industri tekstil dan percetakan termasuk industri batik, keberadaan zat warna sebagai konstituen utama air limbah mendapatkan perhatian serius. Hal ini terkait dengan sulitnya degradasi zat warna dengan pengolahan limbah secara fisik dan secara biologi. Untuk itu teknik pengolahan limbah zat warna secara oksidasi kimiawi banyak dipilih.

Di antara beberapa teknik pengolahan limbah organik secara kimiawi, teknik oksidasi Fenton, *Fenton like*, *Photo-Fenton* dan *Photo-Fenton Like* (PFL) merupakan teknik yang berkembang saat ini. Ketiga reaksi tergolong ke dalam mekanisme proses oksidasi lanjut (*advance oxidation process*) (Al-Kdasi et.al., 2004; Piereza, 2002; Bauer dan Fallman, 1997). Prinsip dasar dari ketiga dari mekanisme tersebut terletak pada aktivitas ion Fe<sup>2+</sup> dan Fe<sup>3+</sup> dalam system yang membangkitkan radikal peroksida untuk selanjutnya berperan dalam mekanisme oksidasi zat seperti disajikan dalam persamaan

reaksi (1)-(3) (Neamtu et. Al., 2003; Lapertot et.al., 2007).



Berdasar mekanisme tersebut, dapat disimpulkan bahwa mekanisme reaksi terjadi dari interaksi antara Fe(II) dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menghasilkan radikal OH•. Fe(II) juga diregenerasi melalui keberadaan ion Fe(III) dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang selanjutnya disebut reaksi Fenton-like dengan mekanisme reaksi (4)-(7).

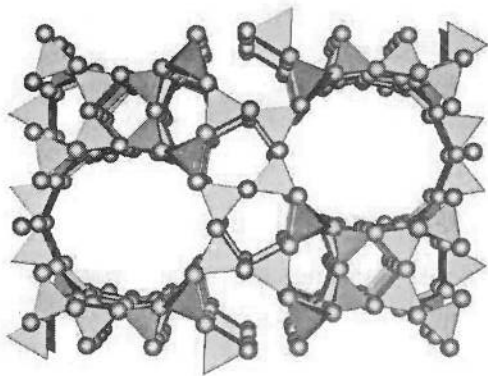


Reaksi berlangsung cepat pada kondisi asam dan bersifat reaktif tidak selektif. Oleh karena radikal peroksida berperan penting dalam mekanisme, percepatan produksi radikal dapat dilakukan melalui iradiasi sinar UV dan selanjutnya proses disebut dengan Photo-Fenton dan Photo-Fenton like (Lapertot et. Al., 2007).

Namun demikian, teknik *Photo-Fenton like* memiliki kelemahan berkaitan dengan lepasnya ion besi (III) ke dalam efluen sehingga hal ini memberikan permasalahan baru. Imobilisasi ion  $Fe^{3+}$  ke dalam suatu padatan imobil merupakan teknik yang banyak dikembangkan. Selain meminimalkan lepasnya ion  $Fe^{3+}$ , imobilisasi katalis dalam suatu padatan ini akan memberikan keuntungan terkait dengan dapat digunakannya kembali katalis. Beberapa padatan pengikat ion  $Fe^{3+}$  banyak dipelajari aktivitasnya dalam mekanisme Photo-Fenton untuk degradasi zat warna dan beberapa diantaranya adalah penggunaan zeolit (Hrvoje et. al., 2006; Noorjahan et. al., 2005; Tang et. al., 2005; Martinez et. al., 2007; Martinez et. al., 2005).

Dalam penelitian ini, dipelajari aktivitas  $Fe^{3+}$  terimobilisasi pada zeolit beta (BEA) sebagai fotokatalis pada degradasi zat warna alizarin red S. Imobilisasi ion  $Fe^{3+}$  dalam zeolit berprinsip pada sifat pertukaran kation dari zeolit beta. Pada kesetimbangan pertukaran kation, ion-ion  $Fe^{3+}$  akan menggantikan ion-ion asli pada pori-pori zeolit yang terdiri dari ion-ion alkali dan alkali tanah (Cabrera et. al., 2005; Cabrera et. al., 2005b).

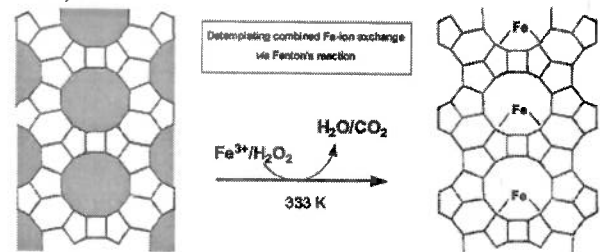
Zeolit beta sendiri merupakan jenis zeolit sintesis tersusun atas kerangka silika alumina dengan struktur channel 12 cincin (7.6 x 6.4 A) bersilangan dengan channel 10 cincin (5.5 x 6.5 A) dengan perbandingan silika alumina antara 25-200 seperti tergambar melalui skema pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Tiga Dimensi BEA

Secara teoritis, peranan katalis heterogen dalam mekanisme Foto-Fenton sama seperti peranan  $Fe^{3+}$  dalam bentuk larutan. Keberadaan

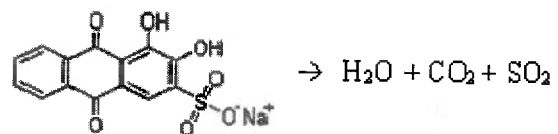
ion  $Fe^{3+}$  memicu pembentukan radikal peroksida oleh adanya interaksi dengan hidrogen peroksida. Representasi skematik mekanisme Photo-Fenton like mengacu pada abstrak skematik yang disampaikan Cabrera et al. (2005) pada Gambar 2 (Cabrera et. al., 2005).



Gambar 2. Representasi Skematik Mekanisme PFL oleh Fe(III)/BEA

Sumber: Cabrera et al. (2005)

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari peranan katalis heterogen Fe(III)/BEA dalam mekanisme degradasi alizarin red S melalui mekanisme PFL. Alizarin red S sendiri merupakan bahan pewarna tekstil anionik yang banyak digunakan. Struktur dasarnya dari golongan antraquinon menyebabkannya bersifat tidak dapat didegradasi secara biologis/mikrobiologis (Zucca, et. al., 2008). Oksidasi sempurna dari alizarin red S akan menghasilkan mineralisasi senyawa membentuk  $H_2O$ ,  $SO_2$  dan  $CO_2$  (Gambar 3). Pengaruh beberapa parameter dalam kinetika reaksi dipelajari melalui variasi konsentrasi  $H_2O_2$  dan dosis katalis.



Gambar 3. Struktur Alizarin Red S Dan Produk Degradasi

## METODE PENELITIAN

### Bahan Penelitian

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan dalam sintesis katalis terdiri dari zeolit beta (BEA) diperoleh dari zeolyst international dan ammonium besi (III) sulfat dodekahidrat (E.Merck). Spesifikasi BEA: luas permukaan spesifik antara  $710 \text{ m}^2/\text{g}$ , rasio Si/Al= 38 dan prosentase  $Na_2O$  sebesar 0,05%. Zat warna alizarin red S dan  $H_2O_2$

diperoleh dari E.Merk digunakan dalam uji aktivitas katalis.

### Alat Penelitian

Untuk mempelajari kinetika fotodegradasi alizarin red S melalui mekanisme PFL digunakan reaktor terdiri dari gelas beaker di atas magnetic stirrer yang diletakkan dalam ruang lampu. Lampu sebagai sumber foton terdiri dari 20 watt lampu UVB dan 20 watt lampu UVC masing-masing buatan Philips. Kadar alizarin red S hasil fotodegradasi ditentukan menggunakan spektrofotometer UV-Visible HITACHI U 2010.

### Jalannya Penelitian

#### Preparasi Katalis

Preparasi katalis dilakukan dengan pertukaran ion  $Fe^{3+}$  dari prekursor ammonium besi (III) sulfat dodekahidrat oleh BEA. Larutan prekursor bersama padatan BEA dicampurkan dalam labu alas bulat dengan perbandingan mol ekuivalen  $Fe^{3+}$  : kapasitas tukar kation = 4 : 1 kemudian direfluks selama 6 jam. Campuran yang diperoleh disaring dengan pompa vakum dan dinetralkan hingga pH netral. Pertukaran ion dengan sistem refluks ini dilakukan dua kali untuk kemudian padatan yang diperoleh dikeringkan. Padatan kering yang diperoleh selanjutnya disebut sebagai Fe(III)/BEA.

#### Uji Aktivitas Fotodegradasi

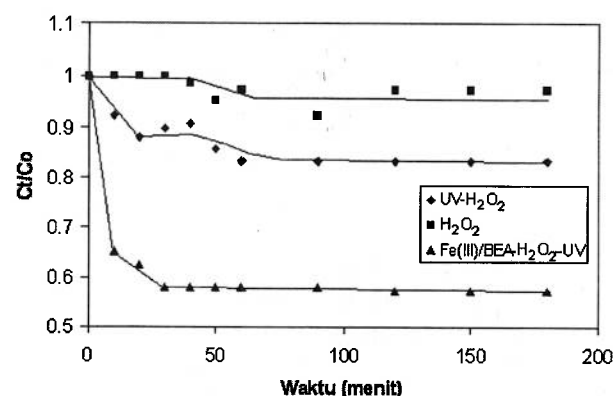
Reaksi PFL pada fotodegradasi alizarin red S dilakukan dengan mencampurkan larutan alizarin red S pada variasi konsentrasi dengan katalis. Ke dalam larutan ditambahkan larutan  $H_2O_2$  sebagai oksidan dan kemudian diaduk di bawah iluminasi lampu UV dan sample larutan diambil secara sekuensial pada selang waktu tertentu untuk ditentukan kadarnya secara kolorimetri menggunakan spektrofotometer UV-Visible. Untuk mempelajari pengaruh  $H_2O_2$ , dilakukan variasi konsentrasi  $H_2O_2$  terhadap  $Fe^{3+}$  dengan perbandingan 5:1, 20:1 dan 40:1. Dosis katalis dipelajari dengan melakukan variasi pada 0,05 g/ 100 mL, 0,1 g/100 mL dan 0,4 g/100 mL. Kajian aktivitas katalitik ditentukan berdasarkan penentuan konstanta laju reaksi degradasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui keberartian peranan katalis Fe(III)/BEA terhadap peranan  $H_2O_2$  dalam mekanisme fotooksidasi, dilakukan kajian perbandingan kinetika degradasi dalam sistem reaksi PFL(Fe(III)/BEA- $H_2O_2$ -UV), sistem UV-  $H_2O_2$  dan sistem  $H_2O_2$  tanpa UV. Kurva kinetika degradasi sebagai fungsi waktu disajikan pada Gambar 4. Konstanta laju awal reaksi (*k<sub>inital</sub>*) dan konsentrasi alizarin red S pada kesetimbangan relatif terhadap konsentrasi awal (*C<sub>eq</sub>/C<sub>0</sub>*) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta laju awal reaksi fotodegradasi dan konsentrasi kesetimbangan alizarin red S dengan sistem PFL, UV- $H_2O_2$  dan  $H_2O_2$  tanpa UV

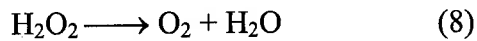
Sistem	<i>k<sub>inital</sub></i> (1/menit)	<i>C<sub>eq</sub>/C<sub>0</sub></i>
PFL	$16,853 \times 10^{-3}$	0,57
UV- $H_2O_2$	$3,369 \times 10^{-3}$	0,83
$H_2O_2$	$2,370 \times 10^{-3}$	0,97



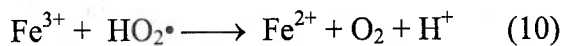
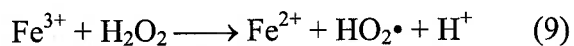
Gambar 4. Perbandingan Kinetika Fotodegradasi Alizarin Red S Dengan Sistem PFL, UV- $H_2O_2$  Dan  $H_2O_2$  Tanpa UV

Berdasar kurva kinetika (Gambar 4) diperoleh dengan menunjukkan bahwa peranan UV dan katalis Fe(III)/BEA cukup signifikan pada mekanisme fotodegradasi ditunjukkan dengan peningkatan laju fotodegradasi. Hingga 60 menit, penurunan konsentrasi alizarin red S menggunakan  $H_2O_2$  tanpa UV tampak tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada selang waktu tersebut tidak terjadi pembentukan radikal peroksida ( $HOO\bullet$ ) maupun spesies oksidan dalam sistem. Adanya radiasi sinar UV mempercepat proses pembentukan radikal sehingga mempercepat terjadinya fotodegradasi alizarin red S. Namun

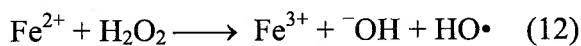
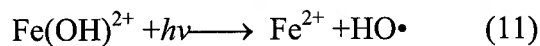
demikian, penurunan konsentrasi berlangsung lambat. Efisiensi fotodegradasi pada selang waktu 60 menit berkisar antara 86-90% dan laju awal fotodegradasi ( $k_{initial}$ ) terhitung sebesar  $3,369 \times 10^{-3}$ . Rendahnya peningkatan laju relatif terhadap sistem  $H_2O_2$  tanpa UV ini terjadi karena dalam sistem tidak terbentuk radikal, namun terbentuk oksigen sesuai dengan persamaan reaksi (8) (Litter, 2006).



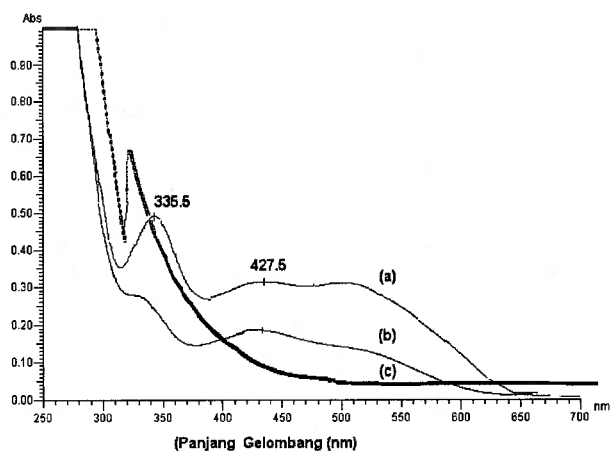
Adanya katalis heterogen Fe(III)/BEA dalam sistem menginisiasi pembentukan radikal melalui interaksi ion Fe(III) dengan  $H_2O_2$  sesuai dengan persamaan reaksi (9)-(10).



Dengan adanya foton, terjadi peningkatan laju reaksi. Selain itu, adanya foton berfungsi me"recycle" peranan katalis Fe(III) melalui pembentukan ion Fe(II). Interaksi ion Fe(II) dengan radikal selanjutnya menghasilkan ion Fe (III) kembali sesuai dengan persamaan reaksi (11) dan (12).



Adanya fotodegradasi alizarin red S ditunjukkan dengan perbedaan spektrum spektrum UV-Visible seperti disajikan pada Gambar 5.

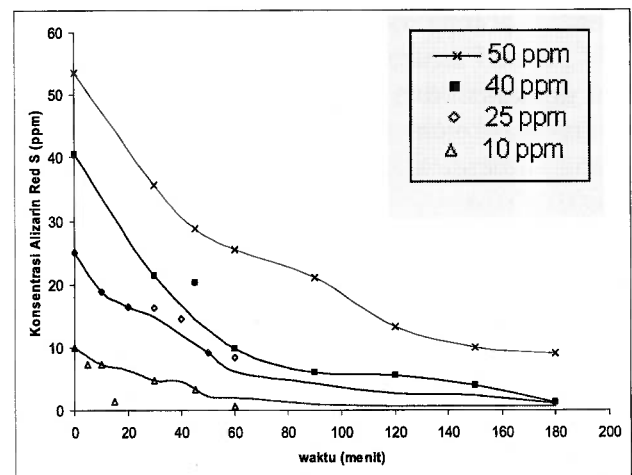


Gambar 5. Perbandingan Spektrum Larutan (a) Alizarin Red S Mula-Mula (b) Alizarin Red S Perlakuan PFL 0,5 Jam (c) Alizarin Red S Perlakuan PFL 2 Jam

Spektrum alizarin red S mula-mula memperlihatkan panjang gelombang maksimum pada 335,5 nm dan 427,5 nm. Puncak masing-masing berkaitan dengan adanya gugus kromofor fenolik dan warna merah dari larutan. Spektrum larutan hasil perlakuan PFL setelah 0,5 jam dan 2 jam memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Selain menghilangnya puncak pada 427,5 nm, terlihat adanya pergeseran puncak pada sekitar 335,5 nm ke arah kiri. Kedua puncak menghilang pada perlakuan PFL selama 2 menit. Perbedaan spektrum ini menunjukkan bahwa dalam mekanisme PFL terjadi proses dekolorisasi berkaitan dengan terbukanya struktur fenolik dalam kerangka hidrokuinon. Pemutusan ikatan-ikatan dan gugus sulfonat pada struktur fenolik menyebabkan pergeseran hipsokromik.

### Kinetika Reaksi

Kinetika reaksi fotodegradasi alizarin red S dengan system PFL dipelajari pada variasi konsentrasi awal alizarin red S. Kurva kinetika disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Kinetika Fotodegradasi Alizarin Red S Pada Variasi Konsentrasi Awal

Pengolahan terhadap data kinetika pada Gambar 4 memberikan kesimpulan bahwa reaksi mengikuti orde satu. Hasil simulasi kinetika dengan nilai konstanta laju reaksi ( $k$ ) serta koefisien korelasi persamaan kinetika orde satu dan orde dua dirangkum pada Tabe. Nilai koefisien korelasi diperoleh berdasar persamaan laju reaksi untuk orde satu dan orde dua sesuai persamaan (13) dan (14).

$$\ln \frac{C_0}{C_t} = kt \quad (13)$$

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_0} + kt \quad (14)$$

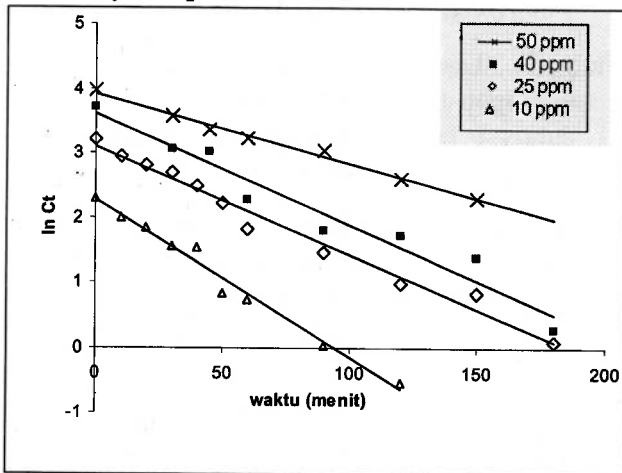
dengan

Ct, Co = konsentrasi alizarin red S pada saat t dan mula-mula  
k = konstanta laju reaksi  
t = waktu reaksi

Tabel 2 Data Hasil Simulasi Orde Reaksi Fotodegradasi Alizarin Red S

Konsentrasi awal alizarin red S (ppm)	Simulasi Orde			
	Orde 1 Koefisien korelasi	k (1/menit)	Orde 2 Koefisien korelasi	k (1/ppm.menit)
50	0,9913	$1,01 \cdot 10^{-2}$	0,9820	$5,35 \cdot 10^{-3}$
40	0,9752	$1,72 \cdot 10^{-2}$	0,8362	$3,23 \cdot 10^{-3}$
25	0,9907	$1,68 \cdot 10^{-2}$	0,9250	$4,15 \cdot 10^{-3}$
10	0,9900	$1,76 \cdot 10^{-2}$	0,9650	$1,14 \cdot 10^{-3}$

Grafik kinetika reaksi fotodegradasi sesuai dengan persamaan laju reaksi mengikuti orde satu disajikan pada Gambar 7.

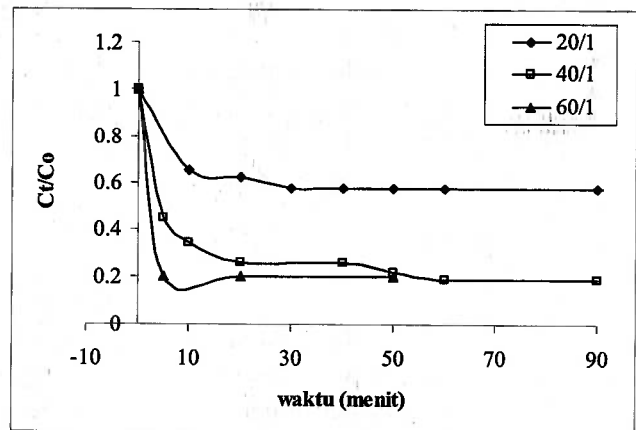


Gambar 7. Grafik Kinetika Orde Satu Fotodegradasi

### Efek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Efek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dalam mekanisme PFL dipelajari dengan melakukan variasi konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dalam sistem PFL pada konsentrasi Fe(III)/BEA sebesar 0,2 % dan konsentrasi awal alizarin red S 10 ppm. Konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> divariasikan pada 20/1, 40/1 dan 60/1 pada perbandingannya terhadap konsentrasi teoritis Fe(III) dalam Fe(III)/BEA. Laju fotodegradasi sebagai fungsi dari konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> disajikan pada Gambar 8.

Berdasar pola penurunan konsentrasi alizarin red S pada variasi konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang berbeda, diperoleh simpulan bahwa kenaikan konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memberikan kecenderungan kenaikan laju reaksi. Pada kondisi perbandingan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : Fe<sup>3+</sup> = 60 : 1 terlihat adanya fotodegradasi sempurna dari alizarin red S ditunjukkan dengan konsentrasi tersisa mendekati nol. Peningkatan konsentrasi hidrogen peroksida, secara mekanisme berperan menyediakan radikal peroksida dalam sistem.

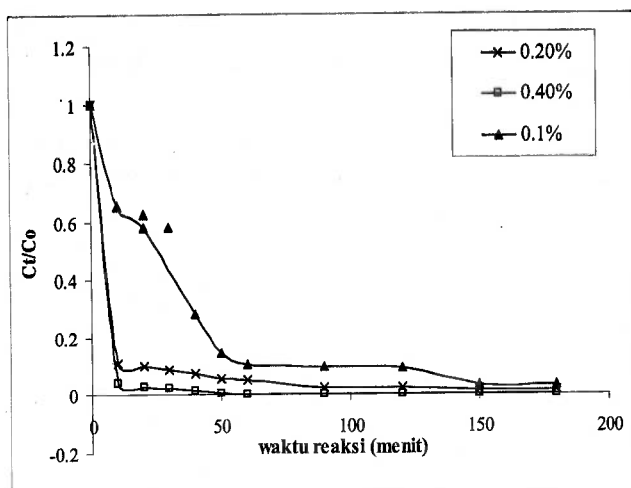


Gambar 8. Kurva kinetika fotodegradasi alizarin red S pada variasi perbandingan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap konsentrasi Fe(III)

### Efek Dosis Katalis

Pola kinetika fotodegradasi alizarin red S pada dosis katalis yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 9. Hal yang dapat disimpulkan dari Gambar 9 adalah bahwa dosis katalis berperan meningkatkan laju reaksi fotodegradasi alizarin red S. Nilai konstanta laju reaksi pada ketiga variasi dosis katalis 0,1, 0,2 dan 0,4% berturut-turut adalah  $1,63 \cdot 10^{-2}$ /menit,  $1,79 \cdot 10^{-2}$ /menit dan  $3,68 \cdot 10^{-2}$ /menit.

Meskipun berperan sebagai katalis, dalam rentang konsentrasi ini peningkatan jumlah katalis dalam sistem berperan menyediakan lebih banyak inisiator peroksida oleh peningkatan jumlah ion Fe<sup>3+</sup>. Selain itu, BEA sebagai pengemban ion Fe<sup>3+</sup> juga menyediakan lebih banyak situs interaksi ionik dengan alizarin red S pada kenaikan dosis katalis.



Gambar 9. Kurva kinetika fotodegradasi alizarin red S pada variasi dosis katalis (kondisi : konsentrasi awal alizarin red S = 10 ppm,  $H_2O_2 : Fe(III) = 40 : 1$ , kecepatan pengadukan = 200 rpm)

## KESIMPULAN

Fe(III)/BEA memiliki aktivitas fotokatalitik pada degradasi alizarin red S melalui mekanisme Photo-Fenton Like ditunjukkan dengan peningkatan konstanta laju reaksi dan laju reaksi awal secara signifikan terhadap sistem oksidasi menggunakan  $H_2O_2$  dan oksidasi lanjut UV- $H_2O_2$ . Meskipun berperan sebagai katalis, dosis Fe(III)/BEA berpengaruh terhadap peningkatan laju fotodegradasi. Aktivitas radikal peroksida yang terbentuk dalam mekanisme reaksi berkaitan dengan dosis katalis, konsentrasi awal alizarin red S dan perbandingan konsentrasi  $H_2O_2$  terhadap konsentrasi ion  $Fe^{3+}$  dalam sistem.

## PUSTAKA

- Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K., Guan, C.T., (2004) Treatment Of Textile Wastewater By Advanced Oxidation Processes: A-review, *Global Nest: the Int. J.*, 6(3): 222-230.
- Piereza, Torradesa, F., Domenech, D., Peral, J., (2002) Fenton And Photo-Fenton Oxidation Of Textile Effluents, *Water Research*, 36: 2703-2710.
- Bauer dan Fallmann, H., (1997) The Photo-Fenton Oxidation - A Cheap And Efficient Wastewater Treatment Method, *Res.Chem.Intermed*, 23(4): 341-354.
- Neamtu, B, Yediler, A., Siminiceanu, I., Kettrup, A. (2003) Oxidation of Commercial reactive azo dye aqueous solutions by the photo-Fenton and Fenton-like processes, *J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry*, 161: 87-93
- Lapertot, M., Ebrahimi, S., Dazio, S., Rubinelli, A., Dan Pulgarin, C. (2007) Photo-Fenton And Biological Integrated Process For Degradation Of A Mixture Of Pesticides, *J.Photochem And Photobiol. A : Chemistry*, 186 : 34-40.
- Hrvoje, U., Natalija, K. dan Iva, S. (2006). Fe-exchanged zeolite as the effective heterogeneous Fenton-type catalyst for the organic pollutant minimization : UV irradiation assistance, *Chemosphere*, 65(1): 65-73.
- Noorjahan, Kumari, D., Subrahmanyam, Panda, P. (2005) Immobilized Fe(III)-HY: an efficient and stable photo-Fenton catalyst, *Applied Catalysis B: Environmental*, 57: 291-298.
- Tang, R., Liao, X., Liu, X., dan Shi, B. (2005) Collagen fiber immobilized Fe(III): a novel catalyst for photo-assisted degradation of dyes, *Chem. Commun.*, 2005, 5882-5884.
- Martínez, F., Calleja, G., Melero, J.A., Molina, R. (2007) Iron Species Incorporated Over Different Silica Supports For The Heterogeneous Photo-Fenton Oxidation Of Phenol, *Applied Catalysis B: Environmental*, 70 : 452-460.
- Martínez, F., Calleja, G., Melero, J.A., Molina, R. (2005) Heterogeneous Photo-Fenton Degradation Of Phenolic Aqueous Solutions Over Iron-Containing SBA-15 Catalyst, *Applied Catalysis B: Environmental*, 60 : 181-190.
- Cabrera, M., Kapteijn, F., dan Moulijn, J. A. (2005) One-Pot Catalyst Preparation: Combined Detemplating And Fe Ion Exchange of BEA through Fenton's chemistry, *Chem. Commun.*, 2005: 2178-2180.
- Cabrera, M., Kapteijn, F., dan Moulijn, J. A. (2005) Innovations in the synthesis of Fe-



(exchanged)-zeolites, *Catalysis Today*, 110: 255–263.

Zucca, P., Vinci, C., Sollai, F., Rescigno, A., dan Sanjus, E. (2008) Degradation of Alizarin Red S under mild experimental conditions by immobilized 5,10,15,20-tetrakis(4-sulfonatophenyl)porphine–Mn(III) as a biomimetic peroxidase-like catalyst, *J. Mol. Cat. A: Chemical*, 288 (1-2): 97-102.

, A., Litter, M., Palmisano, L., dan Soria, J., (2006) Review: The combination of heterogeneous photocatalysis with chemical and physical operations: A tool for improving the photoprocess performance, *J. Photochem. Photobiol. C: Photochemistry Reviews*, 7: 127–144.

Pariante, M., Marti'nez, F., Melero, J.A., Botas, J.N., Velegraki, T., *et al.* (2008) Heterogeneous Photo-Fenton Oxidation Of Benzoic Acid In Water: Effect Of Operating Conditions, Reaction By-Products And Coupling With Biological Treatment, *Applied Catalysis B: Environmental*, 85: 24–32.



## ESTIMASI ARUS MOTOR DC SERI DENGAN FUZZY OBSERVER BERDASAR KECEPATAN MOTOR

Medilla Kusriyanto<sup>1)</sup>, Samiadji Herdjunanto<sup>2)</sup>, Wahyu Widada<sup>3)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14 Sleman Yogyakarta; e-mail: medilla@fti.uii.ac.id  
<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika 2 Sleman Yogyakarta

<sup>3</sup>Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
Jl Raya LAPAN Rumpin Bogor

### ABSTRACT

*Algorithm to estimate the system output is commonly found in signal processing. In fact, on the equation of state at non-linear system there are matrix components that are dependent on the system variable itself. Fuzzy observer is one of the algorithm to obtain these matrix components, then we can get some local linear models of a non-linear system. Local linear model is used as IF THEN base of knowledge on the basis of logic rules fuzzy. On state space equation series DC motor is a nonlinear system with 2 components of the matrix that depends on the motor current. Fuzzy algorithm that used for observation of a series DC motor speed is fuzzy TS model. In fuzzy observer, the main parameters to estimate is the Observer gain. This gain is calculated using the LMI (Linear Matrix Inequalities). TS Fuzzy that we used has 2 sets fuzzy accordance with the matrix components as a function of motor current, that is called premise variables, and each has 2 membership. Based on simulations using Matlab 2007a, we obtained the steady state error is 0.64%. Observer output is very dependent on membership limits, then we suggest for next research fuzzy membership limits can be made adaptive.*

*Kata kunci: Fuzzy observer, premise variable, LMI.*

### PENDAHULUAN

Sistem kendali umumnya memanfaatkan hubungan masukan dan keluaran sebagai basis data dalam perancangannya. Dewasa ini sistem kendali sudah diterapkan pada banyak hal dari dunia industri sampai pada kehidupan sehari-hari. Hubungan masukan keluaran dari *plant* bisa didapatkan melalui pengukuran langsung juga melalui simulasi dengan menggunakan model matematis dari *plant*.

Sistem non linear dapat dianalisa bentuk tanggapannya dengan simulasi berdasar model atau persamaan matematisnya. Model matematis dapat dituangkan dalam bentuk persamaan ruang keadaan dengan komponen matrik sebagai faktor pengali masukan. Pada sistem non linear, terdapat komponen matrik pada ruang keadaan yang bergantung pada besarnya variabel masukan sistem. Beberapa algoritma muncul untuk mengestimasi keadaan tersebut. Dengan estimasi keadaan ini bisa diperkirakan hubungan masukan dan keluaran sistem berdasar pada data yang sudah ada. (Wu, 2002)

Salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk mengestimasi keadaan (*state*) tersebut adalah *fuzzy observer*. Model algoritma fuzzy yang sering digunakan untuk mengestimasi keadaan pada sistem non linear adalah algoritma fuzzy tipe T-S. Estimasi keadaan dilakukan dengan membagi daerah non linear menjadi beberapa model linear lokal (Tanaka and Wang, 2001). Parameter-parameter yang terdapat pada logika fuzzy T-S diperoleh berdasar pada model linear lokal sistem. Basis aturan fuzzy T-S berisi hubungan model linear lokal sistem yang diilustrasikan dengan hubungan IF THEN.

Motor DC seri merupakan salah satu sistem non linear yang bisa ditemukan. Pada persamaan keadaan dari motor DC terdapat komponen matrik pada ruang keadaan sebagai fungsi arus motor. *Fuzzy observer* digunakan untuk mengestimasi nilai komponen matrik tersebut sehingga didapatkan estimasi besarnya arus motor DC dengan berdasar pada kecepatan motor DC. Observer juga digunakan untuk

mengestimasi kecepatan motor DC seri sebagai pembandingan dengan kecepatan sebenarnya.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Motor DC seri

Motor DC merupakan sistem yang mengubah tegangan listrik menjadi putaran. Pada dasarnya motor DC terdiri dari dua komponen utama yaitu rotor atau *armature* dan stator. Rotor merupakan komponen motor DC yang bergerak dan stator adalah bagian motor yang diam. Biasanya rotor berbentuk silindris atau piringan yang terdiri dari hubungan simetris dari beberapa koil yang terhubung secara seri ke tembaga yang terisolasi yang dinamakan sebagai komutator mekanis. Arus yang seragam (*Unipolar*) dialirkan melalui sikat diubah menjadi arus bipolar pada kumparan rotor melalui komutator. Pada kenyataannya komutator merupakan rangkaian inverter (konverter DC-AC) yang mengubah frekuensi dari 0 ke  $f_n = p.n$  dimana  $2p$  adalah jumlah kutub pada rotor dan stator serta  $n$  adalah kecepatan dari putaran rotor.

Motor DC dengan kumparan medan yang dihubungkan dengan rangkaian *armature* dinamakan sebagai motor DC seri. Dengan model rangkaian ini, torsi yang dihasilkan oleh motor sebanding dengan kuadrat arusnya sehingga motor DC jenis ini memiliki torsi yang paling besar bila dibandingkan dengan motor DC jenis lain. Dengan kelebihan ini, motor DC seri banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Persamaan matematis motor DC seri dapat dituliskan sebagai (Mehta, 1998):

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -D/J & ((K_m L_f)/J)x_2 \\ -((K_m L_f)/L)x_2 & -R/L \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/L \end{bmatrix} V + \begin{bmatrix} -\tau_L/J \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{y}(t) = [1 \ 0] x(t) \quad (1)$$

### Logika Fuzy T-S

Pada sistem diskret, model logika fuzy T-S diekspresikan dengan hubungan IF-THEN sebagaimana pada persamaan 2.

IF  $z_1(t)$  is  $M_{i1}$  and .....and  $z_p(t)$  is  $M_{ip}$

$$\text{THEN } \begin{cases} x(t+1) = A_i x(t) + B_i u(t) \\ y(t) = C_i(t) \end{cases} \quad (2)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, r$$

dimana  $M_{ij}$  adalah himpunan fuzy dan  $r$  adalah banyaknya model aturan pada logika fuzy.  $x(t)$  adalah vektor keadaan yang diperoleh dari sistem,  $u(t)$  adalah vektor masukan sistem,  $y(t)$  adalah keluaran sistem.  $z_1, z_2, \dots, z_p$  merupakan variabel premis. Variabel premis yang terdapat pada algoritma fuzy tidak bergantung pada masukan  $u(t)$ . Asumsi ini digunakan untuk menentukan proses defuzifikasi pada sistem kendali. Setiap persamaan yang didefinisikan sebagai  $A_i x(t) + B_i u(t)$  dinamakan sebagai subsistem (daerah lokal).

Misalkan diberikan masukan dan keluaran sebagai  $(x(t), u(t))$ , output dari sistem fuzy didefinisikan sebagai :

$$x(t+1) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i x(t) + B_i u(t)\}$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i x(t) \quad (3)$$

dimana

$$z(t) = [z_1(t) \ z_2(t) \ \dots \ z_p(t)]$$

$$w_i(z(t)) = \prod_{j=1}^p M_{ij}(z_j(t))$$

$$h_i(z(t)) = \frac{w_i(z(t))}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))}$$

$M_{ij}(z_j(t))$  merupakan derajat keanggotaan dari himpunan fuzy  $z_j(t)$ .  $p$  menyatakan banyaknya variabel premis pada ruang keadaan sistem.

### Pembentukan Fuzy T-S

Batas keanggotaan ditentukan dengan mencari harga maksimal dan minimal dari variabel premis sesuai dengan rentang daerah yang tidak linear pada *plant*. Variabel premis juga digunakan untuk menentukan aturan logika fuzy dan variabel ruang keadaan linear untuk menghitung keluaran dari logika fuzy.

Batas keanggotaan fuzzy ditentukan dengan mencari harga maksimum dan minimum dari variabel premis dengan batas mengacu pada daerah yang tidak linear pada plant. Bila terdapat  $i$  variabel premis, maka batas semesta wacana  $z_i$  bisa dicari dengan  $\min z_i$  dan  $\max z_i$ . Derajat keanggotaan fuzzy ditentukan dengan algoritma untuk menentukan derajat keanggotaan sesuai dengan bentuk keanggotaan yang digunakan.

### Pembentukan Basis Pengetahuan Fuzzy T-S

Model aturan logika fuzzy dibentuk dengan menggunakan persamaan sebagaimana didefinisikan :

Aturan 1.

IF  $z_1(t)$  adalah Positif dan  $z_2(t)$  adalah Besar

THEN  $\dot{x}(t) = A_1 x(t)$

Aturan ke- $i$

IF  $z_1(t)$  adalah Negatif dan  $z_2(t)$  adalah Besar

THEN  $\dot{x}(t) = A_i x(t)$

Dengan  $A_i$  merupakan matrik keadaan yang diestimasi berdasar harga maksimal dan minimal dari variabel premis  $z$ . Pada aturan 1, besarnya matrik  $A_1$  adalah  $A_1 = [-1 (ab^2) ; ((3+b)a^2) -1]$  yang mana nilai komponen matrik  $A_{12}$  dan  $A_{21}$  merupakan batas maksimal dari variabel premis  $z_1$  dan  $z_2$ . Nilai ini akan memberikan keluaran yang besar pada saat proses defuzifikasi.

Besarnya  $A_i$  bergantung pada aturan yang ditulis pada basis pengetahuan logika fuzzy T-S. Bila pada basis aturan tertulis  $z_1$  adalah positif, maka nilai komponen matrik  $A_{12}$  adalah maksimal dari batas keanggotaan fuzzy untuk  $z_1$ . Bila pada aturan tertulis  $z_1$  adalah negatif, maka komponen matrik  $A_{12}$  adalah nilai minimal dari batas keanggotaan  $z_1$ . Hal ini juga berlaku pada  $z_2$ , bila pada basis aturan tertulis  $z_2$  adalah kecil, maka komponen matrik  $A_{21}$  adalah nilai minimal dari batas keanggotaan  $z_2$  dan sebaliknya jika tertulis besar, maka komponen matrik  $A_{21}$  adalah nilai maksimal dari batas keanggotaan  $z_2$ .

### Defuzzyfikasi Fuzzy T-S

Dari aturan aturan tersebut, maka proses defuzzyfikasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^i h_i(z(t)) \{A_i x(t) + B_i u(t)\} \quad (4)$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i x(t) \quad (5)$$

$i$  menyatakan banyaknya aturan fuzzy dalam logika fuzzy T-S.  $h_i$  adalah penguatan yang diperoleh berdasar derajat keanggotaan pada logika fuzzy. Pada sistem non linear sebagaimana didefinisikan pada persamaan 2.15. terdapat 2 buah variabel premis dan 4 buah aturan pada basis pengetahuan fuzzy. Jumlah penguatan  $h_i$  sesuai dengan jumlah aturan yang terdapat pada algoritma fuzzy. Keempat faktor penguatan  $h$  dicari dengan berdasar pada persamaan

$$h_1 = M_{11}(z_1(t)) \times M_{12}(z_2(t)) \quad (6)$$

$$h_2 = M_{21}(z_1(t)) \times M_{22}(z_2(t)) \quad (7)$$

$$h_3 = M_{31}(z_1(t)) \times M_{32}(z_2(t)) \quad (8)$$

$$h_4 = M_{41}(z_1(t)) \times M_{42}(z_2(t)) \quad (9)$$

dimana  $M_{11}(z_1(t)) = M_{21}(z_1(t)) = M_1(z_1(t))$ ,  $M_{12}(z_2(t)) = M_{32}(z_2(t)) = N_1(z_2(t))$ ,  $M_{31}(z_1(t)) = M_{41}(z_1(t)) = M_2(z_1(t))$  dan  $M_{22}(z_2(t)) = M_{42}(z_2(t)) = N_2(z_2(t))$  adalah derajat keanggotaan dari masing-masing himpunan fuzzy

Pada fuzzy T-S, inferensi fuzzy pada basis aturan diperoleh berdasar pada hubungan tiap aturan. Inferensi yang digunakan pada basis aturan adalah metode *product* sehingga operasi perkalian pada faktor penguatan  $h$  adalah operasi perkalian biasa bukan merupakan operasi irisan.

### Fuzzy Observer

Tujuan dari observer adalah untuk mendapatkan keluaran observer yang sama dengan tanggapan sistem kalang tertutup. *Fuzzy observer* digunakan untuk mendapatkan

$$\hat{x}(t) - x(t) = 0 \quad \text{untuk } t \rightarrow \infty \quad (10)$$

dimana  $\hat{x}(t)$  didefinisikan sebagai keadaan vektor yang diestimasi dengan *fuzzy observer*. Keadaan ini digunakan untuk mendapatkan kesalahan pada kondisi *steady state* antara  $x(t)$  dan  $\hat{x}(t)$  konvergen menuju 0. Struktur dasar dari fuzzy observer ditulis sebagai (Korba, 2003):

IF  $z_1(t)$  is  $M_{ij}$  and .... and  $z_p(t)$  is  $M_{ip}$

$$\text{Then } \hat{x}(t) = A_i \hat{x}(t) + B u(t) + G_i (y(t) - \hat{y}(t))$$

$$\hat{y}(t) = C_i \hat{x}(t), i = 1, 2, 3, \dots, r$$

$i$  menyatakan banyaknya aturan yang terdapat pada logika fuzzy. Bila terdapat 2 himpunan fuzzy dengan masing masing anggota terdapat 2, maka terdapat 4 aturan sehingga batas untuk  $i$  adalah 1-4. Dengan menggabungkan fuzzy T-S dengan persamaan 2.24. maka diperoleh persamaan dasar yang digunakan untuk merancang *fuzzy observer* sebagai:

$$\hat{x}(t) = \frac{\sum_{i=1}^r w_i(z(t)) \{A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + G_i (y(t) - \hat{y}(t))\}}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))} \quad (10)$$

$$= \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + G_i (y(t) - \hat{y}(t))\}$$

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i \hat{x}(t) \quad (11)$$

Bobot  $w_i(t)$  yang digunakan adalah bobot yang sama yang digunakan pada fuzzy model T-S. Perancangan fuzzy observer digunakan untuk mencari besarnya  $G_i$  yang dinamakan sebagai penguatan observer.

Besarnya kesalahan pada fuzzy observer ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$e(t) = x(t) - \hat{x}(t) \quad (12)$$

sehingga diperoleh

$$\dot{e}(t) = \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) \quad (13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 4 dan persamaan 10 pada persamaan, maka diperoleh

$$\dot{e}(t) = \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t)$$

$$= \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i x(t) + B_i u(t)\} - \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + G_i (y(t) - \hat{y}(t))\}$$

$$= \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i (x(t) - \hat{x}(t)) + G_i (\sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i x(t) - \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i \hat{x}(t))\}$$

$$= \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i (x(t) - \hat{x}(t)) + G_i (\sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i (x(t) - \hat{x}(t)))\}$$

$$= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r h_i(z(t)) h_j(z(t)) \{A_i - G_i C_j\} e(t) \quad (14)$$

Dari persamaan 10 sudah dijelaskan bahwa persamaan dasar observer yang digunakan adalah:

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + G_i (y(t) - \hat{y}(t))\}$$

dengan

$$y(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i x(t)$$

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i \hat{x}(t), \text{ dan}$$

$$e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$$

maka persamaan dasar observer dapat ditulis ulang sebagai:

$$\dot{\hat{x}}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + G_i (y(t) - \hat{y}(t))\}$$

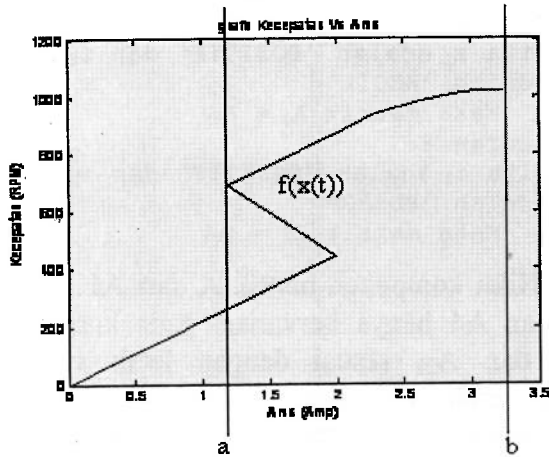
$$= \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + G_i ((\sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i x(t)) - (\sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i \hat{x}(t)))\}$$

$$= \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + G_i \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i (x(t) - \hat{x}(t))\} \quad (15)$$

## SISTEMATIKA PENELITIAN

### Pembentukan Logika Fuzzy T-S berdasar tanggapan Motor DC seri

Dengan menggunakan perangkat lunak Matlab 2007a, didapatkan tanggapan kecepatan motor DC seri sebagai fungsi arus sebagaimana pada gambar 1.



Gambar 1. Tanggapan kecepatan motor berdasar arus

Dengan berdasar pada grafik pada gambar 1. dan persamaan 1, maka dapat ditentukan semesta wacana himpunan fuzzy T-S dengan batas ketidak linearan berada pada rentang [1,1 3,4].

Bila persamaan 1 ditulis dalam bentuk  $\dot{x}(t) = A.x(t) + B.u(t)$  maka dapat dilihat bahwa pada matrik A terdapat variabel masukan  $x_2$  yang ikut menentukan besarnya komponen matrik  $A_{12}$  yaitu  $((K_m L_f) / J)x_2$  dan  $A_{21}$  yaitu  $((K_m L_f) / L)x_2$ .

Dua komponen ini yang membuat tanggapan sistem menjadi tidak linear. Bila komponen matrik pada  $A_{12}$  dan  $A_{21}$  pada persamaan keadaan ditulis dengan variabel  $z_1$  dan  $z_2$  yang dinamakan sebagai variabel premis dengan  $z_1 = ((K_m L_f) / J)x_2$  dan  $z_2 = ((K_m L_f) / L)x_2$ , maka persamaan keadaan dapat ditulis ulang sebagai:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -D/J & z_1 \\ -z_2 & -R/L \end{bmatrix} x(t) + B.u(t) \quad (16)$$

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa terdapat 2 variabel premis yaitu  $z_1$  dan  $z_2$ . dari jumlah ini maka dapat ditentukan banyaknya himpunan fuzzy dan jumlah keanggotaan fuzzy juga basis pengetahuan fuzzy T-S.

Batas semesta wacana masing masing himpunan fuzzy dicari dengan menentukan harga minimal dan maksimal dari variabel premis z. Semesta wacana himpunan fuzzy M ditentukan berdasar pada rentang  $x_2$  dan

persamaan pada variabel premis  $z_1$  (Herreira, 2007). Batas semesta wacana dicari dengan menentukan besarnya harga minimum dan maksimum dari variabel premis  $z_1$  terhadap batas  $x_2 \in [1,1 \ 3,2]$ . Batas minimum dari  $z_1$  ditentukan dengan:

$$\begin{aligned} \text{Min}(z_1) &= ((K_m L_f) / J) \times x_2 \\ &= ((K_m L_f) / J) \times 1 \\ &= 3,272 \times 1,1 \\ &= 3,272 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Max}(z_1) &= ((K_m L_f) / J) \times x_2 \\ &= ((K_m L_f) / J) \times 3,4 \\ &= 3,272 \times 3,4 \\ &= 11,248 \end{aligned}$$

Dengan demikian, semesta wacana untuk himpunan fuzzy M adalah  $M \in [3,272 \ 11,248]$ . dari harga minimum dan maksimum dari variabel premis  $z_1$ , maka  $z_1$  bisa ditulis sebagai:

$$\begin{aligned} z_1(t) &= ((K_m L_f) / J) \cdot x_2 \\ &= M_1(z_1(t)).3,272 + M_2(z_1(t)).11,248 \end{aligned}$$

dengan

$$M_1(z_1(t)) + M_2(z_1(t)) = 1$$

Dengan mengacu pada  $M_1(z_1(t)) + M_2(z_1(t)) = 1$ , maka derajat keanggotaan untuk himpunan fuzzy M dapat dihitung dengan:

$$M_1(z_1(t)) = \frac{z_1(t) - 3,272}{7,976} \quad (17)$$

$$M_2(z_1(t)) = \frac{11,248 - z_1(t)}{7,976} \quad (18)$$

Dengan  $M_1(z_1(t))$  adalah keanggotaan untuk "NEGATIF" dan  $M_2(z_1(t))$  adalah keanggotaan untuk "POSITIF".

Semesta wacana himpunan fuzzy N dapat ditentukan dengan cara yang sama yaitu berdasar pada rentang  $x_2$  dengan  $x_2 \in [1,1 \ 3,2]$  dan persamaan variabel premis  $z_2$  dimana  $z_2 = ((K_m L_f) / L) \cdot x_2$ , sehingga batas semesta wacana N dapat dicari dengan:

$$\begin{aligned} \text{Min}(z_2) &= ((K_m L_f) / L) \times x_2 \\ &= ((K_m L_f) / L) \times 1 \\ &= 0,001 \times 1 \\ &= 0,001 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Max } (z_2) &= ((K_m \cdot L_f) / L) \times x_2 \\ &= ((K_m \cdot L_f) / L) \times 3.4 \\ &= 0,001 \times 3.4 \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

Dengan demikian, semesta wacana untuk himpunan fuzzy N adalah  $N \in [0,001 \ 0,0034]$ . dari harga minimum dan maksimum dari variabel premis  $z_2$ , maka  $z_2$  bisa ditulis ulang sebagai:

$$\begin{aligned} z_2(t) &= ((K_m \cdot L_f) / L) \times x_2 \\ &= N_1(z_2(t)) \times 0,001 + N_2(z_2(t)) \times 0,0034 \end{aligned}$$

dengan

$$N_1(z_2(t)) + N_2(z_2(t)) = 1$$

Dengan mengacu pada  $N_1(z_2(t)) + N_2(z_2(t)) = 1$ , maka derajat keanggotaan untuk himpunan fuzzy N ditentukan dengan:

$$N_1(z_2(t)) = \frac{z_2(t) - 0,001}{0,0024} \quad (19)$$

$$N_2(z_2(t)) = \frac{0,0034 - z_2(t)}{0,0024} \quad (20)$$

Dengan  $N_1(z_2(t))$  adalah anggota fuzzy untuk "KECIL" dan  $N_2(z_2(t))$  adalah anggota fuzzy untuk "BESAR". Himpunan fuzzy yang digunakan pada penelitian ini adalah himpunan fuzzy jenis segitiga.

### Pembentukan Aturan Fuzzy T-S

Aturan fuzzy T-S ditentukan berdasar pada jumlah keanggotaan pada masing-masing himpunan fuzzy. Aturan ini digunakan untuk mengestimasi komponen matrik pada persamaan keadaan dalam bentuk  $A_i$ . Bila arus  $I_a$  memiliki nilai tertentu, maka nilai ini yang disebut sebagai himpunan tegas akan dikonversikan pada keanggotaan fuzzy. Pada penelitian ini hanya digunakan dua anggota pada dua himpunan fuzzy sehingga terdapat 4 aturan yang mengacu pada himpunan fuzzy yaitu:

Aturan 1.

Jika  $z_1$  adalah 'NEGATIF' dan  $z_2$  adalah 'KECIL'

Maka matrik  $A_1 = A1$

Aturan 2.

Jika  $z_1$  adalah 'NEGATIF' dan  $z_2$  adalah 'BESAR'

Maka matrik  $A_2 = A2$

Aturan 3.

Jika  $z_1$  adalah 'POSITIF' dan  $z_2$  adalah 'KECIL'

Maka matrik  $A_3 = A3$

Aturan 4.

Jika  $z_1$  adalah 'POSITIF' dan  $z_2$  adalah 'BESAR'

Maka matrik  $A_4 = A4$

Nilai komponen matrik A dari A1 sampai dengan A4 hanya bervariasi pada komponen  $A_{12}$  dan  $A_{21}$  sesuai dengan letak variabel premis pada persamaan keadaan dari motor DC seri. Besarnya nilai pada komponen matrik  $A_{12}$  dan  $A_{21}$  sesuai dengan aturan yang terdapat pada basis aturan logika fuzzy.

Bila pada aturan logika fuzzy tertera  $z_1$  adalah negatif, maka besarnya komponen matrik pada  $A_{12}$  adalah nilai minimum dari variabel premis  $z_1$  sesuai dengan batas  $x_2$  yang paling kecil pada daerah lokal. Bila  $z_1$  tertera positif, maka nilai pada komponen  $A_{12}$  adalah nilai maksimum dari  $z_1$ . demikian juga berlaku pada variabel premis  $z_2$ . Sebagai contoh aturan fuzzy 1 yaitu :

Jika  $z_1$  adalah 'NEGATIF' dan  $z_2$  adalah 'KECIL'

Maka matrik  $A_1 = A1$

Maka besarnya matrik A1 adalah:

$$A1 = \begin{bmatrix} -0.4 & \min(z_1) \\ -\min(z_2) & -2.003 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Besarnya nilai dari komponen matrik A ditentukan dengan melihat batas lokal dari tanggapan sistem non-linear. Pada motor DC seri, bagian lokal memiliki batas minimal dan batas maksimal sebesar [1.1 3.2]. Penentuan basis aturan dengan melihat nilai arus ( $x_2$ ) sehingga bisa ditentukan komponen matrik  $A_i$ .

### Simulasi Fuzzy Observer untuk Estimasi Arus motor DC seri.

Simulasi digunakan untuk mengestimasi arus motor DC seri dengan memanfaatkan kecepatan motor sebagai umpan baliknya dan fuzzy sebagai algoritma observer. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\dot{e}(t) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r h_i(z(t)) h_j(z(t)) \{A_i - G_i C_j\} e(t)$$

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \{A_i(t) \hat{x}(t) + B_i u(t)\}$$

$$+ G_i \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) C_i (x(t) - \hat{x}(t))$$

Tujuan utama dari observer adalah mendapatkan  $e(t) = 0$ . Perolehan  $h$  sebagai penguatan awal observer diperoleh berdasar derajat keanggotaan hasil fuzyfikasi dari arus  $I_a(x_2)$ . Penguatan  $h$  dicari dengan berdasar pada persamaan:

$$h_i(z(t)) = \frac{w_i(z(t))}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))} \quad (22)$$

dengan besarnya  $w_i$  ditentukan dari

$$w_i(z(t)) = \prod_{j=1}^p M_{ij}(z_j(t)) \quad (23)$$

Pada penelitian ini, himpunan fuzzy yang digunakan ada 2 dengan masing-masing anggota ada 2 sehingga terdapat 4 parameter penguatan  $h$ . 4 parameter penguatan  $h$  bisa dicari dengan persamaan:

$$h_1 = M_{11}(z_1(t)) \times M_{12}(z_2(t))$$

$$h_2 = M_{21}(z_1(t)) \times M_{22}(z_2(t))$$

$$h_3 = M_{31}(z_1(t)) \times M_{32}(z_2(t))$$

$$h_4 = M_{41}(z_1(t)) \times M_{42}(z_2(t))$$

dengan  $M_{11}(z_1(t)) = M_{21}(z_1(t)) = M_1(z_1(t))$ ,  $M_{12}(z_2(t)) = M_{32}(z_2(t)) = N_1(z_2(t))$ ,  $M_{31}(z_1(t)) = M_{41}(z_1(t)) = M_2(z_1(t))$  dan  $M_{22}(z_2(t)) = M_{42}(z_2(t)) = N_2(z_2(t))$  adalah derajat keanggotaan dari masing-masing himpunan fuzzy hasil fuzyfikasi besaran tegas arus jangkar  $I_a(x_2)$ .

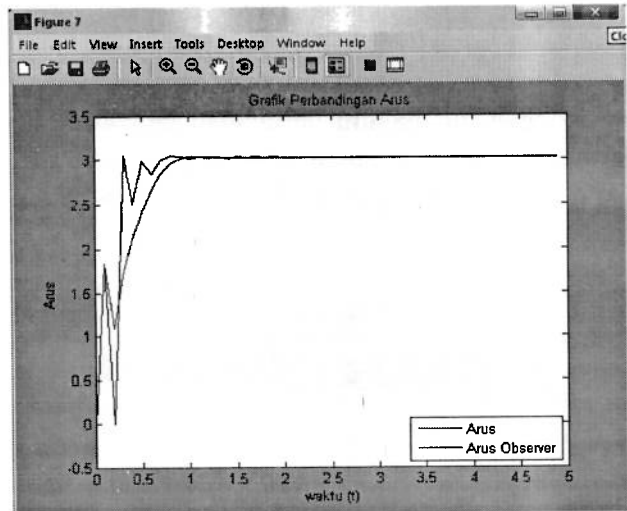
## HASIL DAN ANALISA

### Estimasi Arus Motor DC seri tanpa Gangguan

Motor DC yang digunakan pada penelitian ini adalah motor DC dengan kekuatan 5HP 240 V 1220 RPM 16 A. Torsi beban maksimal yang diijinkan pada motor adalah:

$$\begin{aligned} T_{Lmax} &= \frac{P_n}{2\pi \times \frac{n}{60}} \quad (24) \\ &= \frac{5 \times 746}{2\pi \times \frac{1220}{60}} \\ &= 29.21 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dari hasil simulasi didapatkan grafik arus estimasi dengan fuzy observer sebagaimana pada gambar 2.



Gambar 2. Arus estimasi motor DC dengan fuzy observer

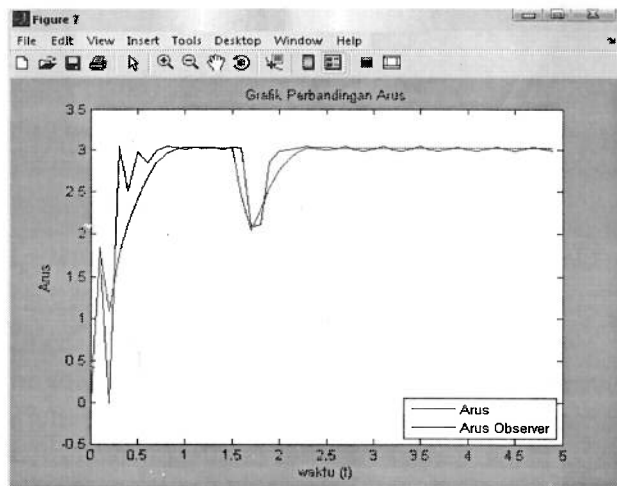
Dari gambar 2 ditunjukkan bahwa hasil estimasi arus motor DC seri dengan menggunakan *fuzzy observer* memiliki pola yang sama dengan nilai arus yang sebenarnya pada motor DC seri. Pada kondisi *steady state*, nilai arus hasil estimasi tidak memiliki nilai yang stabil. Nilai rata-rata arus hasil estimasi pada keadaan ini sebesar 3,0426 ampere. Bila dibandingkan dengan nilai arus motor DC seri yang sebenarnya yaitu 3,0232 ampere, maka nilai estimasi arus dengan *fuzzy observer* memiliki kesalahan sebesar 0.019 ampere atau 0,64 % dari arus yang sebenarnya.

Pada keadaan transien, nilai arus estimasi tidak bisa mengikuti nilai arus sebenarnya. Nilai arus hasil estimasi hanya memiliki pola yang sama tetapi pada saat terjadi penurunan arus, nilai penurunan arus hasil estimasi terlalu besar yaitu dari 1,8318 ampere ke -0,0046 ampere atau turun sebesar 1,8374 ampere. Bila dibandingkan dengan penurunan arus yang terjadi pada arus yang sebenarnya yaitu dari 1,8318 ampere ke 1,0933 ampere atau turun sebesar 0,7385 ampere, dapat dihitung selisih penurunan arus estimasi dengan penurunan arus sebenarnya adalah 1,0989 ampere.

### Estimasi Arus Motor DC seri dengan Gangguan

Arus estimasi dengan perubahan torsi beban pada motor DC seri dengan mengguna-

kan *fuzzy observer* ditunjukkan pada gambar 3. Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa pada kondisi transien, estimasi arus tidak mengalami perubahan sebagaimana pada estimasi arus dengan beban konstan. Perubahan arus estimasi terjadi sesuai dengan perubahan arus pada saat torsi beban mengalami perubahan dengan kata lain observer bisa mengikuti penurunan arus yang terjadi sebagai akibat dari perubahan torsi.



Gambar 3. Arus estimasi dengan perubahan torsi beban

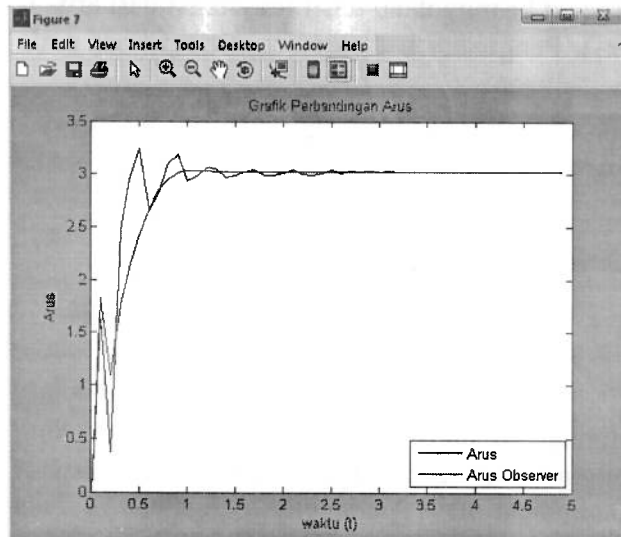
Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa arus estimasi juga mengalami penurunan sama halnya dengan arus sebenarnya pada motor DC seri.

### Estimasi Arus Motor DC seri dengan Variasi Himpunan Keanggotaan

Dari gambar 4 ditunjukkan pada keadaan transien, penurunan arus yang terjadi pada estimasi arus dengan *fuzzy observer* yang sudah divariasi batas keanggotaan M yaitu dari 1,6186 ampere ke 0,3731 ampere atau sebesar 1,2455 ampere tidak sebesar penurunan arus estimasi pada estimasi arus dengan *fuzzy observer* dengan batas keanggotaan M yang tidak divariasi yaitu 1,8374 ampere. Ini berarti estimasi arus dengan *fuzzy observer* dengan variasi batas keanggotaan M pada daerah transien lebih mendekati nilai sebenarnya bila dibandingkan dengan estimasi arus dengan batas keanggotaan yang konstan.

Pada gambar 4 juga ditunjukkan bahwa estimasi arus dengan *fuzzy observer* dengan

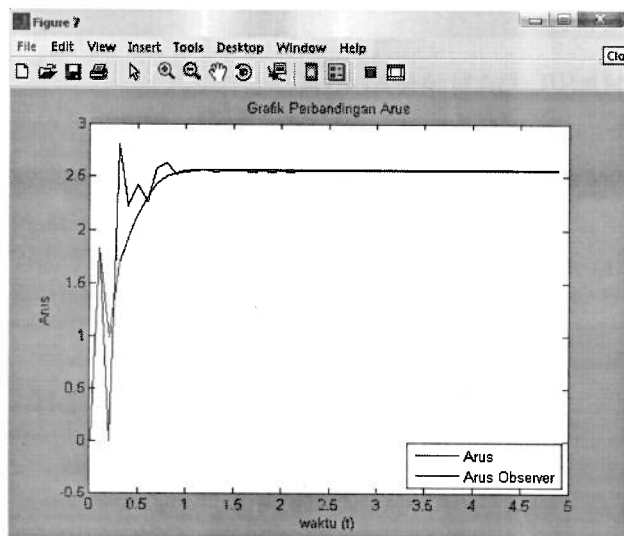
batas keanggotaan M yang divariasi masih terdapat osilasi. Jadi walaupun pada keadaan transien nilai dari estimasi lebih mendekati nilai sebenarnya, tetapi estimasi arus masih terdapat osilasi.



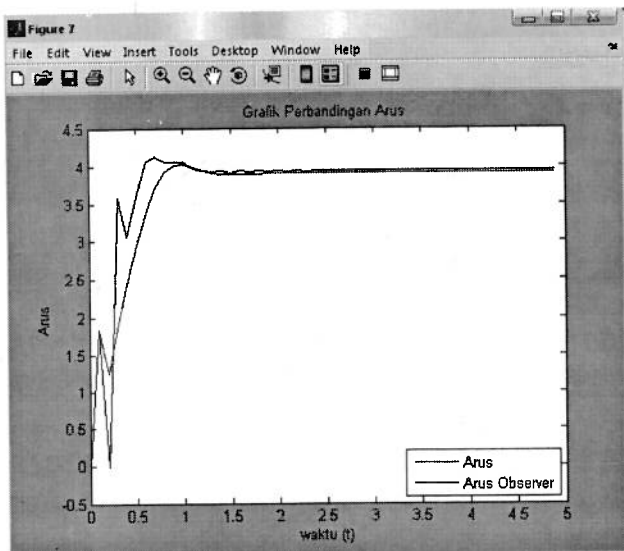
Gambar 4. Perbandingan antara arus keluaran observer dengan variasi batas keanggotaan himpunan fuzzy M terhadap arus sebenarnya

### Estimasi Arus Motor DC seri pada Beban berubah

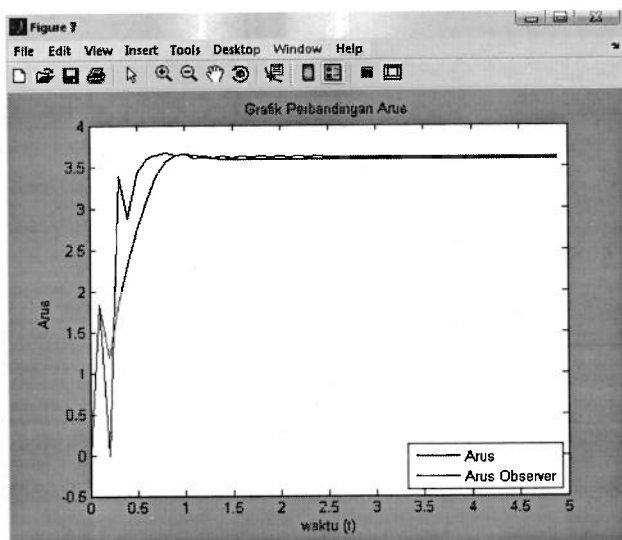
Simulasi dilakukan dengan perubahan torsi konstan untuk menunjukkan kinerja observer pada kecepatan dan arus yang bervariasi bergantung pada perubahan torsi beban. Hasil simulasi estimasi arus dengan beberapa beban yang berbeda ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5.a. Perbandingan arus estimasi dengan arus simulasi pada beban 20 Nm



Gambar 5.b. Perbandingan arus estimasi dengan arus simulasi pada beban 25 Nm



Gambar 5.c. Perbandingan arus estimasi dengan arus simulasi pada beban 24 Nm

Dari beberapa simulasi dengan beban yang berbeda terlihat bahwa kinerja observer masih baik.

## KESIMPULAN

Dari analisa dan pembahasan yang sudah diuraikan pada bab 4, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembagian daerah linear lokal sangat besar pengaruhnya terhadap estimator karena daerah ini menentukan parameter dari logika fuzzy.
2. Pengambilan data untuk simulasi observer dilakukan dengan *sampling time* sebesar 100 ms.

3. Estimasi arus dengan *fuzzy observer* pada keadaan stabil memiliki eror sebesar 0,64% dari arus simulasi dan eror pada  $t$  menuju tak hingga sama dengan nol, dengan demikian tujuan observer tercapai.
4. *Fuzzy observer* bisa menanggapi perubahan torsi beban pada motor, hal ini ditunjukkan dengan nilai estimasi arus yang berubah sesuai dengan perubahan arus simulasi.
5. Variasi semesta wacana pada himpunan fuzzy berpengaruh terhadap nilai penguatan  $h$ , sehingga estimasi arus juga mengalami perubahan.
6. Variasi semesta wacana himpunan fuzzy menyebabkan osilasi pada tanggapan observer.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chang, W. (2006) State Variance Constrained Fuzzy Control Via Observer Base Fuzzy Controller, *Marine Science and Technology*, Vol. 14.
- Eksin, I. (2000) A Fuzzy Identification Methode for Nonlinear System, *Turk J Elec Engine* Vol. 8.
- Germani, A. *A State Observer for a Class of Nonlinear System with Multiple Discrete and Distributed Time Delays*, Dipartimento di Ingegneria Elettrica Universita degli Studi dell'Aquila.
- Herreira, E. (2007) Exact Fuzzy Observer for a Bakery's Yeast Fermentation Process, *International IFAC Symposium on Computer Aplication in Biotechnology*, vol. 1 Juni 2007.
- Jadbababie, A., *Fuzzy Observer-Base Control of Nonlinear System*, NASA Centre for Autonomous Control Engineering (ACE)
- Korba, P, Babuska, R (2003) Fuzzy Gain Scheduling: Controller and Observer Design Based on Lyapunov Method and Convex Optimization, *IEEE on Fuzy System*, Vol 11, No.3 Juni 2003
- Mehta, S. (1998) Non Linear Control of a Series DC Motor: Theory and Experiment, *IEEE on Industrial Electronics*, Vol 45 February 1998

- Polansky, M. (2006) Robust Fuzzy Observer Design for Nonlinear System, *Proceedings of World Academy of Science*, Vol. 14, Agustus 2006
- Song, MK. Park, JB, *Non Linear Neutral System via T-S Models*, Departement of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea
- Tanaka, K. (2001) *Fuzy Control System Design and Analysis: A Linear Matrik Inequality Aproach*, John Wiley & Sons Inc.
- Takagi, T. and Sugeno, M. (1985) Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control, *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, Vol. 15, No. 1, pp. 116-132.
- Wu, Z. (2002) Fuzzy Controller and Observer Design for Nonlinear System, *Proceding of World Congres on Inteeligent Control and Automation*, Juni 2002.

## BIOBRIKET CAMPURAN ARANG KAYU DAN SAMPAH KOTA SEBAGAI ALTERNATIF PEMECAHAN BAHAN BAKAR MURAH UNTUK RAKYAT

Yuliani Indrianingsih, Dedet Hermawan S

Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto (STTA)  
Jl. Janti Blok R Lanud Adisutjipto Yogyakarta  
e-mail: yulistta@gmail.com

### ABSTRACT

*This research background is the increasing of fuel price, especially oil, is causing consumer to switch to wood charcoal as fuel. But the wood charcoal price is increasing too. On the other side the city garbage becomes complex problem to handle. However the city garbage can be used to be energy source. We can elaborate the two problem solving to make briquettes from mixture of garbage and wood charcoal.*

*The study begins with the making of briquettes, which the mixture is crushed to 100 mesh size and then pressed at a pressure of 250 kg/cm<sup>2</sup>. The result of the research show that CO emission is affected by the airflow rate, but not affected by briquettes geometry.*

*Keywords: wood charcoal, city garbage, briquettes.*

### PENDAHULUAN

Saat ini, dimana harga bahan bakar minyak mulai dikurangi subsidi banyak masyarakat kurang mampu yang sumber bahan bakar utama untuk memasak berganti dari bahan bakar minyak, dalam hal ini minyak tanah, menjadi arang kayu, dengan pertimbangan murah dan mudah didapat. Namun di sisi lain, harga kayu sudah mulai merangkak naik, hal ini akan berakibat pada harga jual ke konsumen pun akan semakin naik pula dan untuk mendapatkan kayu pun untuk dibeberapa kota besar kian sulit. Di sisi lain, di kota-kota besar, permasalahan sampah kota menjadi masalah yang kian krusial dan menjadi isu utama lingkungan karena semakin tak tertangani dengan baik, padahal sampah kota sebenarnya merupakan sumber energi alternatif yang selama kurang mendapat perhatian. Sampah kota selama ini umumnya dibakar di *incinerator* dengan satu konsekuensi adanya polutan berupa *dioxin*. Melihat kondisi diatas, terlihat adanya peluang untuk mereduksi permasalahan di atas yaitu dengan memperkenalkan satu bahan bakar alternatif buatan berupa briket yang terbuat dari campuran arang kayu, sampah kota, dan bahan pengikat polutan.

### TINJAUAN PUSTAKA

Pemanfaatan *biomass* sebagai bahan bakar di Indonesia ternyata masih sangat kecil bila dibandingkan dengan negara lain. Riset menunjukkan, pada tahun 1987, pemanfaatan sekam padi sebagai bahan bakar ternyata kurang dari 10%, sedangkan di India pemanfaatan sekam padi menjadi bahan bakar mencapai 40% pada tahun 1980 (Werther, 2000).

Huff (1980) meneliti mengenai pengaruh ukuran, bentuk, densitas, kadar air dan temperatur dinding tungku terhadap waktu pembakaran kayu. Ukuran bahan bakar dan temperatur dinding tungku memberikan pengaruh terbesar terhadap waktu pembakaran. Kadar air memberikan pengaruh yang lebih kecil dan temperatur udara tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada waktu pembakaran total.

Sedangkan karakter pembakaran limbah pertanian pernah diteliti oleh Werther (2000), yang menyatakan antara lain, limbah pertanian banyak sekali mengandung *volatile* sehingga menyebabkan pembakaran dimulai pada temperatur rendah, di samping itu konsentrasi polutan tertinggi hasil pembakaran berupa abu.

Butiran *biomass* yang kecil dan kering memberikan penyalaan yang stabil. Dan apabila limbah pertanian dibakar bersama-sama dengan batu bara, maka tidak ada efek negatif yang muncul, terutama dari segi emisi polutan.

Naruse dkk., (1999) melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran *biomass* yang berasal dari limbah jagung. Didapatkan bahwa karakteristik pembakaran *biomass* tergantung dari komposisi *biomass* semisal *lignin* dan *selulose*, disamping itu juga didapatkan bahwa *biomass* dapat memperbaiki proses penyalaan dan pembakaran batu bara, selain itu dalam pembakaran antar batu bara dan *biomass* ini didapatkan bahwa partikulat dari *biomass* akan ditangkap oleh abu dari batu bara selama proses pembakaran.

Penelitian mengenai pembakaran antara jerami dan batu bara diteliti oleh Pedersen dkk., (1996) yang dalam risetnya menghasilkan kesimpulan bahwa dengan pembakaran antara batu bara Kanada, emisi NO dan SO<sub>2</sub> dapat direduksi bila dibandingkan dengan pembakaran batu bara saja, juga didapatkan hasil terjadi penurunan kadar asap dan abu.

Sedangkan Antolin (1995), yang melakukan penelitian tentang pembakaran limbah kopi, mendapatkan bahwa pembakaran limbah kopi menghasilkan kadar sulfur yang rendah, selain itu keringnya kandungan campuran awal dari limbah kopi akan menguntungkan karena naiknya nilai kalor. Dan juga dari penelitian ini didapatkan satu kesimpulan bahwa pengeringan merupakan hal yang sangat penting dalam menyiapkan limbah kopi menjadi bahan bakar.

Naruse dkk., (1999) melakukan penelitian mengenai perilaku pembakaran dan kontrol emisi pada pembakaran biobriket, dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa biobriket memiliki temperatur penyalaan yang lebih rendah dan waktu pembakaran yang lebih singkat dari pada batu bara normal dan juga didapatkan hasil dari pengujian pada tungku api biasa bahwa dari pembakaran biobriket, emisi partikulat yang dihasilkan rendah.

Davidson (1999), menyatakan bahwa pembakaran *biomass* akan dapat memperbaiki performa pembakaran dan mengontrol emisi

NO<sub>x</sub> karena *biomass* banyak mengandung *volatile matter* termasuk juga jenis *N-volatile* sebagai contoh NH<sub>3</sub>.

Dujambi (1999) meneliti laju pembakaran briket batu bara produksi PT. Bukit Asam dengan variasi parameter yang mempengaruhi pembakaran, seperti ukuran briket, laju aliran udara, temperatur dinding tungku dan temperatur *preheat*. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa laju pembakaran naik jika laju aliran udara naik tetapi terdapat suatu kondisi optimum dimana laju pembakaran menurun dengan kenaikan lebih lanjut dari laju aliran udara, karena pengaruh dari pendinginan yang terjadi secara konveksi. Laju pembakaran naik dengan naiknya temperatur udara, tetapi kenaikan ini tidak sebesar karena pengaruh dari laju aliran udara. Laju pembakaran naik jika temperatur dinding tungku naik dan semakin besar ukuran partikel akan menyebabkan laju pembakaran berkurang.

Sedangkan beberapa penelitian mengenai pembakaran sampah kota seperti dipaparkan berikut ini. Kiran dkk., (2000) melakukan penelitian tentang pengolahan sampah plastik melalui pirolisis menyatakan bahawa dengan cara pirolisis, sampah *polyethylene* menghasilkan lebih banyak gas dibanding dengan hasil pirolisis *polystyrene*, sedangkan produk monoaromatik yang bernilai ekonomis lebih banyak ditemui pada pirolisis *polystyrene* yang dapat menghasilkan 63% minyak.

Slapak dkk., (2000) dalam penelitiannya mengenai proses gasifikasi sampah PVC mengemukakan bahwa biaya gasifikasi sampah PVC lebih murah bila dibandingkan dengan proses pembakaran konvensional di dalam incinerator namun akan mengandung konsekuensi tingginya limbah Ca Cl<sub>2</sub> yang dihasilkan.

Boavida dkk., (2002) dalam penelitiannya mengenai pembakaran batu bara dengan limbah kertas dan plastik yang tak mampu daur ulang di dalam *Fluidized Bed Reactor*, menjelaskan bahwa karakter pembakaran campuran batu bara dan sampah kertas dan plastik tergantung pada pengolahan sampah itu sendiri, juga didapatkan hasil bahwa proses pembakaran campuran terbuat bagus.



Sedangkan udara berlebih dan temperatur pembakaran merupakan parameter penting dalam pembakaran. Sedangkan penambahan *limestone* akan menurunkan kadar emisi SO<sub>2</sub> dan juga emisi logam berat tidak ada perbedaan apabila dibandingkan dengan pembakaran batu bara tunggal.

Li Xiaodong dkk., (1999) dalam penelitiannya mengenai pembakaran bersama *Municipal Solid Waste* (MSW, sampah kota) dengan batu bara dalam *Fluidized Bed Reactor* menyatakan bahwa pembakaran bersama antara batu bara dan sampah kota berlangsung efektif dan prosesnya *steady* dan juga didapatkan emisi polutan yang rendah.

Amorini dkk., (2002) yang melakukan penelitian mengenai pembakaran antara batu bara dan sampah kota yang telah diolah guna mendapatkan listrik menjelaskan bahwa pembakaran bersama tersebut memiliki operasional tinggi dan menaikkan efisiensi proses pembakaran itu sendiri.

## **METODE PENELITIAN**

### **Bahan Penelitian**

Bahan yang diuji dalam penelitian ini adalah sampah kota yang telah berada di tempat pembuangan akhir (TPA). Sampah kota yang diambil merupakan sampah kota yang telah melewati penyortiran oleh pemulung. Sampah kota adalah sampah organik yang akan diujikan diambil secara acak. Sedangkan arang yang akan digunakan adalah arang yang banyak dijual di pasar tradisional.

### **Penyiapan Bahan Uji**

Setelah pengumpulan sampah, selanjutnya sampah kota tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari selama kurang lebih dua hari untuk mengurangi kadar air agar mempermudah untuk proses penghalusan hingga ukuran butir sebesar 40 mesh. Proses penghancuran untuk sampah organik menggunakan alat penggiling daging, sehingga sebelum sampah digiling, maka bentuk sampah tersebut harus disesuaikan terhadap sifat gilingan yang digunakan. Hal yang sama juga dilakukan untuk sampel arang namun tidak melalui proses pengeringan.

Bahan uji sampah kota dan arang kayu secara telah terpisah, selanjutnya dapat dilakukan pengujian analisa proksimasi dan ultimasi. Pengujian analisa proksimasi dilakukan di Laboratorium Energi Kayu Jurusan Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan UGM Yogyakarta dan untuk pengujian ultimasi dilakukan di Laboratorium Pangan dan Gizi PAU UGM.

Untuk pembriketan sampah kota digunakan bahan pengikat dari tepung kanji sebesar 10% berat bahan dasar, untuk dicetak berupa silinder dengan diameter 2,8 cm dan kotak dengan sisi 2,8 cm kemudian dipres dengan tekanan 250 Kg/cm<sup>2</sup> dengan membuat beberapa sampel dengan komposisi 60% sampah organik 40% arang dengan variasi penelitian bentuk briket (silinder dan kotak) dan jumlah aliran udara. Berat briket yang dibuat untuk uji karakteristik pembakaran sebesar 9 gram.

## **Peralatan Penelitian**

### **Alat pembriketan**

Untuk membriket bahan uji sampah kota yang telah menjadi serbuk menggunakan alat pres yang terdiri dari rangka, dongkrak hidrolik 5 ton, *pressure gauge*, dan alat cetak (pipa silinder dan plunger serta bentuk kotak).

### **Alat uji pembakaran**

Alat uji yang digunakan dalam pengambilan data uji pembakaran yaitu diantaranya; peralatan pembakar (tungku elektrik) yang dapat digunakan untuk proses pemanasan briket, *Digital Balancing* (timbangan digital), *Thermocouple* tipe K yang dihubungkan pada *Digital Thermocouple Reader* untuk pembacaan, *Stopwatch*, CO-meter (*single gas analyzer*). Pada saluran masuk udara diberikan sebuah fan yang dapat menyuplai aliran udara masuk. Sebelum udara masuk ke dalam tungku oleh fan, dipasang sebuah katup pengatur (besar atau kecil) kecepatan aliran udara yang akan masuk. Kecepatan aliran udara yang masuk ke ruang bakar, dapat diukur nilai dengan menggunakan *Anemometer Digital* pada sisi masukan ruang bakar.

## Prosedur Penelitian Uji Karakteristik Pembakaran

Adapun Prosedur penelitian atau cara pengambilan data uji karakteristik pembakaran ini adalah sebagai berikut:

- Menghidupkan tungku dan menyeting temperatur ruang bakar pada suhu konstan sebesar 250 °C.
- Membuka katup saluran udara masuk ke ruang bakar.
- Memasang cawan yang berada pada ruang bakar dengan kawat untuk dihubungkan dengan timbangan digital yang telah diposisikan horisontal untuk mengukur laju pengurangan massa briket saat uji pembakaran.
- Menyeting timbangan digital pada posisi nol pada keadaan cawan tanpa benda uji (briket).
- Memasukkan benda uji ke dalam cawan pada ruang bakar sehingga terukur massa awal benda uji oleh timbangan digital.
- Menempatkan termokopel yang telah terhubung dengan satu unit *Thermocouple Reader* pada benda uji pada posisi di sisi samping briket.
- Mengukur temperatur udara yang akan masuk keruang bakar pada sisi masukan saluran udara.
- Menghidupkan *Thermocouple Reader* sehingga akan terbaca suhu awal briket di dalam ruang bakar.
- Mencatat pengurangan massa, temperatur pada benda uji setiap satu menit.
- Pengambilan data diambil hingga massa briket yang terbakar tidak mengalami pengurangan massa lagi selama beberapa menit (konstan), karena pada saat ini proses pembakaran telah berakhir dan massa akhir yang terbentuk adalah massa abu yang merupakan sisa proses pembakaran benda uji.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat-Sifat Bahan Baku Penelitian

Analisa sifat dasar bahan baku penelitian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Analisa sifat dasar bahan baku penelitian

Jenis uji	Sifat-sifat	100% sampah organik	Arang Kayu
Analisa Proksimasi	Kadar Air (%)	12,628	12,950
	Volatile Matter (%)	67,474	15,327
	Fixed Carbon (%)	5,816	52,902
Analisa Ultimasi	Kadar Abu (%)	14,082	12,821
	Nilai Kalor ( Kal/g )	3533,293	9107,31

Dari hasil uji proksimasi diatas terlihat bahwa perbedaan mencolok antara sampah kota 100% organik dengan arang kayu adalah terletak pada kandungan volatile matter dan kandungan *fixed carbon*, dimana arang kayu memiliki kandungan *fixed carbon* yang jauh lebih besar dengan *volatile matter* yang lebih rendah. Hal tersebut dapat dimaklumi karena arang kayu merupakan hasil proses karbonisasi *biomass* (dalam hal ini kayu) sehingga kandungan *volatile matter*- nya tereduksi. Konsekuensi dari hal tersebut adalah nilai kalor yang dimiliki oleh arang kayu akan lebih besar seperti terlihat pada analisa ultimasi. Berdasarkan hal tersebutlah, maka dalam penelitian ini komposisi briket yang dibuat adalah 60% sampah kota organik dan 40% arang guna mendapatkan optimasi antara besarnya energi yang dihasilkan selama pembakaran dan biaya bahan baku yang murah

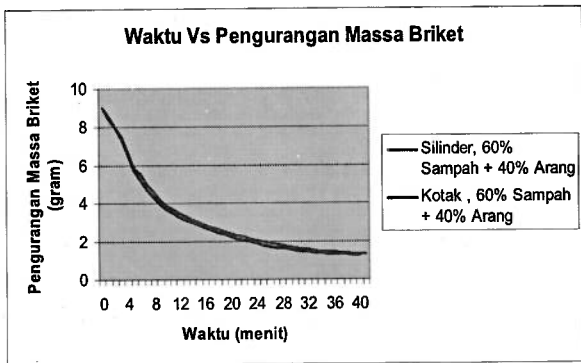
### Pengaruh Bentuk Briket Terhadap Karakteristik Pembakaran

Pengaruh bentuk briket terhadap karakteristik pembakaran briket 60% sampah kota- 40% arang kayu dapat dilihat pada gambar 1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa bentuk briket hanya memberikan pengaruh signifikan pada temperatur hasil pembakaran briket, dimana bentuk kotak akan memberikan temperatur pembakaran yang lebih tinggi, hal ini dipengaruhi oleh luasan kontak dengan udara yang lebih luas bila dibandingkan dengan bentuk silinder dan dari hasil tersebut dapat dilihat untuk pemakaian dengan jumlah aliran udara terbatas seperti untuk penggunaan di rumah tangga, maka bentuk briket kotak akan lebih tepat karena akan memberikan temperatur pembakaran yang tinggi dengan kecepatan pembakaran yang relatif baik dan polusi CO yang cukup rendah.

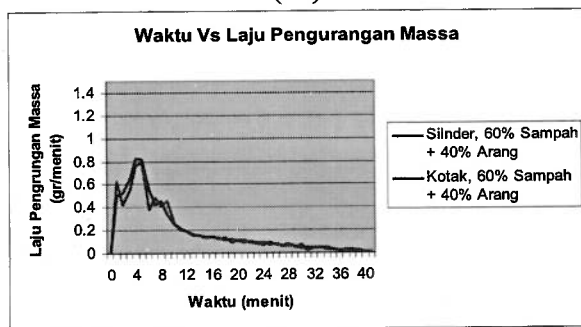
## Pengaruh Besarnya Aliran Terhadap Karakteristik Pembakaran

Pengaruh besarnya aliran udara yang mengalir terhadap karakteristik pembakaran dapat dilihat pada gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat bahwa dengan adanya penambahan aliran udara maka proses pembakaran akan berjalan lebih cepat dengan ditunjukkan dengan pengurangan massa yang lebih cepat, mengurangi kadar CO yang terjadi namun tidak memberikan efek yang signifikan terhadap temperatur pembakaran yang dihasilkan, hal ini menunjukkan bahwa penambahan suplai udara akan memenuhi kebutuhan oksigen untuk pembakaran sehingga terjadi pembakaran sempurna yang ditunjukkan adanya reduksi emisi CO.

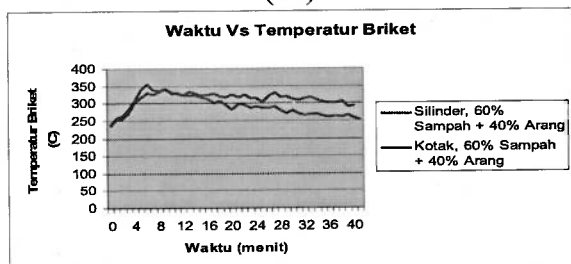
Beberapa variabel yang berpengaruh dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.



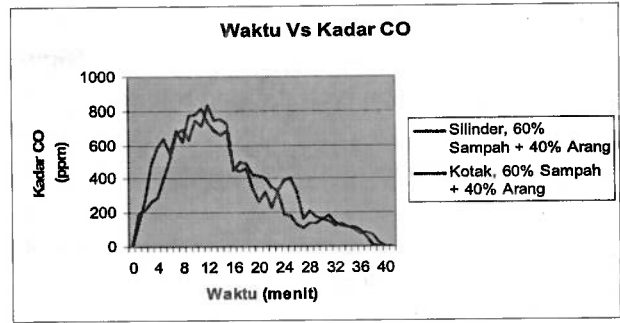
(a)



(b)

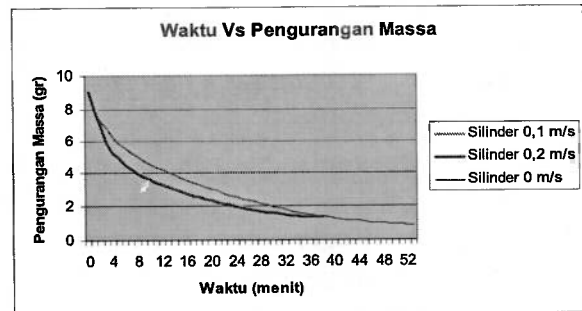


(c)

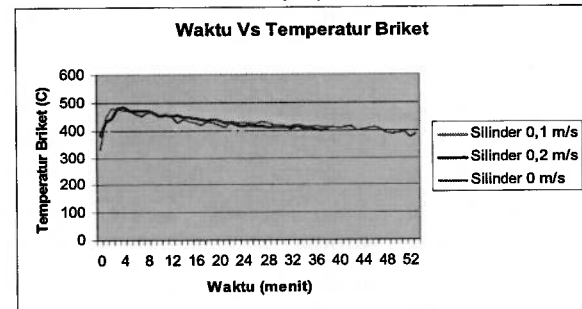


(d)

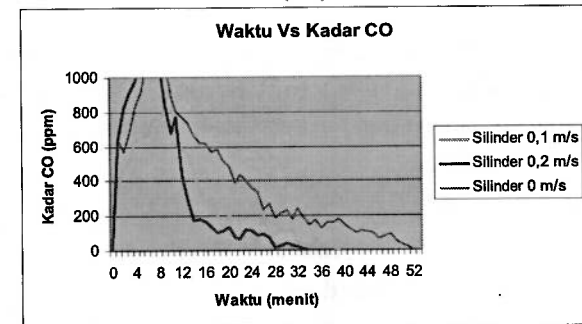
Gambar 1. Karakteristik Pembakaran Briket Sampah Kota Arang Akibat Variasi Bentuk Briket



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Karakteristik Pembakaran Briket Sampah Kota Arang Akibat Variasi Aliran Udara

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa penggunaan briket

sampah kota dengancampuran arang akan mampu digunakan untuk bahan bakar alternatif rakyat dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan, biaya dan kandungan energi yang mampu diberikan dan dari penelitian ini didapatkan satu hasil bahwa briket dengan bentuk kotak berkomposisi 60% sampah kota organik dan 40% arang dapat digunakan untuk bahan bakar alternatif rumah tangga.

### **Daftar Pustaka**

- Araujo, L, Campos, J, Portugal, A, (1991) Gasification of Pine and Cork Susperrions in a Cyclone Reactor, *Proceeding of the First International Conferneece on Combustion Tecnology for a Clear Enveronment*, Portugal.
- Borman, Gary L, Ragland, Kenneth W, (1986) *Applied Combustion*, Department of Mechanical Engineering University of Wisconsin Modsin Modision, WI
- Cooper, David C, Asley, F.C. (1996) *Air Pollution Control*, Waveland Press Inc., Illionis.
- De Ruyck, J, Monialis, K, Distelmans, M, Baron, G, (1991) A Biomass Fueled Cogeneration Plarat Bosed on an Evaporative Gas Tusbine Cycle at the University of Bunussels, *Proceedings of the First International Conference on Combustion Technology for a Clean Enveronment*.
- Pedersen, Yars Storm, Nilsen, Hanne Philbert, Kitt Zaren, (1996) Full Scale Co Firing of Straw and Coal, *Fuel*, Vol 75 No. 13 pp 1584-1590.
- Werther, J, Saenger, M, Hartge, E, Ogada, T, Siagi, Z, (2000) Combustion of Agricultural Residues, *Progress in Energy and Combustion Science*, 26 (2000) pp 1-27.

## PEDOMAN PENULISAN

**Lingkup Jurnal.** Tulisan yang dapat dimuat adalah yang mengkaji masalah yang berhubungan dengan bidang Teknik Kimia, Teknologi Tekstil, Teknik dan Manajemen Industri, Teknik Informatika, Teknik Elektro serta Teknik Mesin.

**Jenis Makalah.** Tulisan yang ditampilkan dapat berupa laporan penelitian ataupun makalah ilmiah bukan penelitian seperti laporan studi kasus atau kajian pustaka komprehensif. Laporan penelitian minimal memuat bagian abstrak, pendahuluan (latar belakang, tujuan, hipotesis, konsep-konsep kunci), metodologi penelitian, hasil penelitian dan pembahasan, kesimpulan, serta daftar pustaka. Makalah ilmiah bukan penelitian minimal memuat bagian abstrak, pendahuluan, pembahasan, kesimpulan, dan daftar pustaka.

**Panjang tulisan.** Panjang tulisan berkisar antara 8-12 halaman berukuran A4 spasi tunggal termasuk tabel dan gambar serta lampiran. Tulisan dapat dikirimkan melalui e-mail ke [teknoin@fti.uui.ac.id](mailto:teknoin@fti.uui.ac.id).

**Abstrak.** Panjang abstrak maksimum 200 kata dengan disertai dengan 3-5 kata kunci pada bagian akhir abstrak. Untuk tulisan dalam bahasa Indonesia abstrak dibuat dalam bahasa Inggris, dan sebaliknya. Abstrak tidak bersifat matematis dan memuat masalah penelitian, metodologi, hasil, dan kesimpulan.

**Tabel dan Gambar.** Tabel dan gambar harus diberi nomor dan judul, serta harus diacu dalam tulisan.

**Persamaan.** Persamaan matematika diberi nomor urut dalam kurun, (x), dengan dituliskan rata kanan.

**Kutipan.** Cara penulisan sumber kutipan adalah dengan format (nama, tahun) pada akhir

kutipan. Sumber kutipan yang ditulis oleh 2 orang menggunakan format (nama1 dan nama2, tahun), sedangkan yang ditulis oleh 3 orang dan lebih menggunakan format (nama1 dkk., tahun) atau (nama1 et. al., tahun).

**Daftar Pustaka.** Daftar pustaka diurutkan berdasarkan nama pengarang dan hanya memuat pustaka yang dikutip dalam tulisan. Nama pengarang dituliskan tanpa gelar, serta nama depan dan tengah, jika ada, disingkat. Beberapa contoh penulisan daftar pustaka.

### Buku

Elsayed, E.A., dan Boucher, T.O. (1994) *Analysis and Control of Production System*, Prentice Hall, New Jersey.

### Buku yang ditulis oleh lembaga

Modern Language Association (1984) *MLA Handbook of Writers of Research Papers, Theses and Dissertations*, Modern Language Association, New York.

### Buku suntingan

Mammone, R.J., ed. (1993) *Artificial Neural Network for Speech and Vision*, Chapman and Hall, London.

### Bagian dari buku suntingan dengan penulis berbeda

Girosi F. dan Iotti, G.A. (1993) Rates of Convergence for Radial Basis Functions and Neural Network, dalam Mammone, R.J., ed., *Artificial Neural Network for Speech and Vision*, Chapman and Hall, London, 97-114.

### Artikel Jurnal

Chen, S., Cowan, C.F.N., dan Grant, P.M.(1991) Orthogonal Least Squares Learning Algorithm for Radial Basis Function Network, *IEEE Transaction on Neural Network*, Vol.2, No.3, 302-309.

