



Prosiding

SEMINAR HASIL PENELITIAN & PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT



LEMBAGA PENELITIAN - UNIVERSITAS LAMPUNG **2007**

PROSIDING
Seminar Hasil Penelitian &
Pengabdian Kepada Masyarakat



UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
SEPTEMBER 2007

PROSIDING Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat

September © 2007

Penyunting :

Dr. John Hendri, M.S.
Dr. Ir. Tugiyono, M.S.
Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T.
Dr. Ir. Suharyono, M.S.
Dr. Sutopo Hadi
Dr. Warsito, D.E.A.
Drs. Teguh Budi Raharjo, M.S.
Drs. Buchori Asyik, M.Si.

Penyunting pelaksana:

A. Rahman, S.Sos.
Dra. Taryati
Katli Azwan
Yehezkiel Male, S.H.
Ikhman Alhakki, S.E.
Agus Effendi

Ide kreatif:

Ina Iryana, S.S.
Andora Nerisona, A.Md.
Elizonara
Subur

Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian
dan Pengabdian Kepada Masyarakat :
September 2007 / penyunting, John
Hendri ... [et al.]. – Bandarlampung :
Lembaga Penelitian Universitas
Lampung, 2007.
viii + 675 hlm. ; 21 x 29,7 cm

ISBN 979-15535-0-XX

Diterbitkan oleh :

LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS LAMPUNG

Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro no. 1 Gedungmeneng Bandarlampung 35145
Telp. (0721) 705173, 701609 ext. 138, 136, Fax. 773798,
e-mail : lemlit@unila.ac.id

<http://lemlit.unila.ac.id>

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada ALLAH SWT., yang telah melimpahkan Rahmat dan Nikmat-Nya kepada civitas akademika Universitas Lampung yang dapat mengenang hari jadinya yang ke-42 tahun di Tahun 2007. dalam rangka mewujudkan Tri Dharma Perguruan Tinggi, Universitas Lampung menyelenggarakan Seminar Hasil-hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat yang telah dilaksanakan oleh para dosen, baik yang dilakukan dengan dana mandiri, maupun mereka mendapatkan bantuan hibah dari berbagai *block grant*

Hasil-hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat yang diseminarkan pada tanggal September 2007 berjumlah makalah yang dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu kelompok ilmu-ilmu eksakta dan ilmu-ilmu sosial. Hasil penelitian dan pengabdian kepada masyarakat ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni (IPTEKS) serta mendukung pembangunan nasional.

Terimakasih kami sampaikan kepada panitia seminar yang telah bekerja keras untuk mengumpulkan makalah dari para dosen di lingkungan Universitas Lampung dan peran serta aktif dosen dalam seminar. Demikian juga kami sampaikan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada dewan penyunting dan penyunting pelaksana yang telah bekerja keras untuk mewujudkan terbitnya prosiding ini, serta pihak-pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Bandarlampung, September 2007

Ketua Lembaga Penelitian Unila,

Dr. John Hendri, M.S.

DAFTAR ISI

halaman

PENELITIAN

Syarat Perlu Dan Cukup Usia Bulan Sabit Pertama Sebagai Dasar Untuk Menentukan Tanggal Satu Kalender Hijriyah Tiryono Ruby	1
PEMBUATAN MODEL PEMUTAR TELUR UNTUK MESIN TETAS TELUR UNGGAS AHMAD SU'UDI	
PENINGKATAN SIFAT MEKANIK BAJA KARBON RENDAH DENGAN PROSES PRESTRAIN ZULHANIF	
Efek Waktu Tinggal dan Temperatur Operasi Pada Metanolisis CPO Menggunakan RATB TAHARUDDIN dan HERI RUSTAMAJI	
Analisis dan Perhitungan Rambatan Kalor pada Silinder Aluminium sebagai Pendingin Rangkaian Elektronik Terpadu AKHMAD DZAKWAN	
Kajian Variasi Dosis Serbuk Biji Kelor dan Alum, Serta Waktu Tinggal Pada Air Limbah Tapioka Dengan Proses Sedimentasi EDWIN AZWAR	
PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI PADA PERMUKAAN SILINDER ATAU PIRINGAN YANG BERPUTAR AGUS SUGIRI	
SURVEI GEOLISTRIK UNTUK ESTIMASI LAPISAN BATUBARA DI MUARA TOPENG LAMPUNG TENGAH RUSTADI	
PELABELAN TOTAL SISI TAK BERATURAN PADA GRAF BINTANG ASMIATI	
WAKTU OPTIMAL PEMBERSIHAN TERAK PADA <i>MULTIPASS WELDING</i> BAJA AISI 1020 SUGIANTO & TARKONO	
PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI KELAPA SAWIT UNTUK BAHAN BAKU KOMPOSIT PARTIKEL TARKONO	

PENENTUAN LOKASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV BERDASARKAN PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT DIKPRIDE DESPA	
METODE GRAVITASI UNTUK MENENTUKAN PENYEBARAN DAN KEDALAMAN CEKUNGAN (SINKLIN) DI DAERAH MENGGALA NANDI HAERUDIN, SUHARNO dan ATIK HASNAH SHOLIHAH	
DETEKSI PERGESERAN DERAJAT ARAH MATA ANGIN DENGAN METODE PEMBAGIAN SETENGAH LINGKARAN PADA KOMPAS PLAT MENGGUNAKAN SENSOR OPTIK GURUM AHMAD PAUZI	
ANALISIS SISTEM PENTANAHAN GRID ROD GARDU INDUK TEGANGAN TINGGI 150 KV DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM MS VISUAL BASIC HENRY B.H. SITORUS (*), HERMAN H. SINAGA (*), HENDRI ALBERT NOPAER SIMANJUNTAK (**)	
ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA BELITAN TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN WAVELET DISKRIT Herman Halomoan Sinaga, Henry Binsar Hamonangan Sitorus, Rizky	
PEMBANDINGAN EMPIRIS TIGA METODE REGRESI ROBUST (AN EMPIRICAL COMPARISON OF THREE ROBUST REGRESSION METHODS) KHOIRIN NISA	
PENENTUAN LITHOLOGI BATUAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE RESISTIVITAS SOUNDING DI DAERAH PROSPEK GEOTHERMAL GUNUNG RAJABASA SYAMSURIJAL RASIMENG, NANDI HAERUDIN, HARMEN	
PENINGKATAN UNJUK KERJA APLIKASI WEB MENGGUNAKAN AJAX (Studi Kasus : Penjaminan Mutu Jurusan <i>Online</i>) WAHYU EKO SULISTIONO, MARDIANA, DENNY CHANDRA	
ANALISIS SISTEM KEAMANAN SIAKAD ONLINE UNILA MENGGUNAKAN FRAMEWORK COBIT - DS5 MARDIANA	
SISTEM AKUISISI DATA FISIS JARAK JAUH MENGGUNAKAN PROTOKOL TCP/IP ROHMAT WAHYUDI	
STUDI KOMPUTASI DISTRIBUSI ALIRAN FLUIDA PADA PERCABANGAN PIPA HORIZONTAL DUA DIMENSI MUHAMMAD IRSYAD	
KAJIAN PENCEMARAN LOGAM BERAT DI WILAYAH PESISIR KOTA BANDAR LAMPUNG INDRA GUMAY YUDHA	

KAJIAN PENGARUH INDUKSI MEDAN MAGNET SUTET 500 KV PADA KESEHATAN MANUSIA MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY JANNUS MAURITS NAINGGOLAN*, ANDI HENDRAWAN*, AHMAD RIDWAN	
Karakteristik Tapis Penyerap Berdasarkan Pengaruh Variasi Intensitas Cahaya Matahari S. RATNA SULISTIYANTI	
MONOKROMATOR CAHAYA BIRU UNTUK SPEKTROFOTOMETER MENGGUNAKAN <i>GRATING</i> TRANSMISI BERBANTUKAN KOMPUTER ARIF SURTONO, TANTRI SUSILOWATI, R. SUPRIYANTO dan SRI WAHYUSUCIATI	
SISTEM PRACETAK SAMBUNGAN-KERING UNTUK PERTEMUAN BALOK-KOLOM BAYZONI	
KARAKTERISASI SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN KERAMIK DENGAN TEKNIK SINTERING SIMON SEMBIRING	
PENGARUH PARAMETER KUAT ARUS DAN WAKTU LAS TERHADAP DISTRIBUSI NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MAKRO HASIL LAS TITIK (<i>SPOT WELDING</i>) PELAT BAJA SPTC HARNOWO SUPRIADI	
EVALUASI KONDISI REGENERASI BENTONIT BEKAS SEBAGAI ADSORBEN PADA PROSES PEMUCATAN <i>CRUDE PALM OIL</i> (CPO) JOI FATMAT P.S. dan SIMPARMIN br. GINTING	
RASIO BENTONIT BEKAS/HCL PADA REGENERASI BENTONIT BEKAS DENGAN PENGEKSTRAKSI KOH PADA PROSES PEMUCATAN <i>CRUDE PALM OIL</i> (CPO) SYLVIA INARCE dan SIMPARMIN br. GINTING	
ESTIMASI NILAI TEMPERATUR FORMASI PADA SUMUR MINYAK MENGGUNAKAN METODE CORE DAN LOG ORDAS DEWANTO dan HERMANTO	
PENGUNAAN <i>MATHEMATICA</i> UNTUK PENYESUAIAN KURVA SINUSOID DAN PEROLEHAN BENTUK <i>DERET FOURIER</i> SEBAGAI MODEL MATEMATIS. Studi Kasus: (<i>Debit Air Dps Way Besai Sumber Jaya-Lampung</i>) LA ZAKARIA	
RANCANG BANGUN MODEL FISIK PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS DAN LAMPU HITUNG MUNDUR MENGGUNAKAN METODE FUZZY BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89C51 AGENG SADNOWO REPELIANTO dan YULIARTO RAHARJO	

SYARAT PERLU DAN CUKUP USIA BULAN SABIT PERTAMA SEBAGAI DASAR UNTUK MENENTUKAN TANGGAL SATU KALENDER HIJRIYAH

TIRYONO RUBY

Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Lampung
mata2@unila.ac.id, rtir04@yahoo.com

ABSTRAK

Makalah ini bertujuan menentukan tanggal satu kalender Hijriyah secara perhitungan matematis berdasar pada usia Bulan Sabit pertama di suatu wilayah di permukaan Bumi. Korespondensi lintasan Matahari dan Bulan yang masing-masing berbeda durasi menjadikan refleksi kecerahan sinar Bulan berubah (0% - 100%) secara periodik. Kecerahan sinar Bulan 1% (Bulan Sabit pertama lahir) terjadi saat Bulan keluar dari lingkaran mati 0% (perut Matahari). Menghitung usia Bulan Sabit pertama di suatu wilayah dimulai sejak Sabit/Hilal lahir (1%) hingga waktu Matahari terbenam, dihitung dalam satuan jam. Pada pekerjaan ini yang dilakukan adalah menghitung usia Bulan sabit pertama di suatu wilayah dan menentukan tanggal satu kalender Hijriyah berdasar usia tersebut sehingga tercapai kondisi ideal, yaitu kondisi dimana bilangan tanggal sama dengan bilangan banyaknya lintasan Bulan. Oleh karena itu, jika terlambat atau terlalu cepat dalam menentukan tanggal satu maka akibatnya kondisi ideal tidak tercapai. Selanjutnya karena geografis Bumi berbentuk bola maka ada perbedaan momen dimasing-masing wilayah permukaan Bumi yang terbagi menjadi 24 wilayah waktu.

Keywords: *Hijriyah, Bulan-Sabit, Bulan-Mati, Kondisi- ideal.*

PENDAHULUAN

Geografis Bumi berbentuk bola dengan permukaan berupa daratan dan lautan merupakan tempat tinggal kita manusia beserta flora, fauna, iklim dan kondisi-kondisi lain yang menyertainya. Pulau-pulau yang terbentang dipisahkan lautan menjadikan beranekaragam bangsa, budaya, adat istiadat, bahasa dan kebiasaan-kebiasaan lainnya. Oleh karena itu sejarah mencatat banyak aktifitas peringatan atau upacara adat/budaya dilakukan masyarakat disegala penjuru dunia, dikota-kota besar hingga dipeloksok desa selalu merayakan upacara tersebut dari waktu ke waktu dan generasi ke generasi. Perkembangan teknologi dan kemajuan zaman tidak menutup kemungkinan adanya pergeseran kebiasaan merayakan peringatan atau upacara, bahkan mungkin ditinggalkan sebelum dikaji dan diketahui potensinya.

Pada umumnya jenis peringatan atau upacara yang terus bertahan dan diwarisi dari generasi ke generasi adalah jenis upacara yang sakral atau spiritual. Aktifitas upacara atau peringatan

sakral/spiritual tersebut dilakukan pada momen waktu tertentu baik hari, bulan, lamanya aktifitas serta persyaratan syahnya. Hampir semua perayaan upacara sakral, spiritual atau hari besar keagamaan yang terjadi dilakukan pada momen berdasar pada Kecerahan Sinar Bulan sebagai penentuan waktunya. Antara lain: Islam (dalam penentuan Ramadhan, Idul Fitri, dan Idul Adha serta hari besar lainnya); Budha (menentukan Waisak saat Bulan cerah 100%/purnama); Hindu (menentukan Nyepi saat Bulan mati, 0%); Kristen/Katolik (menentukan Paskah adalah hari Minggu setelah purnama pada awal musim semi); Konghuchu (menentukan Imlek adalah setelah Bulan mati pada musim hujan Januari/Februari).

Perkembangan sains dan teknologi memberikan harapan solusi terhadap permasalahan yang telah terjadi pada kehidupan sehari-hari dan mengantisipasi terulangnya masalah di masa mendatang. Upaya tersebut diharapkan dapat membantu menyelesaikan masalah dengan pijakan bidang ilmu sebagai pondasi, pada akhirnya usaha tersebut dipergunakan untuk kemasalahatan bersama khususnya yang berkaitan dengan fenomena alam, yaitu dalam menentukan tanggal satu kalender Hijriyah berdasar pada usia Bulan sabit pertama di suatu wilayah permukaan Bumi. Matematika dasar yang digunakan untuk melakukan perhitungan merupakan warisan ilmuwan Ibnu Shina yang tertuang dalam Ilmu Ukur Sudut yaitu mengukur sudut Bulan terhadap horizon dengan menggunakan busur derajat, Al Jabar membangun persamaan-persamaan sehingga korespondensi antara lintasan Matahari-Bulan menjadi sederhana, dan perkembangan sains mendatangkan kemudahan sehingga fenomena lintasan dapat dituangkan pada koordinat bidang kartesius.

Fungsi trigonometri (Sinus) digunakan sebagai fungsi kecerahan sinar Bulan sekaligus memantau dimana posisi Bulan. Sudut posisi Bulan terhadap Matahari diukur dengan menggunakan alat busur derajat, dengan tidak mengurangi output yang diharapkan jika dibandingkan dengan peralatan yang modern dan mahal harganya. Dalam jangka panjang, perhitungan matematis kecerahan sinar Bulan memberikan suatu harapan dalam menentukan kecerahan 1% (Bulan sabit muda), kecerahan 50% (Bulan setengah muda), kecerahan 80% (Bulan wungkuk muda), kecerahan 100% (Bulan purnama), kecerahan 0% (Bulan mati) dan persentase kecerahan lainnya yang memiliki nilai sakral/spiritual untuk diperingati; Misalnya, pada masyarakat Mekah memantau kecerahan sinar Bulan 80% pada bulan Dzulhijjah merupakan lintasan ke-10 adalah melakukan upacara spiritual Wukup dan dikenal secara luas sebagai Hari Raya Idul Adha; Hal ini menjadi isu global manca negara dalam menentukan tanggal satu, karena konsekuensi kedepan ketika tiba tanggal 10 haruslah sesuai dengan jumlah lintasan Bulan, bahwa Bulan sedang pada lintasan ke-10 di wilayah tersebut (Tiryo, 2007).

METODE PENELITIAN

1. Observasi atau Pengamatan

Beberapa langkah dan data yang diperlukan dari kegiatan observasi Bulan Sabit antara lain:

- Memetakan permukaan Bumi pada koordinat bidang kartesius (kesepakatan);
- Durasi yang diperlukan ketika Matahari dan Bulan bersama-sama pada posisi satu garis proyeksi hingga pada periode bersama-sama satu garis proyeksi berikutnya (data utama);
- Data kecerahan sinar Bulan dan sudut Bulan terhadap Matahari;
- Mengembangkan data utama menjadi data lainnya (durasi tertinggal, usia bulan sabit).

Alat dan bahan yang diperlukan untuk mendapatkan data adalah menggunakan busur derajat untuk mengukur sudut Bulan terhadap Matahari (disarankan saat Matahari terbenam). Pendataan kecerahan Bulan dapat dilakukan dengan memfoto kecerahan Bulan (menggunakan kamera) atau dengan perhitungan melalui model matematis yang telah diperoleh.

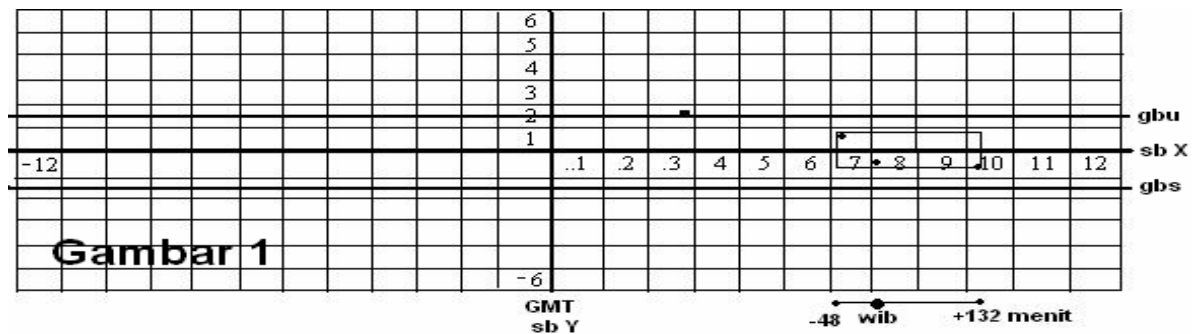
2. Analisis Data

Pada tahap melakukan analisis data diperlukan alat tulis dan busur derajat, akan sangat terbantu jika tersedia daftar log atau kalkulator yang memiliki fungsi sinus dan atau tersedia perangkat komputer dengan perangkat lunak *Excel*. Analisis data yang dilakukan pada pekerjaan ini adalah melakukan perhitungan pergeseran sudut Bulan terhadap Matahari setiap harinya dan momen kecerahan sinar Bulan 1 % dari satu bulan ke bulan berikutnya dengan cara deret tambah serta menghitung usia Bulan Sabit pertama dengan cara menghitung durasi sejak momen kecerahan sinar Bulan 1% hingga Matahari terbenam.

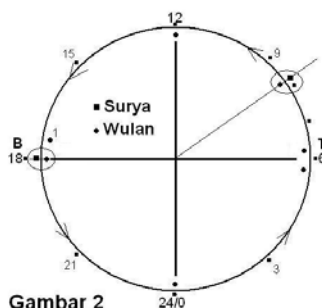
HASIL dan PEMBAHASAN

Kesepakatan ilmuwan terdahulu kaitannya dengan pemetaan Bumi pada koordinat bidang kartesius adalah kesepakatan bahwa satu hari memiliki durasi 24 jam, maka globe (bola dunia) dipartisi menjadi 24 bagian, dengan kata lain Bumi seluruhnya memiliki 24 wilayah waktu dan jika dipetakan pada koordinat bidang kartesius akan memiliki ukuran koordinat 24 interval absis/ sumbu X dan 12 interval ordinat/sumbu Y (gambar 1). Dengan konsisten maka setiap partisi (= 1 jam) setara dengan 15 derajat sehingga satu derajat = 4 menit. Konsekuensi selanjutnya wilayah Nusantara dari sabang (-48 menit terhadap wib) sampai merauke (+132 menit terhadap wib) memiliki interval sepanjang sumbu X = 45 derajat setara dengan 180

menit (3 jam) sehingga Nusantara dibagi 3 wilayah waktu wib, wita dan wit. (Purcell dan Varberg, 1996; Kreyszig, 1988; Tiryono R. 2006).



Kecerahan sinar Bulan yang dapat kita amati merupakan refleksi/pantulan cahaya Matahari oleh Bulan (seperti cermin memantulkan sinar patromak). Korespondensi lintasan Matahari dan Bulan dimana masing-masing memiliki durasi lintasan yang berbeda mengakibatkan kecerahan sinar Bulan berubah secara perlahan dari hari ke hari (Febi dan Tiryono, 2007). Durasi yang diperlukan ketika Matahari dan Bulan bersama-sama satu garis proyeksi hingga pada periode bersama-sama satu garis proyeksi berikutnya adalah 29,5c hari ($c \approx 2$). Korespondensi lintasan Matahari dan Bulan diilustrasikan sebagai Surya dan Wulan lomba lari mengelilingi lapangan berbentuk lingkaran seperti pada (Gambar 2). Start lomba dimulai pada patok pukul 18. Wulan lebih lambat dari Surya, sehingga pada saat Surya selesai melakukan etape pertama Wulan tertinggal pada tanda **dot-1**. Demikian seterusnya setiap etape Wulan tertinggal secara konsisten, sehingga pada etape ke-28 Wulan terlihat berada di depan Surya dan akhirnya Wulan terkejar oleh Surya pada etape ke 29,52 (patok pukul 8: 10). Dari ilustrasi tersebut satu etape adalah durasi lintasan Matahari dari terbenam di ufuk barat pk 18 – hingga terbenam kembali pada hari berikutnya adalah 24 jam (satu hari). Oleh Almanak durasi 29,52 hari dijadikan sebagai lamanya hari dalam satu bulan kalender Hijriyah oleh karena itu satu tahun kalender Hijriyah adalah $29,52 \times 12 = 354,24$ hari. Kecerahan sinar Bulan dapat dilihat selama 28 hari (1% - 100 %), hari ke 29 Bulan mati (0%). Kecerahan sinar bulan sabit pertama (lintasan ke-1) 1- 3,5 %, lintasan ke-7 kecerahan 50-60%, lintasan ke 14-15 kecerahan 100%, lintasan ke-21 kecerahan 60-50% dan lintasan ke-28 kecerahan 3,5-1% serta lintasan ke-29 adalah bulan mati dengan kecerahan 0%. Model matematika untuk kecerahan lintasan Bulan tersebut dinyatakan dengan $f(x) = \sin 0.5 x$, ($0^\circ \leq x \leq 360^\circ$), x dikonversi ke h



$$f(h) = \begin{cases} \sin 0,5(12,86)h, & (1 \leq h \leq 28) \\ 0, & (h \geq 29) \end{cases}, \quad h \text{ adalah hari/lintasan}$$

Berkaitan dengan periodik posisi satu garis proyeksi memerlukan $\approx 29,52$ hari maka sudut Bulan terhadap Matahari bergeser setiap harinya sebesar $360^\circ/29,52 \approx 12,3^\circ$; Lintasan Bulan terlambat setiap harinya terhadap lintasan Matahari $\approx 12,3 \times 4 \text{ menit} \approx 49 \text{ menit}$; Usia Bulan Sabit Pertama (BSP) dihitung sejak momen kecerahan 1% hingga Matahari terbenam; Agar lintasan ke-10 terpenuhi di suatu wilayah maka usia Bulan Sabit perlu minimal 7,35 jam, jika usia BSP 21 jam maka syarat cukup terpenuhi untuk semua lintasan dan jika usia BSP lebih dari 21 jam hingga 36 jam maka usia BSP lebih dari cukup untuk menjadikan hari tersebut sebagai tanggal satu.

Tabel Detik-Detik Bulan Sabit Pertama Lahir Berdasar WIB

Tgl/Bln/Th	Cerah (1%)	Usia (jam)	Bulan Hijriyah	Tanggal 1 Kalender Hijriyah	
Observasi	Bln.Sabit1	BL Sabit		Wib/Wita/Wit	Waktu Makkah
01_Jan2006	0:35	11,5	Dzulhijjah_1426	ok	ok
30_Jan	11:30	6,5	Muharram_1427	ok/no/no	ok
28_Feb	21:20	- 3,3	Safar	1_Maret	idem
30_Mart	7:10	10,7	RabiulAwal	ok	ok
28_Aprl	17:00	1	RabiulAkhir	29_April	idem
28_Mei	3:30	14,5	JumadilUla	ok	ok
26_Jun	15:20	2,3	JumadilTsaniah	27_Juni	idem
26_Juli	4:50	13,1	Rajab	ok	ok
24_Agus	20:05	-2	Syaban	25_Agustus	idem
23_Sep	12:40	5,3	Romadlan	24_Septemb	23_Septemb
23_Okt	5:40	12,3	Syawal	ok	ok
21_Nov	22:10	-4,1	Dunga	22_Novemb	idem
21_Des	13:15	4,6	Dzulhijjah	22_Desemb	21_Desemb

Tgl/Bln/Th	Cerah (1%)	Usia (jam)	Bulan Hijriyah	Tanggal 1 Kalender Hijriyah	
Obs/Model	Bln.Sabit1	BL Sabit		Wib/Wita/Wit	Waktu Makkah
21_Jan2007	2:25	15,6	Muharram_1428	ok	ok
18_Feb	13:40	4,3	Safar	19_Feb	18_Feb
19_Mart	23:15	- 5,1	RabiulAwal	20_Mart	idem
18_Apr	8:00	10	RabiulAkhir	ok	ok
17_Mei	16:15	1,6	JumadilUla	18_Mei	idem
16_Jun	0:50	17,1	JumadilTsaniah	ok	ok
15_Juli	10:40	7,3	Rajab	ok	ok
13_Agus	22:30	- 4,5	Syaban	14_Agust	idem
12_Sep	12:50	5,1	Romadlan	13_Agus	ok
12_Okt	5:35	12,3	Syawal	ok	ok
10_Nov	23:55	- 5,9	Dunga	11_Nov	idem
10_Des	18:30	-0,5	Dzulhijjah	11_Des	idem

Tgl/Bln/Th	Cerah (1%)	Usia (jam)	Bulan Hijriyah	Tanggal 1 Kalender Hijriyah	
Obs/Model	BulanSabit1	BL_Sabit		Wib/Wita/Wit	Waktu Makkah
9_Jan2008	11:55	6	Muharram_1429	10_Jan	9_Jan
8_Feb_Kbs	2:45	15,1	Safar	ok	ok
8_Mart	14:55	3	RabiulAwal	9_Mart	idem
7_April	0:50	17,1	RabiulAkhir	ok	ok
6_Mei	8:55	9	JumadilUla	ok	ok
4_Jun	16:10	2	JumadilTsaniah	5_Jun	idem
3_juli	23:35	- 5,5	Rajab	4_Juli	idem
2_Ags	7:45	10,1	Syaban	ok	ok
31_agus	18:15	- 0,1	Romadlan	1_Sep	1_Sep
30_Sep	7:15	11	Syawal	ok	ok
29_Okt	23:25	- 5,4	Dunga	30_Okt	idem
28_Nov	17:55	0	Dzulhijjah	29_Nov	idem
28_Des	13:40	4,3	Muharram_1430	29_Des	28_Des

Tgl/Bln/Th	Cerah (1%)	Usia (jam)	Bulan Hijriyah	Tanggal 1 Kalender Hijriyah	
Obs/Model	BulanSabit1	BL_Sabit		Wib/Wita/Wit	Waktu Makkah
28_Des	13:40	4,3	Muharram_1430	29_Des	28_Des
27_Jan2009	8:30	9,5	Safar	ok	ok
26_Feb	1:15	16,7	RabiulAw	ok	ok
27_Mart	14:35	3,3	RabAkh	28_Mart	idem
26_April	1:10	17	JumUla	ok	ok
25_Mei	9:30	8,5	JumTs	ok	ok
23_Juni	16:25	1,6	Rajab	24_Juni	idem
22_Juli	23:10	- 5,1	Syaban	23_Juli	idem
21_Agust	6:30	11,5	Romadln	ok	ok
19_Sept	16:10	2	Syawl	20_Sep	idem
19_Okt	3:45	14,1	Dunga	ok	ok
17_Nov	18:50	-0,8	Dzulhijjah	18_Nov	idem
17_Des	12:30	5,5	Muhr1431	18_Des	17_Des

Tabel lintasan Bulan 'hilal pertama Syawal' berdasar WIB vs Makkah

Thn M	OBS Hilal/BS Tanggal	BS WIB Lahir	BS WM	MKH 1 Syawal	INDO 1 Syawal	IDUL FITRI		Thn H 1
						MAKKAH	INDO wib/wita/wit	
----	-----	---	----	-----		----	----	----
1998	Jan 29	05:00	01:00	Jan 29	Y			1418
1999	Jan 18	15:00	11:00	Jan 18	N	18 Jan	19 Jan	1419
2000	Jan 7	19:00	15:00	Jan 8	Y			1420
2000	Des 26	18:00	14:00	Des 27	Y			1421
2001	Des 15	20:00	16:00	Des 16	Y			1422
2002	Des 5	05:00	01:00	Des 5	Y			1423
2003	Nov 24	19:40	15:40	Nov 25	Y			1424
2004	Nov 13	11:45	07:45	Nov 13	N	13 Nov	14 Nov	1425
2005	Nov 3	00:05	-3:55	Nov 3	Y			1426
2006	Okt 23	05:40	01:40	Okt 23	Y			1427
2007	Okt 12	05:35	01:35	Okt 12	Y			1428
2008	Sep 30	07:15	03:15	Sep 30	Y			1429
2009	Sep 19	16:10	12:10	Sep 20	Y			1430
2010	Sep 9	07:00	03:00	Sep 9	Y			1431
2011	Agus 29	23:55	19:55	Agus 30	Y			1432
2012	Agus 18	14:30	10:30	Agus 18	N	18 Agust	19 Agust	1433
2013	Agus 7	22:10	18:10	Agus 8	Y			1434
2014	Jul 27	23:30	19:30	Jul 28	Y			1435
2015	Jul 17	01:10	-2:50	Jul 17	Y			1436
2016	Jul 5	09:05	05:05	Jul 5	Y			1437
2017	Juni 24	23:25	19:25	Juni 25	Y			1438
2018	Juni 14	16:45	12:45	Juni 15	Y			1439
2019	Juni 4	08:30	04:30	Juni 4	Y			1440
2020	Mei 23	17:55	13:55	Mei 24	Y			1441
2021	Mei 12	20:05	16:05	Mei 13	Y			1442
2022	Mei 1	20:35	16:35	Mei 2	Y			1443
2023	April 21	02:30	-1:30	April 21	Y			1444

Thn M 623	OBS Hilal/BS Tanggal	BS WIB Lahir	BS WM	MKH 1 Syawal	INDO 1 Syawal	IDUL FITRI				Thn H 1
						MAKKAH	INDO wib/wita/wit			
2024	April 9	15:20	11:20	April 10	Y					1445
2025	Maret 30	07:45	03:45	Maret 30	Y					1446
2026	Maret 19	23:10	19:10	Maret 20	Y					1447
2027	Maret 9	09:15	05:15	Maret 9	Y					1448
2028	Febr 26	11:25	07:25	Febr 26	N	26_Agus	27_Agus			1449
2029	Febr 14	10:35	06:35	Febr 14	Y					1450
2030	Febr 3	14:20	10:20	Febr 3	N	3_Feb	4_Feb			1451
2031	Jan 24	01:30	-2:30	Jan 24	Y					1452
2032	Jan 13	16:45								1453
2033	Jan 2	08:20	18:35, 21:20							1454
2033	Des 22	Hilal-Explorer Dept.Mat.Fmipa.Unila								1455
2034	Des 11									1456
2036	Nov 30	Obs=Observasi/Pengamatan								1457
2037	Nov 19	BS=BulnSabit,Wib=Wakt Indo-Barat								1458
2038	Nov 8	WM= waktu Mekah, S=Syawal,								1459
----	-----	---	---	--	-	-	-	----	-----	-----
XX	Kapan terjadinya tahun M = tahun H = XX ?									XX

Momen 1 Syawal terjadi dua kali pada tahun M: 2000, 2033, 2066, 2099, 2132, 2168, 2201, 2234, 2267, 2300, 2333, 2366, 2399, 2432, 2465, 2498, 2531, ..., XX, ...,

KESIMPULAN dan SARAN

1. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut di atas maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Satu bulan kalender Hijriyah lamanya $\approx 29,52$ hari; Lintasan Bulan terlambat ≈ 49 menit terhadap lintasan Matahari setiap harinya. Fungsi kecerahan Bulan $y=f(h)*(100\%)$, dengan $f(x) = \sin 0.5 x$, ($0^\circ \leq x \leq 360^\circ$), x dikonversi ke h diperoleh:

$$f(h) = \begin{cases} \sin 0,5(12,86)h, & (1 \leq h \leq 28) \\ 0, & (h \geq 29) \end{cases}, h \text{ adalah hari/lintasan ke-}$$

Sudut Bulan terhadap Matahari bergeser setiap harinya sebesar $360^\circ/29,52 = 12,3^\circ$. Usia Bulan Sabit Pertama dihitung sejak momen kecerahan 1% terjadi hingga Matahari terbenam; Dalam menentukan tanggal satu agar lintasan ke-n terpenuhi di suatu wilayah maka syarat perlu usia Bulan Sabit minimal $(n-1)$ (≈ 49 menit).

2. SARAN

Perlu dilakukan penelitian mengenai sensitifitas 29,2c dengan $c \approx 2$ sehingga keakurasian momen kecerahan Bulan Sabit 1% dapat dimodelkan/dirumuskan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di Jurusan Matematika FMIPA Unila yang konsen diskusi penanggalan khususnya momen 1 Syawal.

DAFTAR PUSTAKA

- Edwin j. Purcell dan Dale Varberg, 1996. *KALKULUS dan Geometri Analitis* (alih bahasa I Nyoman Susila, Bana Kartasasmita, Rawuh), Penerbit Erlanga.
- Erwin Kreyszig, 1988. *Advanced Engineering mathematics*, John Wiley & Sons Inc.
- Tiryono R. 2006. Model Lokal-Global Radiasi Matahari Sebagai Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Hibrid Panel Surya-Baterai. *Prosiding Seminar Hasil-hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*. Lembaga Penelitian-Universitas Lampung, ISBN: 979-15535-0-5, Buku Dua, Hal. 444-451.
- Tiryono R. 2007. Model Lintasan Bulan '10 Dzulhijjah' Sebagai Momen Pasar Ternak Potensial Untuk Yngkatkan Ekonomi Kerakyatan Di Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Ekonomi dan Metode Kuantitatif*. Universitas Malahayati, ISSN: 1978-5925, hal. 234-241.
- Febi Eka Febriansyah dan Tiryono Ruby 2007. Korespondensi Lintasan Matahari Dan Bulan Sebagai Dasar Untuk Membangun Model Dan Database Kecerahan Sinar Bulan. *Seminar Nasional Sains & Teknologi*, Universitas Lampung, 27-28 Agustus 2007.

PEMBUATAN MODEL PEMUTAR TELUR UNTUK MESIN TETAS TELUR UNGGAS

AHMAD SU'UDI

Jurusan Teknik Mesin, FT Unila

Email: suudi74@yahoo.com, HP.+6281928124800

ABSTRACT

Egg turning is one of other factors who supported success of egg poultry hatching. Egg turning manually (by hand) has still done by traditional poultry man when they hatch the egg in the incubator or hatching machine. This way has some weakness. Because of that reason this research aim to design and make a model of automatic egg turning for hatching machine by using simple technology.

The model work based on force equilibrium and hydrostatic principles. The aquarium pump was used to move water from one vessel to another vessel so the force equilibrium will change and finally the egg will turn.

The result are the model can do egg turning smoothly and the required time to turn the eggs are 4 minutes in once turn. If for a day the egg must be turned at least 3 times, so the model had worked very well

Keywords: *egg turning, hatching, incubator, hydrostatic*

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Dalam sistem ekonomi kerakyatan, koperasi, usaha kecil dan menengah merupakan prioritas utama untuk ditumbuhkembangkan dan diharapkan menjadi tulang punggung perekonomian nasional. Salah satu jenis usaha kecil yang ada adalah usaha pembibitan unggas; ayam, burung, dan sebagainya. Walaupun belakangan ini wabah flu burung atau avian influenza (H5N1) banyak menyerang di berbagai daerah, tetapi tentunya hal itu jangan menjadi penghalang untuk terus berusaha. Salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah pembibitan dengan cara menetas telur bibit dengan menggunakan mesin penetas. Dari pengamatan peneliti selama ini, salah satu permasalahan yang dihadapi oleh peternak pembibitan tradisional adalah cara memutar telur. Hingga saat ini untuk memutar telur pada saat penetasan masih menggunakan cara manual yaitu diputar dengan menggunakan tangan butir demi butir. Cara pemutaran telur manual adalah tidak efektif dari segi tenaga dan waktu (dalam 24 jam harus dilakukan membolak-balik telur minimal 3 kali), apalagi bila kapasitas penetas telurnya besar. Selain

itu cara ini juga mengganggu kestabilan temperatur penetasan karena harus membuka pintu mesin penetas telur.

2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model pemutar telur otomatis dengan teknologi yang sederhana (bahannya mudah didapatkan dan mudah membuatnya) dan biayanya relatif murah (biaya pembuatan dan perawatan), sehingga nantinya mudah untuk dimasyarakatkan.

3. Landasan Teori

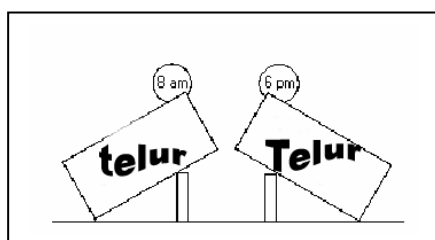
Sekilas Mengenai Penetasan Telur

Ada 5 poin utama yang harus diperhatikan dalam penetasan telur yaitu :

- a. Suhu (*Temperatur*)
- b. Kelembaban Udara (*Humidity*)
- c. Ventilasi (*Ventilation*)
- d. Pemutaran Telur (*Egg Turning*)
- e. Kebersihan (*Cleanliness*).

5. Pemutaran Telur

Pada incubator, telur telur diletakkan pada tray- tray pada tempatnya dengan ujung tajam telur menghadap kebawah. Pemutaran dilakukan untuk memindahkan posisi tray didalam mesin incubator agar terjadi sudut 30 – 45 derajat untuk tiap tiap waktu yang ditetapkan secara berkesinambungan dan bergantian sudutnya, seperti terlihat pada Gambar 1.



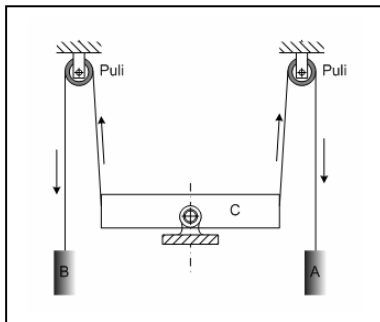
Gambar 1. Posisi perubahan kedudukan telur

Pemutaran telur sedikitnya adalah 3 kali sehari atau 5 kali sudah lebih dari baik untuk mencegah embrio telur melekat pada selaput membran bagian dalam telur. Oleh sebab itu jangan pernah membiarkan telur tetas tidak dibalik atau diputar posisinya dalam 1 hari pada masa penetasan telur. Pemutaran telur tersebut dilakukan dalam 18 hari pertama penetasan. Tetapi jangan membalik telur sama sekali pada 3 hari terakhir menjelang telur menetas. Pada saat itu telur tidak boleh diusik karena embrio dalam telur atau anak ayam

yang akan menetas tersebut sedang bergerak pada posisi penetasannya.

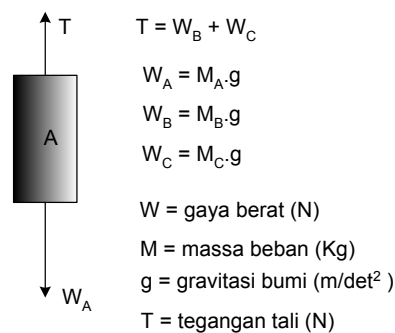
6. Keseimbangan Gaya

Prinsip dasar dari cara kerja pemutar telur disini adalah kesetimbangan gaya seperti terlihat pada Gambar 2. Berikut ini akan diuraikan mengenai kesetimbangan gaya yang dimaksud.



Gambar 2. Keseimbangan gaya-gaya tali

Sistem di atas akan setimbang jika $M_A = M_B$. Untuk memutar massa C sekian derajat berlawanan arah jarum jam (CCW), maka gaya berat A (W_A) harus lebih besar dari $W_B + W_C$. Dengan kata lain beban A akan bergerak ke bawah.

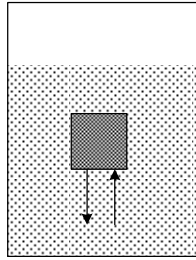


Massa C (M_C) besarnya konstan, sehingga yang dapat diatur beratnya adalah massa B (M_B). Untuk mengatur massa B maka digunakan prinsip hidrostatis.

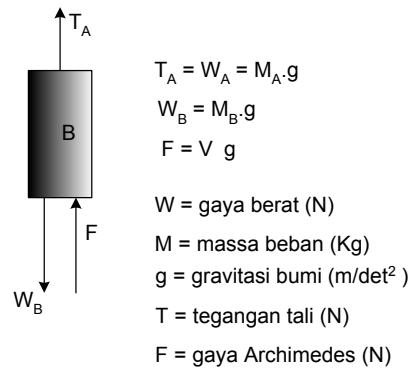
Jika volume benda yang tercelup V sedangkan massa jenis zat cair ρ maka gaya ke atas (gaya Archimedes) dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$F = V\rho g \dots\dots\dots (1)$$

$F = \text{gaya Archimedes (N)}$



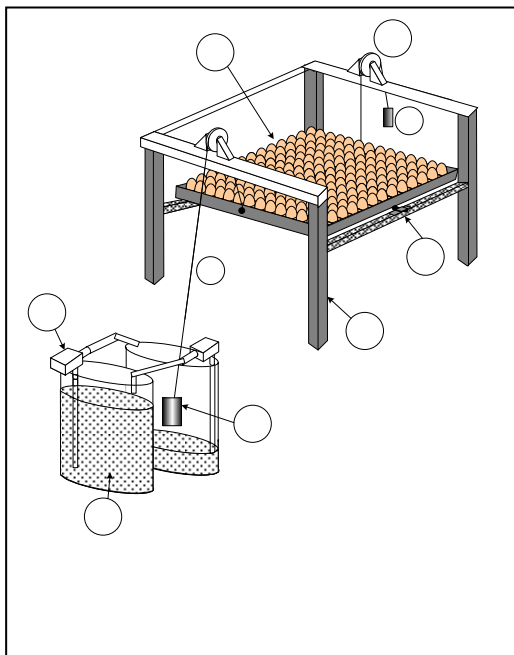
Sehingga kesetimbangan gaya-gaya pada massa B adalah sebagai berikut :



supaya massa B bergerak ke atas maka syaratnya $T_A + F > W_B$.

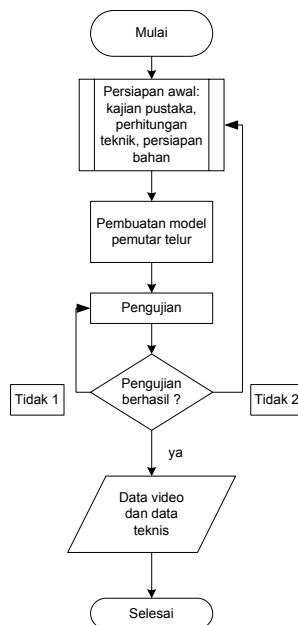
METODE PENELITIAN

Membuat model pemutar telur seperti terlihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Model pemutar telur otomatis

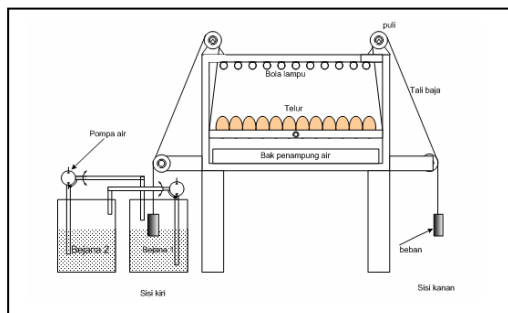
Metode penelitian yang digunakan dalam kegiatan ini tergambar dalam diagram alir berikut ini.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

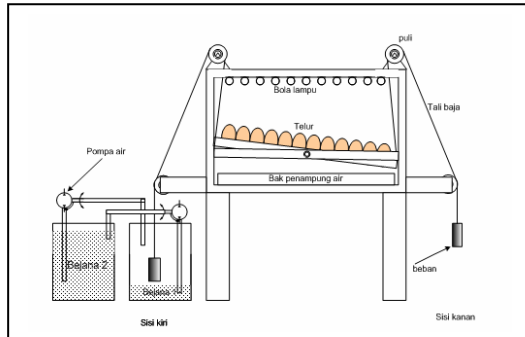
Prinsip kerja dari pemutar telur otomatis rancangan adalah sebagai berikut :

Prinsip kerjanya menggunakan prinsip kesetimbangan gaya; gaya mekanik dan gaya Archimedes. Telur diletakkan pada rak telur. Pada rak telur ini terdapat as (poros) yang terletak di tengah-tengah rak seperti terlihat pada Gambar 4. Untuk memutar telur sekian derajat searah jarum jam (CW) maka pompa air akan memompakan air dari dalam bejana 1 untuk dialirkan ke bejana 2 . Akibatnya air dalam bejana 2 akan bertambah volume airnya sehingga gaya hidrostatik (Archimedes) yang diterima beban sisi kiri akan berkurang (hilang). Akibat berkurangnya gaya hidrostatik tersebut, maka beban sisi kiri (massa beban sisi kiri > massa beban sisi kanan) akan memutar rak telur sekian derajat searah jarum jam (lihat Gambar 5a).

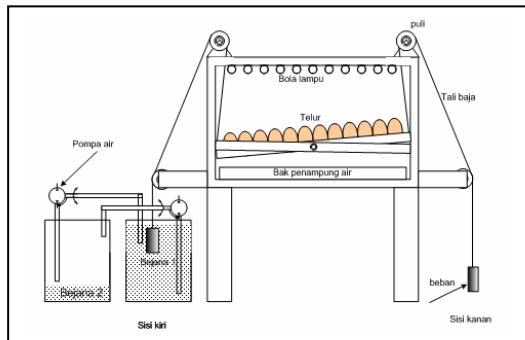


Gambar 5a. Posisi rak telur seimbang

Kerja pompa diatur oleh pengatur pompa otomatis sehingga setelah rak telur tersebut berputar sekian derajat, pompa 1 akan berhenti bekerja, dan selanjutnya pengatur pompa akan memerintahkan pompa 2 untuk bekerja sehingga rak telur akan berputar sekian derajat kearah sebaliknya (lihat Gambar 5b).



Gambar 5b. Posisi pemutar telur searah jarum jam (CW)



Gambar 5c. Posisi pemutar telur berlawanan arah jarum jam (CCW)

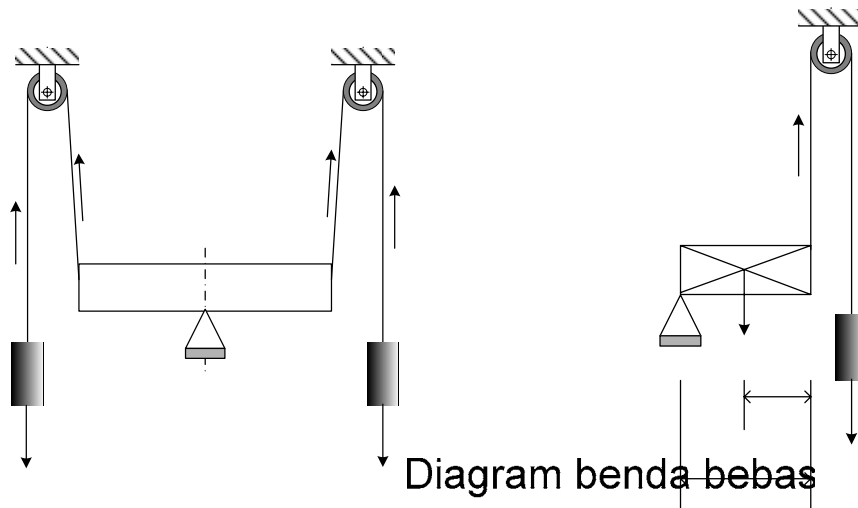
Demikian proses ini berlangsung terus menerus sampai waktu yang ditentukan.

Bahan dan alat yang dibutuhkan :

No.	Keterangan	Jumlah
1	Kayu rangka	4 batang
2	Saringan kawat besar	1 m ²
3	Saringan kawat kecil	1 m ²
4	Tali	7 m
5	Pompa aquarium	2 buah
6	Bejana/wadah air	2 buah
7	Puli	4 buah
8	Paku kayu besar	1/2 kg
9	Paku kayu kecil	1/2 kg
10	Otomatis Pompa	2 buah

Menentukan beban kiri - kanan yang digunakan :

Untuk menentukan beban yang akan digunakan (M_A dan M_B) ditentukan dengan menggunakan diagram benda bebas seperti terlihat pada Gambar 6. di bawah ini.



Gambar 6. Diagram benda bebas untuk menentukan beban yang digunakan

Dengan :

T = tegangan tali (N)

W_A , W_B , W_C masing-masing adalah berat beban A (N), berat beban B (N) dan berat Rak plus telur (N).

L = panjang rak telur (m)

Untuk menghitung berat beban A adalah dengan menggunakan persamaan :

$$T = W_A \quad \dots\dots\dots (2)$$

Sedangkan T dihitung dari persamaan $\sum M_O = 0$, yaitu :

$$T \cdot \frac{1}{2} L - (W_C) / 2 \cdot \frac{1}{4} L = 0$$

$$T = (W_C) / 4 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Menentukan volume air dan dimensi bejana yang digunakan :

Setelah berat beban A dan B diketahui, untuk menentukan volume air dan dimensi bejana digunakan persamaan Archimedes.

$$W_B < F = \rho V g \quad \dots\dots\dots (4)$$

➤ Pengujian

Setelah model selesai dibuat, maka dilakukan pengujian dengan mengoperasikan model pemutar telur tersebut. Pengujian dikatakan berhasil bila model penetas telur dapat melakukan gerakan pemutaran telur sesuai dengan rancangan. Data yang didapat berupa data teknis dan rekaman video pemutar telur.

HASIL dan PEMBAHASAN

1. Menentukan dimensi dan berat Rak telur

Secara teoritis untuk mencari berat total rak telur (rak terisi) dicari dengan cara menimbang rak kosong dan 1 butir telur dikali dengan jumlah telur yg ingin ditetaskan. Dalam penelitian ini berat telur diwakili oleh berat rak yang seluruh bahannya terbuat dari logam, sehingga berat rak terisi dibuat sekitar 16 kg (kapasitas sekitar 200 telur ayam). Dimensi rak telur dibuat berdasar pada kapasitas yang diinginkan. Dimensi rak yang dibuat adalah : 80 x 120 cm.

2. Menentukan beban kiri - kanan yang digunakan

Dari persamaan (3) didapat :

$$T = (W_C)/4$$

$$T = 16/4$$

$$T = 4 \text{ N}$$

$$T = 0,4 \text{ kg}$$

Sehingga berat beban A berdasarkan persamaan (2) adalah $\pm 0,4 \text{ kg}$, dan berat beban B disini dibuat $\pm 3 \text{ kg}$.

3. Menentukan volume air dan dimensi bejana yang digunakan

Volume air minimal yang digunakan dihitung dari persamaan (1) :

$$W_B < F = \rho V g \quad (\text{percepatan gravitasi } g = 9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$29,43 < 1000 \times V \times 9,81$$

$$V > 0.003 \text{ m}^3$$

$$V > 3 \text{ liter (volume minimal air yang dibutuhkan)}$$

Ini adalah volume minimal air yang dibutuhkan agar beban A dapat menarik beban B ketika air pada bejana beban B terisi penuh. Untuk menentukan bejana atau wadah air yang digunakan, dapat menggunakan ember atau barang sejenisnya, asalkan volume wadah tersebut lebih dari 3 liter.

4. Menentukan bahan dudukan rak

Dudukan tempat rak telur dibuat dengan menggunakan balok kayu, dimensinya menyesuaikan dengan dimensi rak.

5. Menentukan panjang tali

Panjang tali yang digunakan ditentukan dari pengukuran dilapangan, pada penelitian ini panjang talinya adalah masing-masing 3,5 m. Bahan tali tidak spesifik disyaratkan, asalkan mampu menahan beban yang ada. Pada penelitian ini digunakan tali tambang kecil.

6. Menentukan jenis pompa

Pompa yang digunakan harus memenuhi kriteria dapat dioperasikan 24 jam nonstop, harganya murah, dayanya kecil, dan debit pompanya mampu melakukan minimal tiga kali pemutaran dalam sehari. Pada penelitian ini digunakan pompa akuarium sebanyak 2 buah. Pada masing-masing pompa dipasang pengatur kerja pompa dan pada penelitian ini digunakan pengatur pompa merk RADAR yang dapat dibeli dipasaran.

7. Menentukan jenis puli

Puli yang digunakan disini berfungsi untuk mengurangi gesekan tali sehingga gaya tariknya bisa lebih kecil atau lebih mudah untuk bergerak.

PENGUJIAN

Dari hasil pengujian diketahui bahwa model pemutar telur ini dapat bekerja dengan sangat lembut dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemutaran sekitar 4 menit. Data visualnya direkam menggunakan Handphone dan dapat dilihat pada CD yang penulis sertakan pada laporan ini.

SIMPULAN

Dari pengujian didapat waktu yang dibutuhkan untuk melakukan putaran adalah 4 menit, hal ini berarti jika dalam waktu 24 jam minimal 3 kali berputar, maka model pemutar telur ini dapat memenuhi syarat minimal yang ditentukan. Data teknis dari model pemutar telur untuk kapasitas sekitar 200 telur ayam adalah sebagai berikut :

Kapasitas rak	:	200 telur ayam
Ukuran rak	:	80 x 120 cm
Bahan rak	:	Kombinasi kayu dan kawat (optional)
Berat rak isi	:	16 kg
Panjang tali	:	Masing-masing 3,5 m
Bahan tali/jenis tali	:	Tali tambang kecil (optional)
Jumlah puli	:	4 buah (optional)
Bejana/wadah yang digunakan	:	Jenis ember (optional)
Volume bejana/wadah	:	Minimal 15 liter
Jumlah wadah	:	2 buah
Volume air minimal	:	Minimal 3 liter
Jenis pompa	:	Pompa akuarium
Jumlah pompa	:	2 buah
Kapasitas pompa	:	800 liter/jam
Pengatur pompa	:	Merk RADAR
Berat beban/bandul		
Bandul besar (W_B)	:	3 kg
Bandul kecil (W_A)	:	0,4 kg

Opsional : maksudnya bisa menggunakan alternatif lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya pada pihak-pihak yang telah membantu, khususnya pada Unila dan DIPA PNPB yang telah memberikan bantuan dana sehingga penelitian ini dapat terlaksana

DAFTAR PUSTAKA

[Http://www.glory-farm.com/mgt_telur/penetasan_mesin_tetas.htm](http://www.glory-farm.com/mgt_telur/penetasan_mesin_tetas.htm), tanggal 10 Maret 2006, 10.20 AM.

Giancoli, Douglas. 1999. Fisika. Erlangga. Jakarta.

Sudjarwo E, Hartono B. 2001. Penggunaan Mesin Tetas dengan System Pemutar Otomatis di Kelompok Peternak Ayam Buras Wulung Kencono.



PENINGKATAN SIFAT MEKANIK BAJA KARBON RENDAH DENGAN PROSES PRESTRAIN

ZULHANIF

Teknik Mesin UNILA, Jl Soemantri Brojonegoro no.1 Bandar Lampung
Hp.081540810406, email :hanif@unila.ac.id

ABSTRACT

To increase mechanic properties of metal material can be done with kind method. Low carbon steel with more use in construction part has good properties such as ductility and cheap cost. To use operation in part other this material not good, such as hardness, tension and wear resistance low. To increase hardness and tension properties can be done with change properties mechanic of material, one method is prestrain process.

Prestrain process is given process first strain of metal material that arise resident stress or strength atomic crystal. In this research prestrain process be done with given first tension load elastic stress until ultimate stress namely 5%, 10%, 15 %, 20% and 25% compared total strain material

The result Prestrain process increase 4,7 % mechanic properties low carbon steel of tension strength and 1,04 % of hardness value material of prestrain process 10 % but decrease 4 % of toughness properties material.

Keyword : Increase, Mechanic properties, prestrain

PENDAHULUAN

Baja karbon adalah baja yang mengandung unsur besi, karbon dan juga unsur lainnya (mangan, silikon, belerang, dan lain-lain), dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya (Karen, 200). Berdasarkan komposisi kadar karbonnya, baja karbon dapat dibedakan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

Baja karbon rendah mempunyai kekuatan tarik dan harga kekerasan yang relatif rendah dan lunak. Untuk meningkatkan sifat mekanik baja ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya yaitu dengan pelapisan, *heat treatment*, *prestrain* dan lain-lain.

Fenomena yang terjadi pada logam dalam proses manufaktur, dapat menimbulkan deformasi plastis, misalnya pada pembuatan pipa, penarikan kawat dingin dan sebagainya. Hal ini dapat mempengaruhi sifat mekanik dan keuletan bahan. Deformasi plastis yang terjadi dapat di definisikan sebagai *prestrain*. Fenomena alam

yang terjadi ini dimanfaatkan dalam ilmu rekayasa engineering dengan melakukan proses prestrain dengan sengaja pada material baja, yaitu dengan memberikan tegangan tarik yang kecil pada baja tersebut, sehingga menghasilkan efek prestrain pada baja tersebut.

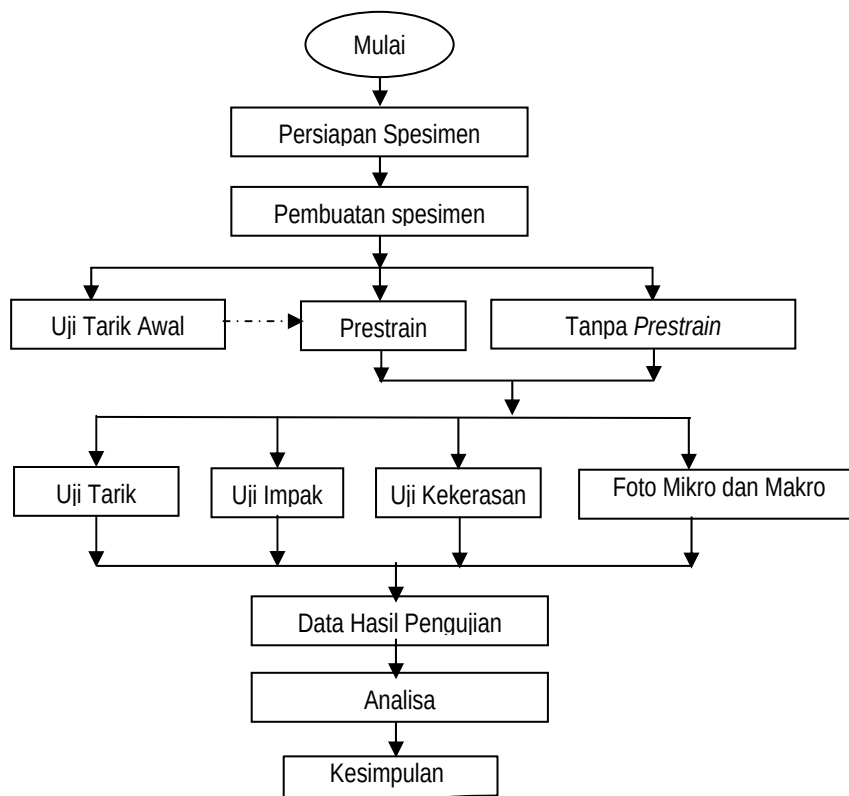
Prestrain dapat memberikan keuntungan dan kerugian, apabila *prestrain* yang persentasinya tinggi akan mengakibatkan logam tersebut getas. *Prestrain* dapat meningkatkan sifat mekanik material, karena *prestrain* dapat menimbulkan tegangan sisa dan dislokasi. Adanya tegangan sisa dan dislokasi pada logam dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan pada logam tersebut. Dengan penelitian ini diharapkan dapat diketahui batas *prestrain* yang dapat meningkatkan sifat mekanik logam tersebut. *Prestrain* dipilih sebagai alternatif metode penguatan logam dikarenakan prosesnya mudah dan murah.

BAHAN dan METODE

Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah AISI 1020

1. Prosedur Penelitian

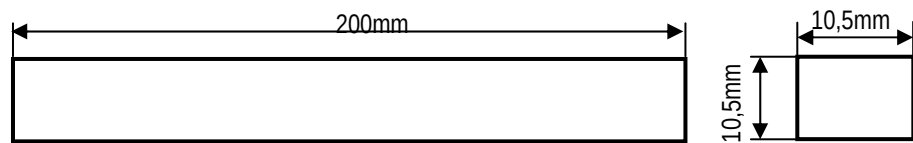
Penelitian tentang pengaruh *prestrain* terhadap peningkatan sifat mekanik baja karbon rendah dilakukan seperti diagram alir penelitian yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2. Pembuatan Spesimen Uji

Dimensi Spesimen Uji Tarik Berdasarkan Standar JIS Z 2201 No. 2



3. Peralatan yang Digunakan

Dalam penelitian ini diperlukan beberapa alat dan benda kerja yang akan digunakan. Peralatan yang digunakan sebagai berikut:

- 1) Mesin gergaji.
- 2) Mikroskop optik.
Mikroskop optik digunakan untuk melihat struktur mikro dan makro material sebelum dan sesudah di *prestrain*.
- 3) Alat uji tarik.
Digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik pada material sebelum dan sesudah di *prestrain*.
- 4) Alat uji kekerasan.
Digunakan untuk mengetahui kekerasan pada material sebelum dan sesudah di *prestrain*.
- 5) Alat uji impak.
Digunakan untuk mengetahui energi impak pada material sebelum dan sesudah di *prestrain*.

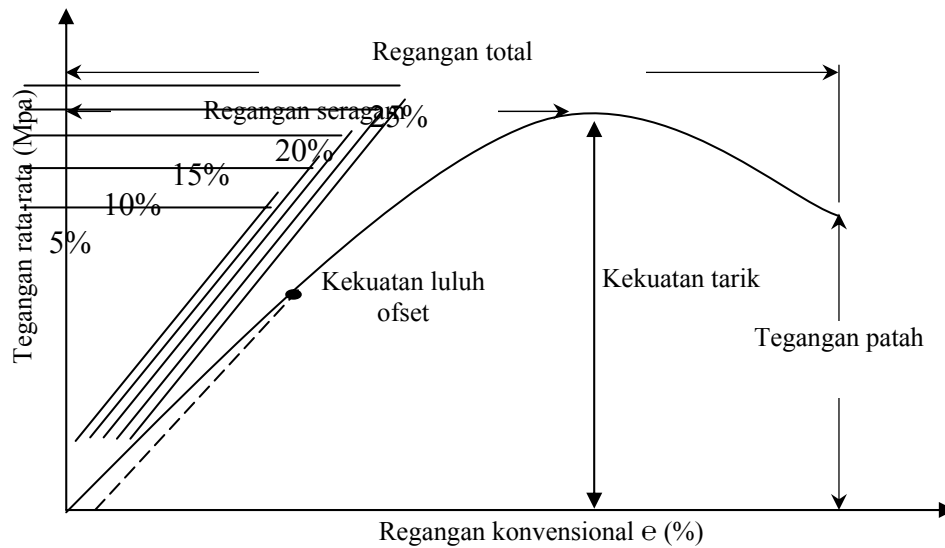
4. Prestrain

Spesimen dipasang pada alat uji dan dijepit sehingga spesimen tidak bergeser pada saat pemberian beban tarik.^[4] Dari pengujian tarik ini akan didapatkan tegangan-regangan sehingga diperoleh data-data σ_y (MPa), σ_{ult} (MPa), dan ϵ (%). Nilai uji tarik material σ_{ult} akan dapat diketahui dengan melihat kertas grafik dari hasil pengujian spesimen. Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata pada batang mm dapat dilihat resultannya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A dari batang tersebut.^[2] Dengan demikian, tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Pada pengujian *prestrain* diukur pada *prestrain* 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari regangan total bahan. Dari harga *prestrain* ditarik garis sejajar dengan garis yang menunjukkan tegangan luluh.atau kekuatan luluh. Dari titik pepotongan garis dengan kurva ditarik garis mendatar kearah sumbu y maka didapatkan harga Tegangan atau dikonversi menjadi gaya tarik. Gaya tarik yang didapatkan

inilah yang diberikan kepada bahan sebagai gaya tarik awal atau regangan awal pada bahan (prestrain)



Gambar 3. Penentuan proses pretrain pada grafik tegangan dan regangan tarik

5. Pengujian

Pengujian spesimen baja karbon rendah sebelum dan setelah diuji meliputi :

a. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan yaitu :

- 1) Menyiapkan spesimen uji tarik yang standar
- 2) Menandai pada daerah *gage length* sebanyak 8 bagian yang sama.
- 3) Memasang spesimen uji pada pencekam (*grip*) pada *upper crosshead* dan mengencangkan, yang perlu diperhatikan dalam pemasangan ini adalah posisi spesimen harus tegak lurus dan sentris untuk menghindari spesimen lepas atau *slip*.
- 4) Menghidupkan *oil pump* dan menekan "*page up*" untuk menaikkan silinder ke atas sejauh 30 mm atau lebih, kemudian menekan "*space bar*" untuk menyetop.
- 5) Menghidupkan tombol kontrol posisi *crosshead*. Menahan *crosshead* bawah dalam posisi yang tepat untuk mencekam bagian bawah spesimen.
- 6) Memulai pengujian, menekan menu "*zero*", menekan "*1*" untuk memulai pengujian, kemudian menampilkan koordinat X-Y pada layar, menekan *space bar* untuk memulai pengujian.
- 7) Memperhatikan perubahan besar beban pada saat pengujian. Besar beban mulai berlangsung secara konstan atau menurun pada saat beban luluh. Kemudian beban terus meningkat.

- 8) Apabila terdengar bunyi suara spesimen putus, membaca beban yang ditunjukkan pada layar, beban ini adalah beban patah.
- 9) Setelah spesimen putus, menyetop slinder dan melepaskan spesimen.
- 10) Mengulangi langkah 1-9 untuk pengujian berikutnya.
- 11) Menurunkan *crosshead* secara manual dan hati-hati terjadinya impak untuk mengembalikan posisi *crosshead* bawah pada posisi semula.

b. Pengujian Impak

Adapun standart dan prosedur pengujian ini menggunakan metode uji impak Charpy dengan takik V.

c. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *Rockwell*, dengan indenter bola baja berdiameter 1/16 inci.

Skala uji yang digunakan adalah skala *Rockwell*, HRB)

HASIL dan ANALISA

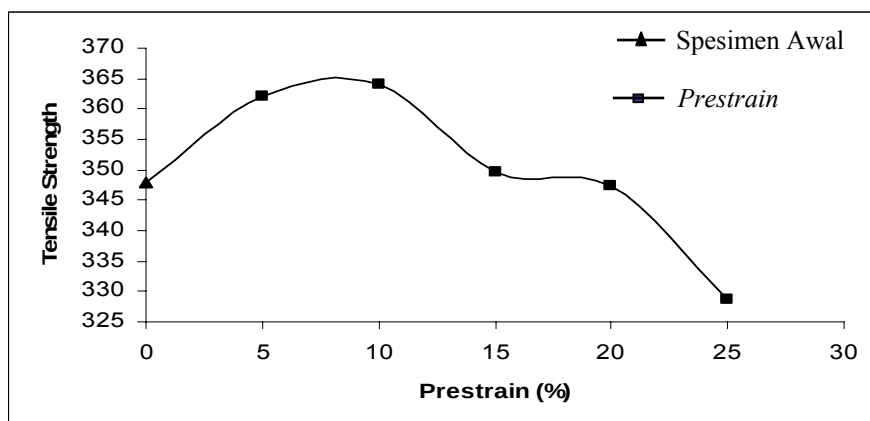
1. Data Penelitian

a. Data Dasar Sebelum Pengujian

Adapun data spesimen sebelum pengujian yaitu :

- Panjang : 200 mm
- Lebar : 10,5 mm
- Tebal : 10,5 mm

Grafik Uji Tarik yang didapatkan :



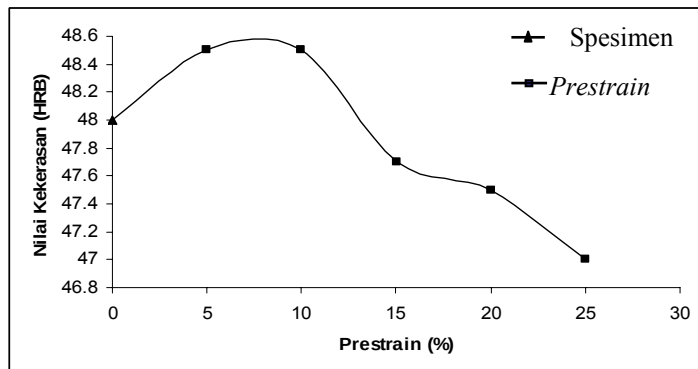
Gambar 4. Hubungan *prestrain* (%) pada material – *tensile strength* (MPa)

Gambar 4 diatas dapat dilihat kekuatan tarik maksimum terjadi pada material yang di *prestrain* 10% dengan besar 364,178 MPa dan kekuatan tarik minimum terjadi pada material yang di *prestrain*

sebesar 25% dengan besar 328,711 MPa. Pada *prestrain* 10% terjadi kerapatan atom yang optimal karena adanya dislokasi yang terjadi. Dislokasi yang terjadi masih dalam batas yang normal. Sedangkan pada *prestrain* diatas 15% terjadi dislokasi yang besar pada batas butirnya.

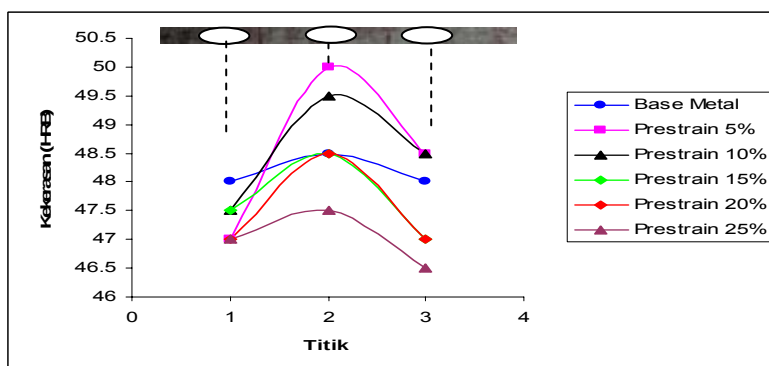
b. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Dari tabel 4 dapat diambil grafik sebagai berikut :



Gambar 5. Hubungan *prestrain* pada material - nilai kekerasan (HRB)

Dari gambar 5 dapat diketahui kekerasan maksimum material terjadi pada material yang di *prestrain* 5% dan 10% sebesar 48,5 HRB, sedangkan kekerasan minimum terjadi pada material yang di *prestrain* 25% sebesar 47 HRB. Pada *prestrain* 5% dan 10% kekerasannya meningkat dibandingkan *base metal*, sedangkan pada *prestrain* 15%, 20% dan 25% kekerasannya menurun dibandingkan spesimen awal. Hal ini disebabkan pada *prestrain* 5% dan 10% terjadi kerapatan yang optimal pada batas butirnya sehingga pada saat penekanan pada saat pengujian pergeseran yang terjadi kecil. Sedangkan pada *prestrain* 15%, 20%, dan 25% terjadi dislokasi yang besar pada batas butirnya.

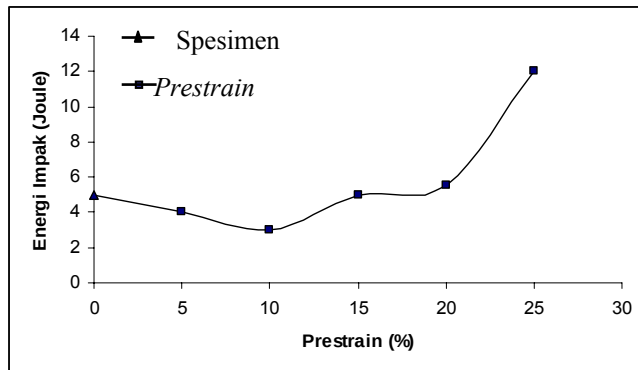


Gambar 6. Hubungan titik pengambilan pengujian - nilai kekerasan

Dari gambar 6 dapat diketahui nilai kekerasan maksimum terjadi pada daerah di sekitar titik 2.

c. Data Hasil Pengujian Impak

Adapun data yang didapat dari pengujian impact yaitu :
Dari tabel 5 dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Gambar 7. Hubungan *prestrain* pada material – energi impact (Joule)

Dari gambar 7 dapat dilihat nilai energi impact maksimum terjadi pada material yang di *prestrain* 25% dan nilai energi impact minimum terjadi pada material yang di *prestrain* 10%. Hal ini dapat dilihat pada *prestrain* 10% materialnya lebih bersifat getas dibandingkan *prestrain* 25%. Sehingga pada *prestrain* 25% energi impactnya semakin kecil.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengambilan data, ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

- 1) Kekuatan tarik maksimum terjadi pada *prestrain* 10% sebesar 364,178 MPa, sedangkan kekuatan tarik minimum terjadi pada *prestrain* 25% sebesar 328,711 MPa.
- 2) Kekerasan maksimum terjadi pada *prestrain* 5% dan 10% dengan besar 48,5 HRB. Kekerasannya meningkat sebesar 0,5 HRB dibandingkan spesimen awal.
- 3) Energi impact maksimum pada *prestrain* 25% dengan besar 12 Joule dan energi impact minimum pada *prestrain* 10% dengan besar 4 Joule.
- 4) Patahan hasil uji impact pada *prestrain* 10% terlihat lebih getas dibandingkan patahan spesimen awal dan *prestrain* 25%.
- 5) Butiran material pada *prestrain* 10% lebih halus dibandingkan spesimen awal dan *prestrain* 25%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Lembaga Penelitian UNILA yang telah membiayai penelitian ini melalui dana PNPB UNILA tahun 2006

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, Hari, Drs. "*Ilmu Bahan*". PT Bumi Aksara Jakarta. 1999.
- Badaruddin, Mohammad. "*Modul Praktikum Pengujian Logam dan Non Logam*". Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. 2001.
- Dieter, George E., "*Metalurgi Mekanik*" edisi ke-3, alih bahasa Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, 1986.
- James M. Gere. "*Mekanika Bahan*". Penerbit Erlangga Jakarta.
- Karen M.B Taminger, "*Creep Strain and Strain Rate Response of 2219 Al Alloy at High Stress Levels*", NASA Langley Research Center. USA. 2000.
- Salmon, Charles G. "*Struktur Baja Disain dan Perilaku*". Penerbit Erlangga Jakarta. 1990.
- Sakata, Key, "*Higly Formable Sheet Steels for Automobile through Advanced Microstructure Control Technology*", Kawasaki Steel Technical Report No. 48, 2003.
- Siswosuwarno, Mardjono, Dr, Ir. "*Teknik Pembentukan Logam*". Jurusan Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung. 1985.
- Smallman, R.E. "*Metalurgi Fisik Modern*". PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 1991.
- Suratman, Roctum, "*Panduan Proses Perlakuan Panas*". Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung, 1994.
- Suherman, Wahid, Ir. "*Ilmu Logam 1*". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Efek Waktu Tinggal dan Temperatur Operasi Pada Metanolisis CPO Menggunakan RATB

TAHARUDDIN dan HERI RUSTAMAJI

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Telp. 0721 7573970, Fax : 0721 704947, E-mail : chxtahar@yahoo.com

ABSTRACT

Methanolysis using an acid-heterogeneous catalyst is very promising, but this scenario is not yet applicable. Unlike the base catalyst, the acid form catalyst will not decay during the process, and because of its state in different phase, it will not be difficult to separate the catalyst neither from the un-reacted feeds nor from the products. The separation needed are only to separate the products with the un-reacted feeds, than purify it to the acceptable quality. The acid-heterogeneous catalyst used in this research was Grace Davison™, a brand name catalyst in powdered form. The trans-esterification operated continuously in a Continuous Stirred Tank Reactor. The based in choosing the variables in this research is the CSTR performance, the chosen operational condition will affect the conversion (X). The chosen variables were the reactor temperature, their level were 60; 70; and 80 °C; and hold-up time were given in the level of 50; 75; and 150 minutes. The feed moles ratio between the Crude Palm Oil and Methanol was held constant in 1:25; the catalyst rate of 150 gr/hr; and agitation is held with a constant 400 rpm. The first sample was taken after the process run continuously for 2 hours with the variable and level wanted, and then followed with a second and third samples every 30 minutes. The highest conversion achieved was 67,06%, resulted from the operational condition of 75 minutes hold-up time and 70°C in temperature. The hold-up time variable affected the conversion more than the temperature did.

Key words: Methanolysis, Biodiesel, Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR).

PENDAHULUAN

Trigliserida (TG) merupakan kandungan utama dari minyak yang diperoleh dari tetumbuhan. Dalam proses pengambilannya maupun penanganan pasca perolehannya, TG ini dapat terhidrolisis bila dalam minyak terkandung air (sesuai reaksi 1). Hal ini tidak diinginkan khususnya pada pengolahan minyak nabati untuk konsumsi (pangan), dan diperlukan beberapa tahapan guna menurunkan kadar asam lemak bebas (ALB) yang terbentuk ke kadar yang diizinkan. Sementara itu, minyak nabati dari kelas non-pangan, cenderung mengandung ALB yang tinggi, hal ini dikarenakan, pada kandungan buah sendiri mengandung air dan Indonesia berada pada daerah dengan humiditas tinggi, hingga ketersediaan air bersama TG kandungan minyak selalu ada.

Transesterifikasi TG dengan katalis basa mensyaratkan bahan baku mengandung maksimum 5% ALB. Hadirnya ALB pada bahan baku

ini berakibat pada penambahan katalis sesuai dengan jumlah ALB diharapkan akan dapat mengganti jumlah katalis yang hilang saat terbentuknya sabun ; hal ini terjadi karena ALB dengan basa akan bereaksi membentuk sabun (reaksi 2). Kadar ALB di atas 5% tidak disarankan menggunakan katalis basa selain karena banyaknya kehilangan katalis, juga karena akan sulit untuk melakukan proses pemisahan akhir (Van Garpen, 2003).

Agar minyak nabati tersebut dapat dijadikan biodiesel khususnya dengan katalis basa, diperlukan penanganan awal. Penanganan awal ini tentu saja memerlukan usaha dan biaya. Sementara bila tidak ditanggulangi, akan dapat berakibat pada hilangnya katalis, terbentuknya sabun, dan seringnya pembersihan yang harus dilakukan pada alat karena sabun cenderung menjadi solid pada permukaan peralatan.

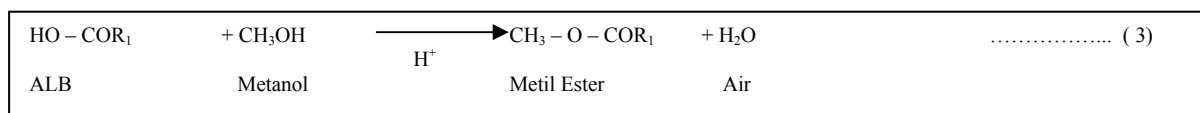
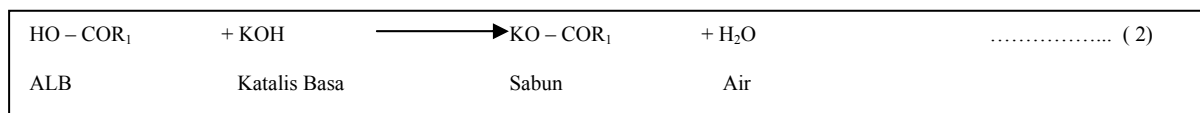
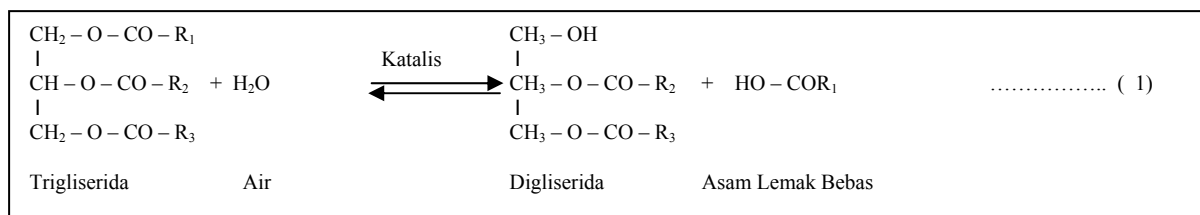
Penggunaan katalis asam tidak mengakibatkan hal-hal tersebut di atas, melainkan dengan katalis asam ALB akan di reaksi dengan alkohol membentuk metil ester (biodiesel) sesuai reaksi 3.

TEORI

Selain sifat asam/basa dari katalis, fase katalis juga akan berpengaruh pada proses transesterifikasi yang akan dilakukan, khususnya dalam hal produksi secara massal. Katalis yang berada pada fase homogen dengan bahan baku, akan memerlukan penanganan secara intensif untuk memisahkan katalis tersebut setelah reaksi transesterifikasi berlangsung, hal ini berakibat pada jumlah bahan kandungan yang berada dalam biodiesel yang diperoleh, sementara itu jumlah bahan-bahan lain di dalam biodiesel diharapkan sangat kecil sesuai dengan standar mutu yang diijinkan.

Hal tersebut di atas, mendorong peneliti untuk melakukan penelitian dengan menggunakan katalis asam dan berfasa heterogen dalam pembuatan biodiesel (transesterifikasi) menggunakan proses kontinyu yang akan memberikan keuntungan sebagai berikut:

- a. Dapat digunakan terhadap bahan baku yang mengandung kadar ALB tinggi;
- b. Tidak terjadi kehilangan katalis;
- c. Pemisahan katalis akan lebih mudah dilakukan (cukup dengan menggunakan dekanter saja);
- d. Pengotoran pada peralatan terjadi dalam waktu yang lebih lama;
- e. Pengotor yang berada dalam produk lebih sedikit; dan
- f. Penerapannya dalam skala produksi massal akan lebih mudah bila berasal dari proses kontinyu.



Katalis dengan fasa yang heterogen dari fasa umpan (dalam hal ini berbentuk solid), telah banyak diteliti. Marwan et. All., 2006, melakukan etanolisis CPO dengan katalis CaCO_3 secara batch dan menghasilkan yield biodiesel sebesar 67%. David J Zajdlewicz (2001) melakukan penelitian pembuatan biodiesel dengan katalis heterogen seperti CaCO_3 , Valvor, ZSM-5, MCM-41, Zeolit B dan Y, katalis-katalis tersebut ternyata bisa digunakan untuk menghasilkan biodiesel yang berkualitas tetapi konversi maksimum hanya diperoleh pada kisaran 65% dengan katalis terbaik adalah ZSM-5.

Secara kontinyu, CPO telah dimetanolisis dalam *fixed bed reactor* dengan unggun katalis *Grace DavisonTM* yang telah dipeletkan dan diperoleh konversi sebesar 72,81% (Taharuddin, Siswoyo H., Sari I.K., 2007).

Katalis *Grace DavisonTM* merupakan katalis bersifat asam yang tersedia dalam bentuk *powder*, yang pada penggunaannya merupakan katalis untuk *cracking* minyak bumi. Penggunaan bentuk katalis *powder* ini akan tepat bila menggunakan reaktor alir tangki berpengaduk. Karena fasa katalis yang berbeda dari umpan bahan baku, pemisahan katalis dapat dengan mudah dilakukan yaitu dengan menggunakan dekanter.

Pada kesempatan ini, penelitian hanya bertujuan untuk mempelajari performance RATB yang dilihat melalui konversi TG menjadi biodiesel, dengan variabel yang diteliti adalah waktu tinggal dan temperatur operasi.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung.

METODOLOGI

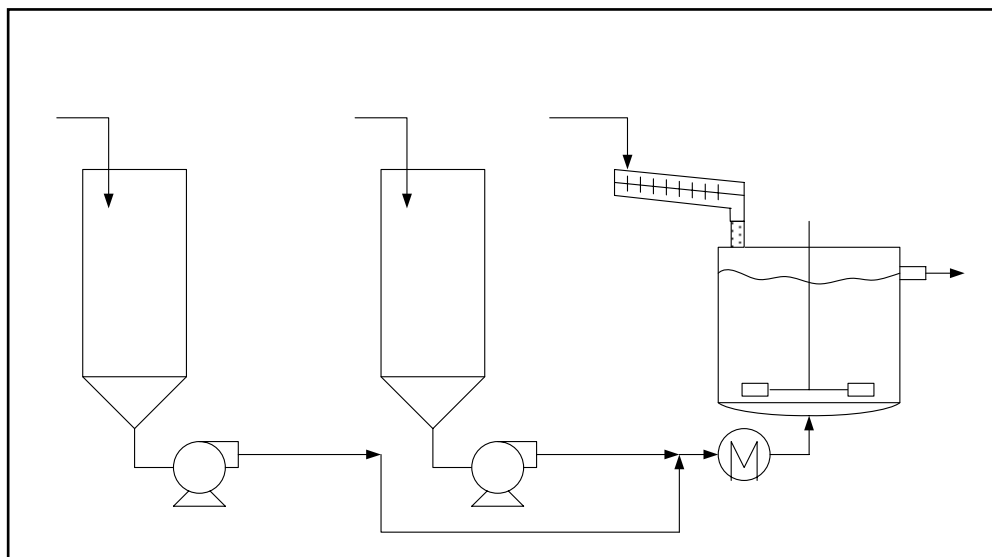
Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen yang terbagi pada 3 tahap, yaitu:

- tahap persiapan alat dan bahan serta analisis umpan;
- tahap proses transesterifikasi; dan
- tahap evaluasi hasil.

Kegiatan eksperimen dan analisa komposisi umpan dan produk (untuk menentukan komposisi FFA, Gliserol dan Metil Ester) dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik – Universitas Lampung.

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa RATB, pemanas, pompa peristaltik, tangki bahan baku, timbangan elektrik, thermometer, gelas ukur serta botol sample.

Bahan yang digunakan berupa *Crude Palm Oil* (CPO), methanol serta katalis padat yaitu *Grace Davison*. Selanjutnya dilakukan analisa komposisi bahan baku yang berupa CPO untuk menentukan komposisi FFA, Gliserol dan Metil Ester dengan menggunakan standard yang disebutkan di atas.



Gambar 1. Rangkaian Peralatan Pembuatan Biodiesel dari CPO dan Methanol

Keterangan:

- | | | | |
|-----|-----------------------------|------|----------------------------|
| T-1 | : Tangki metanol | F-1 | : Feeder katalis |
| T-2 | : Tangki CPO | P-1 | : Pompa peristaltik metano |
| P-2 | : Pompa peristaltik CPO | EH-1 | : Electric Heater umpan |
| R-1 | : RATB (pada dasar reaktor) | | |

Prosedur Percobaan

Reaksi transesterifikasi dilakukan pada sebuah reaktor yang dilengkapi dengan pemanas dan sistem pengadukan dan keluaran melalui *over flow*, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Mula-mula reaktor diisi sesuai dengan kapasitas reaktor, antara campuran CPO dan methanol dengan rasio molar 1:25 dan katalis sesuai dengan perbandingan yang telah ditetapkan, kemudian pengaduk di hidupkan dengan kecepatan 400 rpm. Lalu dilakukan pemanasan sampai tercapainya temperatur operasi yang diinginkan (60, 70 dan 80°C).

Selanjutnya dialirkan katalis secara kontinyu sebanyak 150 gr/jam ke dalam campuran; lalu reaktan CPO dan metanol dialirkan sesuai dengan waktu tinggal yang diinginkan. Aliran dibiarkan konstan selama 2 jam, lalu diambil sampel pertama melalui *overflow*. Sampel ke 2 dan 3 kemudian diambil setelah selang waktu 30 menit.

Produk yang diperoleh kemudian didinginkan di dalam labu Erlenmeyer sambil mengendapkan katalis. Katalis selanjutnya disaring, lalu produk keluaran reaktor yang sudah terbebas dari katalis dipindahkan ke dalam corong pemisah.

Pada corong pemisah, produk keluaran reaktor didiamkan selama 12 jam untuk mencapai pemisahan yang sempurna antara dua fasa cair. Cairan bagian atas (lapisan Ester) dipisahkan dari cairan bagian bawah (lapisan Gliserol). Cairan bagian bawah dialirkan keluar sehingga diperoleh cairan ester yang tertinggal dalam corong pemisah.

Dalam cairan ini masih terdapat methanol yang tidak bereaksi, hal ini terlihat dari warna yang lebih muda dan terang, sehingga untuk menghilangkan kandungan methanol yang masih terdistribusi dalam lapisan ester ini perlu dilakukan pemanasan (60°C) selama 60 menit sehingga diperoleh lapisan ester yang terbebas dari methanol yang tidak bereaksi. Lapisan ini kemudian ditimbang, diukur volumenya dan dianalisa untuk menentukan konversi biodiesel yang diperoleh.

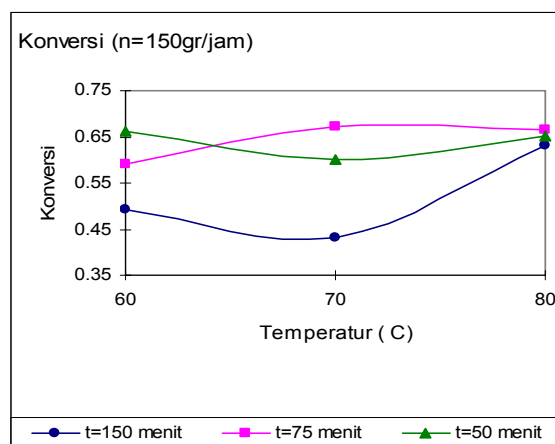
Analisa hasil keluaran reaktor dilakukan sesuai dengan FBI A01-03 (ASTM D-664) untuk menguji bilangan asam; FBI A02-03 (ASTM D-6548) untuk pengujian gliserol total, bebas dan terikat; dan FBI A03-03 untuk penentuan kadar ester dalam biodiesel.

HASIL dan PEMBAHASAN

Pengaruh temperatur operasi terhadap konversi biodiesel yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 2. Konversi tertinggi diperoleh sebesar 67,06% pada temperatur 70°C dan waktu tinggal 75 menit. Pada temperatur 60°, lamanya waktu tinggal (150 menit) menggeser kesetimbangan reaksi sehingga diperoleh konversi yang rendah yaitu

sebesar 49,35%; sebaliknya dengan waktu tinggal yang singkat (50 menit) diperoleh konversi yang lebih besar yaitu sebesar 66,03%.

Kenaikan temperatur dari 60°C ke 70°C meningkatkan perolehan konversi, tetapi kenaikan selanjutnya ke temperatur 80°C tidak meningkatkan perolehan konversi. Terlihat bahwa temperatur operasi di dalam reaktor memiliki temperatur optimum, dalam hal ini perlakuan dengan katalis 150 gr/jam, pengadukan 400 rpm memberikan temperatur optimum 70°C dan waktu tinggal 75 menit.



Gambar 2. Pengaruh Temperatur Operasi Terhadap Konversi Biodiesel yang Diperoleh.

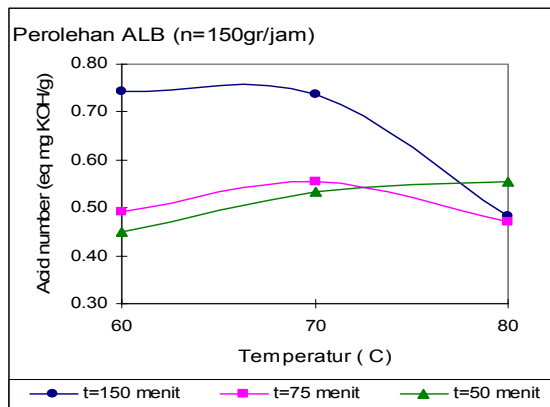
Seperti terlihat dalam aliran proses (Gambar 1), penelitian ini menggunakan *once trough process*, atau dengan kata lain produk langsung diperoleh dari keluaran reaktor.

Pada penelitian lain, menggunakan Fixed Bed Reactor, diperoleh 72,81% (Taharuddin, Siswoyo H., Sari I.K., 2007). Hasil penelitian kali ini menghasilkan % konversi yang lebih kecil yaitu sebesar 67,06%.

Dari sisi proses, konversi ini dapat ditingkatkan dengan *me-recycle* bahan baku tidak terkonversi kembali ke reaktor setelah dilakukan pemisahan, untuk itu penelitian lanjutan dengan *me-recycle* bahan tidak terkonversi perlu dilakukan.

Dari sudut pandang perancangan proses, beda antara 67,06% dengan 72,81% tidaklah terlalu jauh, di mana hal ini hanya akan memperbanyak aliran recycle yang dibutuhkan. Karena beda % konversi tidak begitu jauh, beban recycle akan berada pada volume yang lebih kurang sama. Pemilihan yang lebih baik antara kedua proses tidak dibahas pada kesempatan ini.

Perolehan ALB yang terkandung dalam biodiesel hasil transterifikasi terlihat pada Gambar 3.

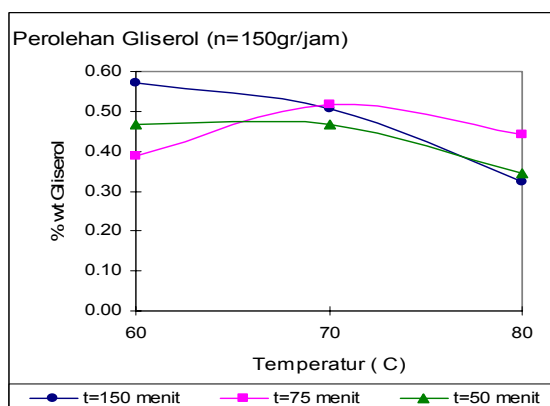


Gambar 3. Perolehan ALB pada Biodiesel yang Diperoleh.

Menurut ASTM D 6751-02 Biodiesel Specifications

Nilai asam maksimum diizinkan adalah 0,8 mg KOH/mg; karena jumlah ALB tersebut dapat mengakibatkan korosif pada mesin. Seperti terlihat dalam Gambar 3, seluruh perlakuan menghasilkan ALB di bawah 0,8 mg KOH/gr biodiesel, begitupun perlakuan dengan waktu tinggal yang panjang (150 menit) memberikan hasil perolehan ALB yang tinggi; sebaiknya hal ini dihindari guna memperoleh kualitas biodiesel yang baik. Waktu tinggal 50 dan 75 menit memberikan range ALB yang lebih rendah dan pada pelaksanaannya dengan skala produksi massal lebih diinginkan waktu tinggal yang pendek karena akan menurunkan volume reaktor.

Perolehan gliserol total yang terkandung dalam biodiesel hasil transterifikasi terlihat pada Gambar 4 berikut ini.

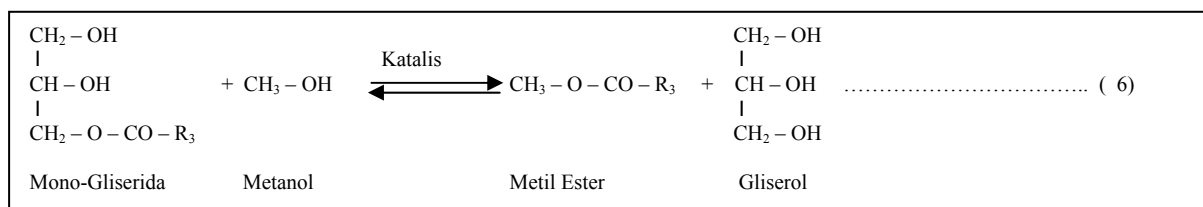
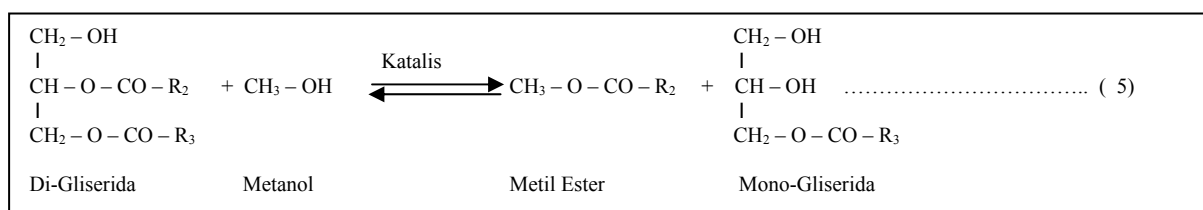
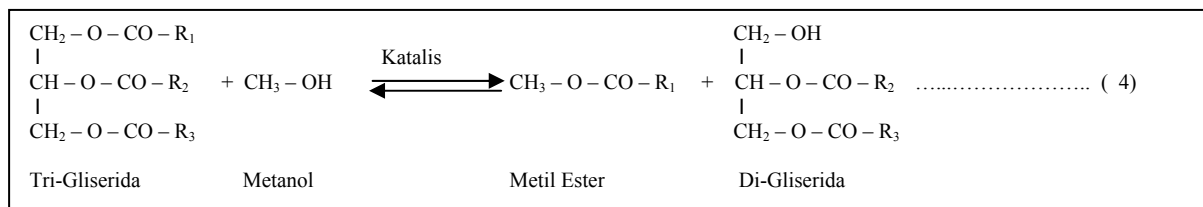


Gambar 4. Perolehan Total Gliserol pada Biodiesel yang Diperoleh.

Menurut ASTM D 6751-02 Biodiesel Specifications

Nilai asam maksimum diizinkan adalah 0,24 % berat biodiesel; karena jumlah gliserol total tersebut dapat menurunkan nilai bakar

dari biodiesel yang diperoleh. Pada Gambar 4 terlihat, seluruh perlakuan menghasilkan total gliserol di atas 0,24 % berat biodiesel, perbedaan yang diperoleh akibat perlakuan sangat kecil sekali sehingga dapat disimpulkan dibutuhkan perlakuan lanjutan guna menurunkan kadar gliserol ketinggian yang diizinkan.



Jumlah gliserol total ini dapat berasal dari gliserol bebas maupun gliserol terikat dalam bentuk di-Gliserida dan mono-Gliserida yang belum bereaksi. Keberadaan ketiga gliserin ini, adalah karena hasil reaksi dan terdistribusi pada bagian biodiesel walaupun telah didiamkan selama 12 jam.

Jumlah gliserol bebas ini sendiri tidak dapat diturunkan lagi karena keberadaannya sebagai produk hasil reaksi, sementara di- dan mono-Gliserida yang terbentuk akibat reaksi antara (reaksi 4, 5 dan 6), keberadaannya masih dapat diturunkan yaitu dengan menyempurnakan reaksi hingga ke tahapan reaksi 6. Hal ini tidak dibahas dalam kesempatan ini, tetapi bila dapat diminimalkan perolehan reaksi 4 dan 5 maka akan diperoleh kadar gliserol terikat yang lebih kecil, dan dengan sendirinya perolehan gliserol total juga akan menurun.

Adanya jumlah gliserol yang melebihi jumlah yang diizinkan ini membuat proses perlakuan lanjutan dibutuhkan, hal ini bila ditinjau dari skala produksi massal untuk dihindari, karena akan menambah peralatan dan biaya produksi.

Dari analisa statistik, variabel waktu tinggal diperoleh lebih pengaruh terhadap konversi biodiesel (metil ester) yang diperoleh dibandingkan dengan variabel temperatur operasi.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

- a) Hasil penelitian menunjukkan konversi tertinggi sebesar 67,06%, diperoleh pada kondisi operasi dengan waktu tinggal selama 75 menit dan temperatur 70°C;
- b) Perlunya dilakukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan konversi biodiesel dengan *me-recycle* bahan baku tidak terkonversi;
- c) Variabel waktu tinggal memberikan pengaruh yang lebih signifikan terhadap perolehan konversi dibandingkan dengan variabel temperatur operasi;
- d) Bilangan asam biodiesel yang diperoleh semua perlakuan berada di bawah spesifikasi nilai kandungan ALB yang diizinkan, begitupun perlakuan dengan waktu tinggal yang lama sebaiknya dihindari karena akan mengakibatkan perolehan nilai asam ini mendekati dengan ambang batas yang diizinkan;
- e) Gliserol total pada biodiesel yang diperoleh seluruhnya berada di atas jumlah yang diizinkan, untuk itu diperlukan penanganan khusus guna menurunkan kadar gliserol total dalam biodiesel ini agar dapat memenuhi standar mutu yang diizinkan; dan
- f) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut guna mendapatkan kondisi terbaik agar konversi trigliserida berlangsung sempurna hingga menjadi gliserol, karena dengan adanya konversi trigliserida yang belum sempurna, baik menjadi Di- atau Mono-Gliserida akan me-nurunkan nilai Gliserol total di dalam produk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada **Nufus Kanani** yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian, menganalisa hasil dan sampel penelitian dan masukan-masukannya pada pembahasan hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Van Garpen, J., 2003, *Biodiesel Production and Quality*, University of Idaho.

- Marwan et.All., 2006, *Etanolisis Minyak Sawit dengan Katalis CaCO_3 Untuk Produksi Biodiesel*, Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Palembang, Indonesia.
- Zajdlewicz. J.D., 2001, *Development of A Continuous Biodiesel Process by Investigation Into Possible Heterogenous Catalyst*. Thesis. University. of Queensland, Australia.
- Taharuddin, Siswoyo H., Sari I.K., 2007, *Penggunaan Fixed Bed Reactor (FBR) Dalam Pembuatan Biodiesel Secara Kontinyu*, Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohar-djono, UPN Veteran Jawa Timur.
- American Society for Testing and Materials, Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels, Designation D-664, ASTM International, West Conshohocken, PA (2002).
- American Society for Testing and Materials, Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels, Designation D-6548, ASTM International, West Conshohocken, PA (2002).
- American Society for Testing and Materials, Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels, Designation D6751-02, ASTM International, West Conshohocken, PA (2002).

Analisis dan Perhitungan Rambatan Kalor pada Silinder Aluminium sebagai Pendingin Rangkaian Elektronik Terpadu

AKHMAD DZAKWAN

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

ABSTRAK

Dalam sebuah sistem rangkaian elektronik apabila sedang bekerja maka sudah tentu ada banyak transfer energi. Kwantitas transfer energi yang terjadi dalam rangkaian tergantung seberapa besar kerja komponen elektronik yang mendukung kerja sistem rangkaian. Apabila komponen elektronik yang bekerja memiliki efisiensi tinggi, kalor yang akan terbuang dari hasil kerjanya sangatlah sedikit dan sebaliknya.

Aluminium merupakan sebuah logam yang mampu mentransfer kalor dengan kecepatan yang sangat mengagumkan, sehingga proses ini sangat mendukung tercapainya kestabilan kerja sistem rangkaian elektronik terpadu, karena tidak ada penumpukan kalor buangan pada komponen dan rangkaian elektronik. Dari hasil penelitian rambatan kalor yang diradiasikan oleh komponen elektronik pada pendingin silinder Aluminium diperoleh harga kecepatan rambat kalor dari 0,0030 m/s sampai 0,0037 m/s dengan ketebalan Aluminium 1,1 mm dan 0,0033 m/s sampai 0,0048 m/s dengan ketebalan Aluminium 0,7 mm. Hasil dari Penelitian ini, diaplikasikannya silinder Aluminium sebagai pendingin pada rangkaian elektronik analog maupun digital, yang memiliki kerja rangkaian cukup tinggi.

Keywords: *Komponen Elektronik, Transfer kalor dan Silinder Aluminium*

PENDAHULUAN

Proses kerja rangkaian elektronik mulai dari sistem transduser, sistem sensor, sistem pengondisi sinyal, sistem sistem penguatan lain dan pengolahan sinyal dari ADC hingga interface, microcontroller dan komputer mini yang lain selalu menimbulkan adanya kalor buangan. Kalor buangan yang dilepaskan oleh komponen ada yang mengancam keberadaan komponen itu sendiri adapula yang tidak mengancam keberadaan komponen itu. Pada komponen elektronik yang berada pada daerah penguatan sinyal, kalor buangan selalu mengancam keberadaan komponen itu sendiri, karena kalor yang dilepas dari hasil proses biasanya menimbulkan temperatur sangat tinggi sehingga bisa membakar komponen itu sendiri. Tetapi pada komponen elektronik yang letaknya berada pada daerah pengolahan sinyal dan daerah transduser kalor yang dilepaskan dari proses hasil kerjanya tidaklah terlalu tinggi sehingga tidak menimbulkan bahaya kebakaran. Oleh karena itu komponen yang berada di daerah ini perlu dilindungi dengan pendingin silinder yang terbuat dari silinder aluminium.

1. Transistor

Beberapa komponen elektronik yang perlu dilindungi berdasarkan fungsi dan letaknya terutama mereka yang bekerja pada rangkaian yang sifatnya memperkuat sinyal Analog. Kebanyakan sinyal analog memerlukan komponen yang kerjanya ekstra. Di daerah ini biasanya didominasi oleh transistor, mulai dari transistor dwipolar hingga transistor MOS-FET, jenis transistor bipolar bisa dilihat pada Gambar 1 dan 2 sebagai berikut



Gambar.1 Transistor kepingan logam di daerah power



Gambar 2. Transistor non kepingan di daerah power

2. Integrated Circuit (IC)

Kerja rangkaian yang masih banyak memerlukan komponen IC, Adalah IC yang kedudukannya terletak pada daerah yang dilewati distribusi sinyal listrik yang tinggi, sehingga komponen elektronik yang ada disini melepaskan kalor tergolong tinggi misalnya pada daerah pengutan sinyal. IC yang diperlukan bekerja didaerah ini adalah IC jenis analog. Jenis IC ini dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 sebagai berikut :



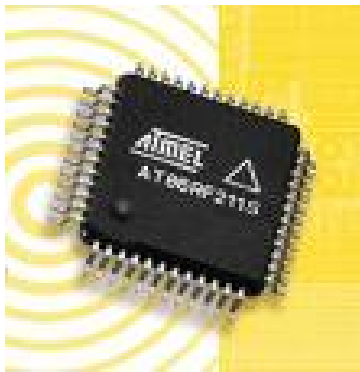
Gambar.3 IC OP-AMP Analog di Daerah Power



Gambar.4 IC OP-AMP Analog didaerah pembangkit

3. Pengolah Sinyal

Pada daerah ini ada beberapa IC tertentu yang memerlukan pendinginan, yaitu IC yang bekerja mengolah sinyal dengan beban kerja yang masih cukup berat, misalnya IC multi vibrator. Jenis IC ini bekerja sebagai pembangkit sinyal. Jenis IC ini bisa dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut



Gambar 5. IC Digital pengolah sinyal yang beban kerjanya berat

4. Konduksi

Proses rambatan panas yang terjadi dalam medium padat kita kenal dengan proses konduksi. Pada proses ini kalor yang merbat dalam medium tidak diikuti oleh rambatan medium, oleh karena pada proses rambatan kalor ini sifat logam sangat mewarnai proses permbatan kalor, terutama dalam hal kecepatan menghantarkan kalor sehingga kalor dapat dibuang dengan secepat mungkin. Prinsip perambatan kalor konduksi dapat dilihat dari persamaan 1 dibawah ini.

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan q adalah kalor yang dirambatkan dengan satuan Joule, k adalah konstanta konduktivitas rambatan panas, A adalah perubahan luas permukaan logam yang dilalui oleh panas (m²), dT adalah perubahan temperatur (°C) dan dx adalah perubahan panjang logam yang dilalui oleh panas.

5. Konduktivitas Termal

Sifat logam yang memiliki konduktivitas termal tinggi adalah sangat diperlukan dalam merambatkan kalor hasil buangan dari komponen elektronik. Bila logam yang digunakan sebagai pendingin adalah logam yang memiliki sifat konduktivitas tinggi, maka kalor akan segera bisa terbuang dari bodi komponen dan segera dilepas keudara bebas, sehingga tidak terjadi penumpukan kalor baik pada komponen maupun pada logam pendinginnya. Tabel yang memuat tingkat kunduktivitas bahan bisa dilihat pada tabel 1 sebagai berikut

Tabel 1. Konduktivitas Thermal Bahan

No	Bahan	Konduktivitas thermal Bahan $k \text{ cal s}^{-1}\text{cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}$
1	Kuningan	0,260
2	Tembaga	0,920
3	Aluminium	0,490
4	Timah Hitam	0,830
5	Raksa	0,020
6	Baja	0,120
7	Perak	0,970

METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian yang dilakukan meliputi tahap tahap:

1. Perangkaian alat

Perangkaian alat disini dilakukan dengan mengeset peralatan labortorium yang diperlukan dan dilaksanakan di laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan fisika FMIPA Unibraw, selama 1 bulan.

2. Pengujian Alat

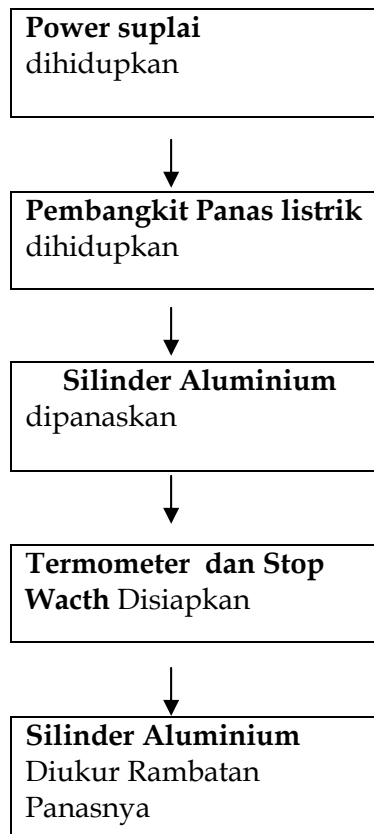
Dalam pengujian ini peralatan yang terlibat langsung harus sudah terkalibrasi dengan benar dan alat mampu bekerja dengan normal. Sebagi sumber panas dalam penelitian ini adalah solder listrik, sedangkan sebagai logam ujininya adalah silinder Aluminium.

3. Pengambilan data

Pengambilan data dilaksanakan secara langsung dilab yang bersangkutan yang memiliki kondisi suhu kamar yang normal.

4. Analisis dan Pengolahan data

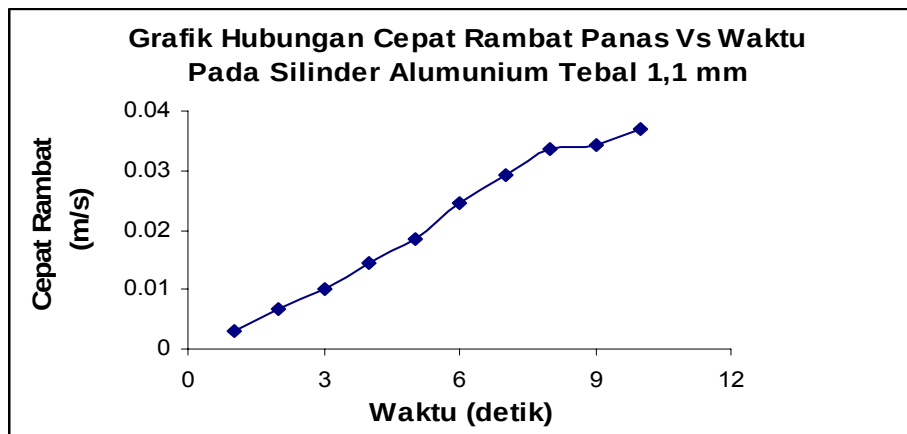
Data hasil penelitian diolah dan dianalisis berdasarkan berdasarkan prilaku hukum dalam elektronika dan rambatan panas.



Gambar 6. Diagram Block Penelitian

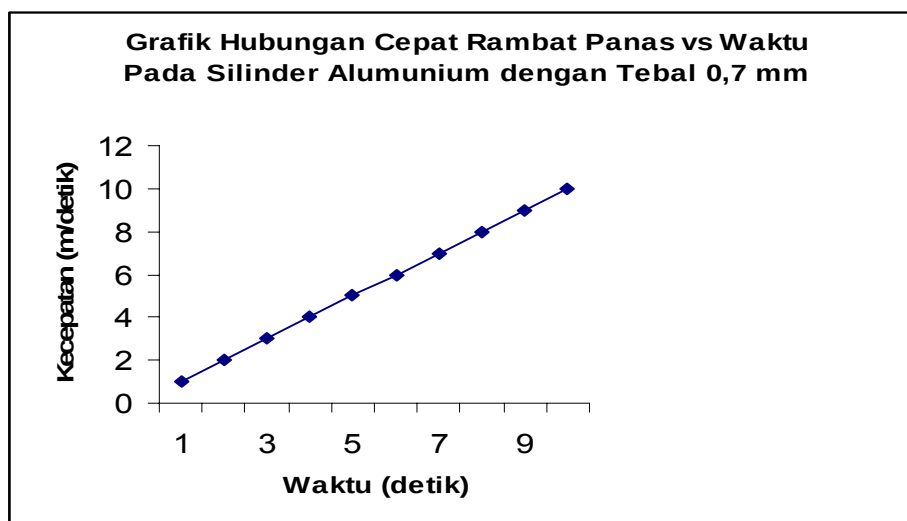
HASIL dan PEMBAHASAN

Grafik hasil pengamatan pada gambar 7, menunjukkan grafik hubungan antara fungsi cepat rambat panas terhadap waktu. Mula mula pada saat energi panas dirambatkan pada logam Aluminium setebal 1,1 mm panas terus merambat dan meningkat kecepatannya dengan peningkatan linier dari 0,01 m/s sampai 0,034 m/s. Pada detik berikutnya kecepatan menurun mendatar dari 0,035 m/s dan naik lagi sampai 0,039 m/s. Hal ini terjadi karena solder sebagai sumber panas menghasilkan temperature yang mulai menurun. Akibat dari energi kalor yang dirambatkan kecil akan memberikan konsekuensi temperature yang merambat pada Aluminium semakin lambat. Keadaan ini terjadi sampai menjelang akhir pengambilan data yaitu pada kecepatan 0,037 m/s dan akhirnya naik lagi pada titik 0,039 m/s.



Gambar 7. Grafik Hubungan cepat rambat panas Vs waktu Pada Silinder Aluminium dengan tebal 1,1 mm

Grafik hasil pengamatan pada gambar 8, menunjukkan grafik hubungan antara fungsi cepat rambat panas terhadap waktu. Mula mula pada saat energi panas dirambatkan pada logam Aluminium setebal 0,7 mm panas terus merambat dan meningkat kecepatannya dengan peningkatan linier dari 0 m/s sampai 2×10^{-2} m/s. Pada detik berikutnya kecepatan naik dari $3,9 \times 10^{-2}$ m/s menjadi $4,2 \times 10^{-2}$ m/s dan naik lagi sampai 10×10^{-2} m/s hingga mencapai 12×10^{-2} m/s. Hal ini terjadi karena solder sebagai sumber panas menghasilkan temperature yang stabile. Akibat dari energi kalor yang dirambatkan stabil akan memberikan konsekuensi temperature yang merambat pada Aluminium tetap mempunyai kecepatan yang relative konstan. Kemungkinan yang lain adalah karena pipa memiliki ketebalan yang homogen, Sehingga ketebalan logam Aluminium yang dilalui oleh panas memerlukan pengisian kalor yang sama .Pada saat kalor merambat , kecepatan rambat panas kearatiga dimensi



Gambar 8. Grafik Hubungan cepat rambat panas Vs waktu Pada Silinder Aluminium dengan tebal 0,7mm

DAFTAR PUSTAKA

- Barmawi, M. dan Tjia, M.O., 1997, Elektronik Komputer Digital, Institut Teknologi Bandung, Erlangga, Jakarta.*
- Fadeli, 1984, Elektronika Dasar I FMIPA, Universitas Gajah Mada, Jogjakarta.
- Fredrik W. Hughes.,1997, Panduan OP-AMP, Prentice Hall Inc, New Jersey, USA.
- Halliday ,D & Resnick, R., 1999, Physics, John wiley & Sons Inc, New York, USA.
- Horeinstein, M.n., 1996, Microelectronic Circuit and Devices, Prentice Hall Inc, New Jersy, USA.
- Philips, C & Harbor, R., 1996, Feedback Control Sistem, Third Edition, Prentice Hall Inc, New jersey, USA.
- Sugiarto, R., 1999, Tranduser dan Sensor, Kanisius, Jogjakarta.
- Sumijokartono, 1990, Elektronik Praktis, Elex Media Kompentindo, Jakarta.
- Tokheim, R., 1999, Digital Electronics Principle and Application, John Wiley & Sons Inc, New York, USA
- Milman & Halkias., 1997, Integrated Electronics, Columbia University, Mc Graw Hill, Inc, New Jersey, USA.
- Manolukis, D.J., & Proakis, D.G., 1995, Digital Signal Processing, Prentice Hall Inc, New jersey, USA.
- Microchip Technology Incorporated, 1998, 18-Pin Enanched Flash Eeprom 8-bit, Microcontroller PIC 16F84, USA.
- William, D.C., 1978, Elaktronics Instrumentation and Measurement Techniques, MC Graw Hill Inc, New Jersey, USA.
- William, D.C., 1999, Intrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran, Mc Graw Hill Inc, New Jer Sey, USA.

Data Penelitian

Aluminium tebal 1,1 mm

No	Waktu (s)	V m/s
1	1	0,0030
2	2	0,0066
3	3	0,0102
4	4	0,0144
5	5	0,0185
6	6	0,0244
7	7	0,0294
8	8	0,0336
9	9	0,0342
10	10	0,0370

Aluminium tebal 0,7 mm

No	Waktu (s)	V m/s
1	1	0,0033
2	2	0,0080
3	3	0,0111
4	4	0,0240
5	5	0,0195
6	6	0,0252
7	7	0,0294
8	8	0,0408
9	9	0,0405
10	10	0,0480

Aluminium tebal 1,1 mm

No	Cepat Rambat Panas m/s	Waktu (s)	V m/s
1	0,0030	1	0,0030
2	0,0033	2	0,0066
3	0,0034	3	0,0102
4	0,0036	4	0,0144
5	0,0037	5	0,0185
6	0,0044	6	0,0244
7	0,0042	7	0,0294
8	0,0042	8	0,0336
9	0,0038	9	0,0342
10	0,0037	10	0,0370

Aluminium tebal 0,7 mm

No	Cepat Rambat Panas m/s	Waktu (s)	V m/s
1	0,0033	1	0,0033
2	0,0040	2	0,0080
3	0,0037	3	0,0111
4	0,0060	4	0,0240
5	0,0039	5	0,0195
6	0,0042	6	0,0252
7	0,0042	7	0,0294
8	0,0051	8	0,0408
9	0,0045	9	0,0405
10	0,0048	10	0,0480

Kajian Variasi Dosis Serbuk Biji Kelor dan Alum, Serta Waktu Tinggal Pada Air Limbah Tapioka Dengan Proses Sedimentasi

EDWIN AZWAR

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung
edwinazwar@yahoo.co.id

ABSTRACT

Cassava powder is one agroindustry product which is developed lately. In the process of cassava powder will produce waste. The waste treatment until now very inefficiency and low effectivity. To overcome this problem it is needed to study about the effectivity of using coagulant Moringa Oliviera seed and Aluminium Sulfate which are used as coagulant in the optimization of the decrease the Total Suspended Solid with different doses.

The research has been done with the variation of the quantity Moringa Oliviera and Aluminium Sulfate 0, 30 dan 60 mg/l and detention time 2, 4 6 hours. The speed of sedimentation and the quality of waste before and after treatment are examined.

The result Aluminium Sulfate dan Moringa Oliviera have the important role to reduce the Total Suspended Solid which are followed by the reduction of Turbidity, Chemical Oxygen Demand and Biological Oxygen Demand. The effectivity of Aluminium Sulfate and Moringa Oliviera synergy producing the highest reduction of Total Suspended Solid 2,35%, with the doses 60 mg/l aluminium sulfate : 60 mg/l moringa oliviera, the detention time 6 hours, and the speed of sedimentation 0,1258 cm/minute.

Key Words : Coagulant, Efficiency, Effectivity, Waste, Optimisation, Reduction Sedimentation, Waste

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Tapioka adalah salah satu jenis produk agroindustri yang berkembang di Lampung saat ini. Pada proses pembuatan tapioka akan timbul limbah padat, gas dan cair yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan sekitar industri tapioka.

Berdasarkan penelitian (Irawan,1998), air limbah tapioka dari industri yang besar mengandung pati 0,5 - 2,5 %. Sifat fisik dan kimia limbah tapioka yang berasal dari pencucian dan pengendapan pati selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1

Disamping itu proses pengolahan limbah industri tapioka yang ada selama ini memiliki efisiensi dan efektifitas yang rendah. Salah satu cara mengatasi masalah tersebut adalah dengan pengurangan

partikel limbah tapioka sebelum proses biologis dengan metode sedimentasi.

2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kombinasi terbaik antara dosis serbuk biji kelor dan alum dalam penurunan padatan tersuspensi air limbah tapioka, dengan proses sedimentasi.

3. Kerangka Pemikiran

Pada prinsipnya, koagulasi merupakan proses untuk menghilangkan gaya tolak-menolak antara partikel-partikel yang tersuspensi dalam limbah dengan penambahan suatu koagulan yang mempunyai muatan berlawanan.

Di dalam media cair, koagulan *Alum* membentuk koloid $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang bermuatan positif. Kemudian partikel koloid $\text{Al}(\text{OH})_3$ akan mengadsorpsi pengotor dalam air sehingga menggumpal dan mengendap

Komposisi biji buah kelor (*Moringa oleifera*) mengandung logam-logam alkali kuat seperti K dan Na serta logam-logam lain yang mampu mereduksi limbah cair tapioka dengan cara mengikat bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah. Logam-logam inilah (terutama K dan Na) yang merupakan bagian kutub positif, sedang bagian lainnya merupakan kutub negatif. Koloid umumnya bermuatan listrik, ada yang positif dan ada yang bermuatan negatif, tergantung dari asalnya. Bila berasal dari bahan anorganik maka muatan listriknya positif, sedangkan yang berasal dari bahan organik muatan listriknya negatif (Razif, 1985).

4. Hipotesis

Terdapat variasi dosis yang terbaik antara koagulan alum dan serbuk biji kelor serta waktu tinggalnya dalam proses sedimentasi yang menghasilkan tingkat penurunan padatan tersuspensi yang optimal.

BAHAN dan METODE

1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain limbah cair yang keluar dari outlet pabrik tapioka PT. Dharma Agrindo Desa Karang Rejo Lampung Selatan, alum dan serbuk dari biji kelor.

Alat-alat yang digunakan antara lain model bak sedimentasi (0,85 x 0,28 x 0,3) m, gelas piala, pipet, pipet mikro, pengaduk, desikator, erlenmeyer 300 ml, (pyrex), *electric drying oven* (model FC-62 dan FSP-62 Toyo Kagaku Sangyo Co.,LTD), neraca elektrik (Ohaus, *Precision Advanced*), pH meter (D-12 Horiba), labu takar (*duran*), gelas ukur 250

ml, 500 ml, 800 ml dan 1000 ml (*pyrex*), labu semprot (*plastibrand*), tabung reaksi (*pyrex*), cawan porselen, corong, kertas label, pengaduk/spatula, *vortex/mixer*, pipet volume (*pyrex*), gelas piala (*pyrex*), kapas, pompa vakum dan *aluminium foil*, *stirer*, HACH Spektrofotometri DR 4000.

2. Metode Penelitian

Penelitian disusun secara faktorial menggunakan tiga faktor. Faktor pertama alum dengan dosis A_1 (0 mg/l), A_2 (30mg/l), A_3 (60mg/l), faktor kedua serbuk biji kelor K_1 (0 mg/l), K_2 (30mg/l), K_3 (60mg/l), faktor ketiga waktu tinggal G_1 (2jam), G_2 (4jam), G_3 (6jam), dengan 2 kali pengulangan.

Perlakuan disusun dalam rancangan acak kelompok lengkap, terdiri dari tiga faktor dengan dua kali ulangan . Faktor pertama adalah variasi alum dengan tiga taraf yaitu A_1 (0 mg/l), A_2 (30mg/l), A_3 (60mg/l). Faktor kedua yaitu variasi serbuk kelor dengan tiga taraf yaitu K_1 (0 mg/l), K_2 (30mg/l), K_3 (60mg/l), dan faktor ketiga adalah variasi waktu pengendapan dengan tiga interval yaitu G_1 (2 jam), G_2 (4 jam) dan G_3 (6 jam). Masing masing dilakukan dua kali pengulangan. Analisis data dilakukan dengan analisis sidik ragam yang merupakan suatu uji distribusi F dan dilanjutkan dengan uji Polinomial.

3. Mekanisme Pelaksanaan

Sampel limbah sebanyak 60 liter ditampung dalam bak penampung, lalu ditambahkan variasi dosis koagulan. Kemudian di aduk selama 1 jam. Sampel dialirkan dengan menggunakan pompa peristaltik ke bak sedimentasi. Model bak sedimentasi yang akan dipergunakan dalam peneitian ini berdimensi 0,85 x 0,28 x 0,3 m.

4. Analisis

Analisis yang dilakukan meliputi :

a. Kecepatan Pengendapan

Kecepatan sedimentasi partikel (V_c) di dalam *slurry* sebagai fungsi waktu dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (5).

$$V_c = \frac{Z_i - Z_c}{\theta_c} \quad (\text{Foust,1980})$$

(1)

b. Jumlah padatan tersuspensi (TSS) (APHA, 1998)

Total Suspended Solids diukur dengan metode cawan porselen.

$$\text{Zat padat tersuspensi (mg / l)} = \frac{(b - a) \times 1000}{c} \quad (2)$$

Keterangan:

a = berat cawan porselen kosong setelah dioven (mg)

b = berat cawan porselen berisi padatan setelah dioven (mg)

c = volume sampel yang disentrifus (ml)

c. Pengukuran Kekeruhan (HACH, 2004).

Pengukuran kekeruhan dilakukan menggunakan turbiditas meter

d. Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD) (HACH, 2004).

Untuk mengukur nilai COD sampel dilakukan menggunakan metode Open Reflux.

e. Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD) (SNI 06.6989.5-2004).

Penentuan BOD menggunakan metode BOD 5-hari test.

HASIL dan PEMBAHASAN

1. Kecepatan Pengendapan

Dari hasil pengamatan proses sedimentasi didapat hasil berupa data hubungan antara tinggi *interface* sedimen dan waktu. Data dari tabel hasil pengamatan , dibuat suatu kurva hubungan waktu versus ketinggian interface (ada pada lampiran A), dari persamaan Foust, (1980).

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa konsentrasi *alum* dan serbuk biji kelor dan interaksi keduanya berpengaruh nyata terhadap kecepatan pengendapan. konsentrasi *alum* dan serbuk biji kelor yang semakin tinggi meningkatkan kecepatan pengendapan hal ini menunjukan sinergi antara *alum* dan serbuk biji kelor. Penambahan koagulan *alum* dan serbuk biji kelor memungkinkan destabilisasi sistem koloid dan mempercepat koagulasi. Partikel koloid dalam limbah cair tapioka yang bermuatan listrik sama akan saling tolak-menolak dan tidak dapat saling mendekat.

Pada perbandingan dosis Alum 60 mg/l dengan serbuk biji kelor 0, 30 dan 60 mg/l kecepatan pengendapan tinggi, sesuai dengan pernyataan Adamson (1982) kekuatan flokulasi larutan elektrolit meningkat dengan naiknya ion dari partikel yang muatannya berlawanan.

Menurut Bird (1987) partikel partikel tersuspensi mengalami destabilisasi maksimal yang membentuk mikroflok sehingga jarak antara partikel-partikel menjadi renggang antara partikel yang satu dengan partikel yang lain sehingga partikel yang satu tidak akan terpengaruh dengan partikel yang lain. Pola lain yang terlihat adalah konsentrasi partikel didalam cairan limbah telah semakin berkurang karena mikroflok yang terbentuk semakin besar dan mengendap

sehingga densitas cairan semakin rendah maka gesekan antar partikel semakin rendah dan kecepatan pengendapan pun semakin tinggi (Ottewill, 1973). Adamson (1982) menyatakan bahwa kekuatan flokulasi larutan elektrolit meningkat dengan naiknya ion dari partikel yang muatannya berlawanan.

Penambahan ion positif yang berasal dari alum dan serbuk biji kelor, maka akan terjadi pengurangan gaya repulsi sesama koloid, sehingga terjadi destabilisasi sistem koloid, yang memungkinkan koloid saling mendekat dan membentuk mikroflok. Mikroflok-mikroflok tersebut cenderung untuk bersatu dan membentuk makroflok karena sudah mengalami destabilisasi dan akhirnya mengendap.

2. Padatan Tersuspensi

Berdasarkan hasil uji sidik ragam interaksi dua faktor koagulan dosis *alum*/dosis serbuk biji kelor pengaruhnya berbeda sangat nyata terhadap penurunan padatan tersuspensi. Interaksi dosis *alum* dengan waktu pengendapan, dosis serbuk biji kelor dengan waktu pengendapan dan interaksi tiga faktor dosis *alum*/dosis serbuk biji kelor/waktu pengendapan pengaruhnya tidak nyata.

Pada pengukuran awal padatan tersuspensi yang diambil dari outlet air limbah pabrik diperoleh nilai sebesar 4520 mg/liter. Setelah perlakuan variasi dosis *alum* dan serbuk biji kelor, padatan tersuspensi yang terukur pada sampel limbah menjadi 364 - 252 mg/l, penurunan nilai padatan tersuspensi sebesar 91,94 % - 94,42 %, namun nilai tersebut masih diatas baku mutu padatan tersuspensi 50 mg/l. Penurunan padatan tersuspensi tanpa penambahan *alum* dan serbuk biji kelor pada waktu pengendapan 2 sampai 6 jam sebesar 384-358 mg/l, atau 91,50 - 92,07 %, penurunan padatan tersuspensi ini karena pengendapan secara alamiah. Persentase penurunan padatan tersuspensi efektif dengan proses koagulasi alum dan serbuk biji kelor sebesar 0,44 % - 2,35 %.

Berdasarkan gambar 2, waktu tinggal 6 jam menghasilkan penurunan padatan tersuspensi yang lebih efektif dibanding waktu pengendapan 2 dan 4 jam

Pada semua perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor waktu pengendapan 2, 4 dan 6 menghasilkan penurunan padatan tersuspensi hal ini menunjukkan *alum* dan serbuk biji kelor besinergi.

Koagulan *alum* didalam media cair membentuk koloid $Al(OH)_3$ yang bermuatan positif sedangkan serbuk biji kelor mengandung logam Ca dan K yang juga bermuatan positif. Penambahan kedua koagulan dalam dosis tertentu meningkatkan jumlah kation ke dalam limbah yang berfungsi untuk menetralkan muatan negatif dari partikel-partikel koloid di dalam limbah sehingga mudah mengalami agregasi dan selanjutnya membentuk flok-flok (Suriawiria, 2005).

Terbentuknya flok-flok tersebut maka menyebabkan proses pengendapan berjalan lebih mudah. Penambahan *alum* sampai dosis tertentu meningkatkan jumlah kation (Al^{3+}) ke dalam limbah yang berperan untuk menetralkan muatan negatif koloid sehingga mudah mengalami agregasi dan selanjutnya membentuk flok-flok. Menurut Razif (1985), terbentuknya flok-flok tersebut menyebabkan partikel-partikel yang tersuspensi lebih mudah mengalami pengendapan.

Pada proporsi perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor yang seimbang menghasilkan penurunan padatan tersuspensi yang lebih efektif, akibat sinergi antara *alum* dan serbuk biji kelor hal ini terlihat pada kombinasi dosis terbaik 60 mg/l *alum* : 60 mg/l serbuk kelor.

3. Kekeruhan

Berdasarkan hasil uji sidik ragam interaksi dua faktor koagulan dosis *alum*/dosis serbuk biji kelor dan dosis serbuk biji kelor/waktu pengendapan, pengaruhnya berbeda sangat nyata terhadap penurunan kekeruhan. Sedangkan interaksi dosis *alum*/waktu pengendapan dan interaksi tiga faktor dosis *alum*/dosis serbuk biji kelor/waktu pengendapan pengaruhnya tidak nyata.

Pengukuran kekeruhan awal yang diambil dari outlet air limbah pabrik menunjukkan nilai 3950 NTU. Kekeruhan yang terukur setelah perlakuan dengan variasi dosis *alum* dan serbuk biji kelor, menjadi 251 - 219 NTU. Penurunan kekeruhan sebesar 93,64 % - 94,45 % masih diatas baku mutu lingkungan untuk limbah cair tapioka sebesar 100 NTU.

Penurunan kekeruhan tanpa penambahan *alum* dan serbuk biji kelor pada waktu pengendapan 2, 4, dan 6 jam sebesar 274 - 249 NTU, atau 93,06 % - 93,69 %. Persentase penurunan kekeruhan efektif tanpa proses koagulasi dibanding dengan penambahan *alum* dan serbuk biji kelor adalah 0,58 % - 0,76 %, hal ini disebabkan karena partikel tersuspensi sebagian besar sudah mengendap secara alamiah.

Berdasarkan gambar 3, pada waktu pengendapan 6 jam menunjukan waktu yang paling efektif dalam penurunan kekeruhan dibandingkan waktu pengendapan 2 dan 4 jam.

Pada perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor (0:0), (0:30), (0:60) mg/l, menunjukkan tingkat penurunan yang tinggi, terutama pada waktu tinggal 6 jam. Yang menarik terlihat bahwa perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor dari (0:60) ke (30:0) dan dari (30:60) ke (60:0) tingkat penurunan kekeruhan tidak signifikan hal ini menunjukan bahwa serbuk biji kelor berperan penting dalam penurunan tingkat kekeruhan.

Pada perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor (60:0), (60:30) dan (60: 60) pada waktu pengendapan 2, 4 dan 6 jam menghasilkan

penurunan kekeruhan yang paling tinggi. Kombinasi dosis terbaik yang menunjukkan pengaruh paling besar adalah 60 mg/l *alum* : 60 mg/l serbuk kelor. Hal ini menerangkan bahwa pengaruh *alum* sebagai zat koagulan dalam proses koagulasi berperan dalam pembentukan mikroflok untuk selanjutnya dibentuk menjadi flok-flok yang lebih besar.

Menurut Amirtharajah dan O' Melia (1990); Raju (1995) mekanisme destabilisasi koloid terjadi pada penekanan lapisan ganda, dimana interaksi koagulan terhadap satu partikel koloid murni bersifat elektrostatis. Ion koagulan yang memiliki muatan listrik yang sama dengan koloid akan ditolak, sedangkan yang memiliki muatan listrik berbeda akan ditarik. Apabila koagulan dengan konsentrasi tinggi ditambahkan kedalam persebaran koloid, maka konsentrasi ion berbeda muatan akan meningkat sehingga ketebalan lapisan ganda akan berkurang. Penipisan lapisan ini cukup untuk menanggulangi rintangan energi, dengan cara ini partikel dapat bergabung. Netralisasi muatan listrik partikel koloid dapat dilakukan oleh molekul berbeda muatan yang memiliki kemampuan mengadsorpsi koloid.

4. Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)

Berdasarkan hasil uji sidik ragam interaksi dua faktor koagulan dosis *alum*/dosis serbuk biji kelor dan dosis serbuk biji kelor/waktu pengendapan, pengaruhnya berbeda sangat nyata terhadap penurunan COD. Sedangkan interaksi dosis kelor/waktu pengendapan dan interaksi tiga faktor dosis *alum*/dosis serbuk biji kelor/waktu pengendapan pengaruhnya tidak nyata.

Pengukuran COD awal yang diambil dari outlet air limbah pabrik menunjukkan nilai 11000 mg/l. COD yang terukur setelah perlakuan menjadi 9670 – 8650 mg/l, terjadi penurunan sebesar 12,09 % – 21,36 % dan masih jauh diatas batas baku mutu lingkungan sebesar 250 mg/l.

Penurunan COD tanpa penambahan *alum* dan serbuk biji kelor pada waktu pengendapan 2, 4, dan 6 jam sebesar 9870 – 9660 mg/l, 10,27 % - 12,18 %. Persentase Penurunan COD efektif dengan proses koagulasi menggunakan *alum* dan serbuk biji kelor menghasilkan 1,82 % - 9,18 %.

Berdasarkan gambar 4, waktu pengendapan yang paling signifikan terhadap penurunan COD 4 dan 6 jam. Pada perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor dari (30:60) ke (60:0) penurunan COD tidak signifikan hal ini menunjukkan bahwa untuk menghasilkan sinergi yang efektif antara *alum* dan serbuk biji kelor dalam menurunkan nilai COD pada perbandingan yang seimbang.

Waktu pengendapan 2, 4 dan 6 jam hampir semua perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor menunjukkan tingkat penurunan

COD, terutama pada perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor (60:0), (60:30), (60:60) mg/l. Penambahan *alum* sampai dosis tertentu meningkatkan jumlah kation (Al^{3+}) ke dalam limbah yang berperan untuk menetralkan muatan negatif koloid sehingga mudah mengalami agregasi dan selanjutnya membentuk flok-flok (Razif, 1985). Kombinasi dosis terbaik terhadap penurunan COD 60 mg/l *alum* : 60 mg/l serbuk kelor.

e. Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD)

Berdasarkan hasil uji sidik ragam Interaksi dua faktor koagulan dosis *alum*/dosis serbuk biji kelor dan dosis *alum*/waktu pengendapan, pengaruhnya berbeda sangat nyata terhadap penurunan BOD. Sedangkan interaksi dosis serbuk biji kelor/waktu pengendapan dan interaksi tiga faktor dosis *alum*/dosis serbuk biji kelor/waktu pengendapan pengaruhnya tidak nyata.

Pengukuran BOD yang diambil dari outlet air limbah pabrik menunjukkan nilai 6500 mg/l mg/l. Baku mutu BOD untuk limbah cair tapioka sebesar 100 mg/l. Nilai BOD setelah perlakuan 539,12 - 436,58 mg/l atau terjadi penurunan 91,70 % - 93,28 %.

Penurunan BOD tanpa penambahan *alum* dan serbuk biji kelor pada waktu pengendapan 2, 4, dan 6 jam sebesar 549,69 - 531,44 mg/l, atau 91,54 % - 91,82 %. Persentase penurunan BOD efektif tanpa proses koagulasi dengan *alum* dan serbuk biji kelor menghasilkan 0,16 - 1,46 %.

Berdasarkan gambar 5, pada waktu pengendapan 2, 4 dan 6 jam hampir semua perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor menunjukkan sinergi yang baik pada kedua koagulan tersebut. Pada perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor (60:0), (60:30), dan (60:60) mg/l menunjukkan penurunan BOD yang tinggi. Kombinasi dosis terbaik yang dapat menurunkan nilai BOD secara signifikan 60 mg/l *alum* : 60 mg/l serbuk kelor. Rentang waktu tinggal antara 2 - 4 jam lebih signifikan.

f. Rekapitulasi Parameter Hasil Pengamatan

Persentase penurunan efektif kualitas limbah dengan proses koagulasi dapat disimpulkan sebagai berikut :

Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil yang dicapai setelah dilakukan variasi dosis *alum* dan serbuk biji kelor belum menghasilkan penurunan kualitas limbah efektif yang tinggi, hal ini disebabkan karena tidak dilakukan pengkondisian pH optimal air limbah tapioka.

SIMPULAN dan SARAN

1. Simpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Perbandingan dosis *alum* dan serbuk biji kelor yang menghasilkan optimalisasi
- b. koagulasi pada proses sedimentasi dengan dosis 60 mg/l *alum* : 60 mg/l serbuk kelor, waktu tinggal 6 jam dengan laju kecepatan pengendapan 0,1258 cm/menit.
- c. Sinergi *alum* dan serbuk biji kelor pada proses flokulasi menghasilkan efektifitas penurunan padatan tersuspensi tertinggi 2,35%.

2. Saran

Saran yang dapat diberikan yaitu :

- a. *Alum* dan serbuk biji kelor, tidak tepat untuk pengendapan limbah cair tapioka.
- b. *Alum* dan serbuk biji kelor akan lebih tepat untuk penjernihan air atau penjernihan akhir dari proses pengolahan air limbah tapioka.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W. 1982. *Physical Chemistry of Surface*, 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc. California.
- Amirtharajah, A. and C.R. O'Melia. 1990. Coagulation Processes: Destabilisation, Mixing, and Flocculation. Dalam F.W Pontius (Ed.). *Water Quality and Treatment A Handbook of Community Water Supplies*. 4th Edition. New York: McGraw-Hill, Inc. Hal: 269-361.
- APHA. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition. American Public Health and Association 1015. Fifteenth Street. NW, Washington, D.C: APHA Company Press. Hal : 2-57, 2-58
- Djarwanti. 1993. *Laporan Penelitian Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka secara Kimia Fisika*. Balai Penelitian dan Pengembangan Industri. Semarang.
- Foust, S.Alan. 1980 *Principle of Unit Operations 2nd edition*. John Wiley & Sons : NewYork.

HACH, Company. 2004. *DR/4000 Spechtrophotometer Model 48000 and 481000 User Manual*. 3th Edition. Colorado : HACH Company World. Hal: 115

Irawan. 1998. *Pengaruh Jenis Kapang Amilolitik dan Konsentrasi Pati Terhadap Penurunan Kadar Pati Media Cair Sintesis*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Ottewill, R.H. 1973. *Colloid Science. Volume I*. Specialist Periodical Reports The Chemical Society. Bartholomew Press. Great Britain.

Raju, B.S.N. 1995. *Water Supply and Wastewater Engineering*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.

Razif, M. 1985. *Pengolahan Air Minum*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.

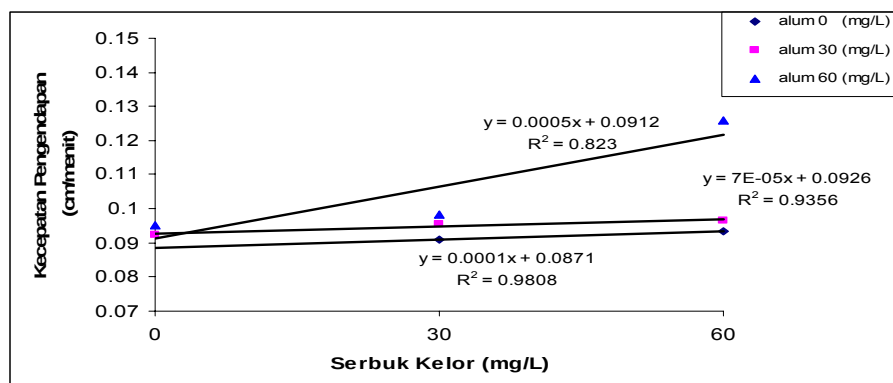
Sundhagul, M. 1972. *Feasibility Study on Tapioca Water Recovery*. Kuala Lumpur.

Suriawiria, U. 2005. *Manfaat Daun Kelor*. Jurnal Republika Online.

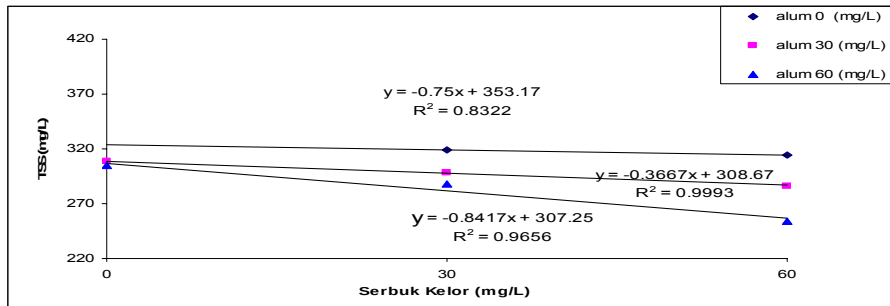
Tabel 1. Sifat-sifat Fisik dan Kimia Air Limbah Industri Tapioka

Karakteristik	Air Limbah Pemisahan Pati	Air Limbah Pencucian Ubi
Suhu	28,5 – 33 (°C)	28,0 – 31,0 (°C)
pH	3,4 – 4,2	4,2 – 7,1
Padatan tersuspensi	1480 – 8400 (mg/l)	400 – 1600 (mg/l)
Padatan mengendap	60 – 200 (mg/l)	10 – 100 (mg/l)
Total padatan	0,56 – 0,93 (g/100 ml)	0,02 – 0,55 (g/100 ml)
DO	0 (mg/l)	0,6 – 5,3 (mg/l)
BOD ₅	3000 – 4400 (mg/l)	200 – 1700 (mg/l)
COD	3100 – 13900 (mg/l)	2000 – 4850 (mg/l)

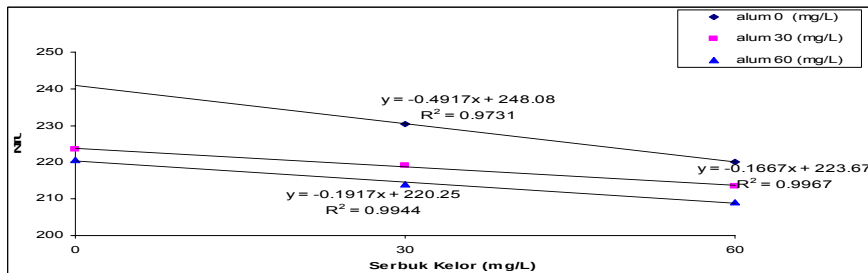
Sumber : Sundhagul (1972)



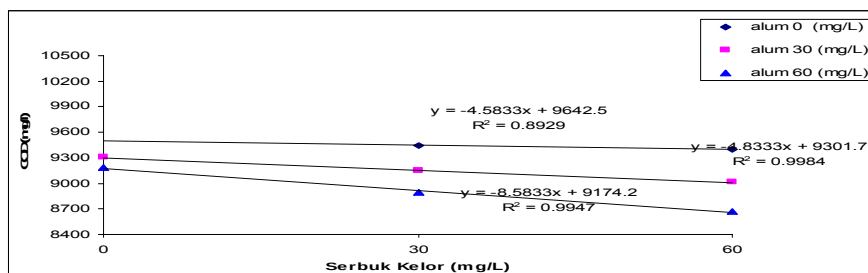
Gambar 1. Pengaruh variasi dosis alum dan serbuk biji kelor terhadap kecepatan pengendapan.



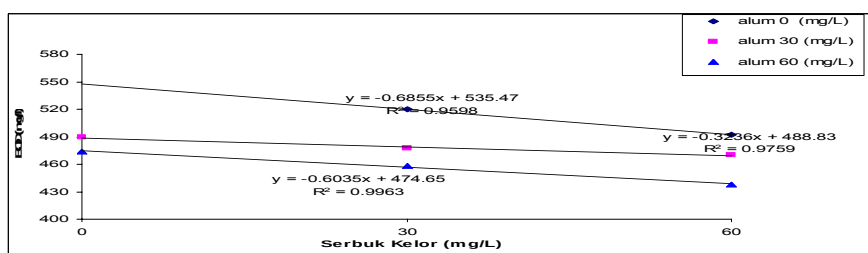
Gambar 2. Pengaruh variasi dosis alum dan serbuk biji kelor terhadap padatan tersuspensi pada waktu tinggal 6 jam



Gambar 3. Pengaruh variasi dosis alum dan serbuk biji kelor terhadap kekeruhan pada waktu tinggal 6 jam



Gambar 4. Pengaruh variasi dosis alum dan serbuk biji kelor terhadap COD pada waktu tinggal 6 jam



Gambar 5. Pengaruh variasi dosis alum dan serbuk biji kelor terhadap BOD pada waktu tinggal 6 jam

Tabel 2. Rekapitulasi Parameter Hasil Pengamatan

Parameter	% Penurunan Terendah		% Penurunan Tertinggi	
	A (30 mg/l), K (30 mg/l), G (2 jam)		A (60 mg/l), K (60 mg/l), G (2 jam)	
TSS		0,44		2,35
Kekeruhan		0,58		0,77
COD		1,82		9,18
BOD		0,16		1,46

PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI PADA PERMUKAAN SILINDER ATAU PIRINGAN YANG BERPUTAR (Convective Heat Transfer On Cylindrical or Rotating Sphere Surface)

AGUS SUGIRI

Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung

ABSTRACT

Performance of electricity generator were significantly affected by temperature increase. The flow rate heat transfer was defended by convective heat transfer of the component. This research is aim to get convective heat transfer coefficient of cylindrical rotating in wind tunnel using mass-transfer analogue technique and affect of diameter, rotating speed of cylindrical component and course of air flow for coefficient heat transfer. Naphtalene is using for object of experimental cause naphtalene si not easy to evaporatem and free from poison.

Keywords: Convective Heat Transfer, Cylindrical Surface, Naphtalene, Rotating Sphere Surface

PENDAHULUAN

Jenis peralatan listrik yang sering digunakan dilapangan adalah generator listrik atau motor listrik. Unjuk kerja dari peralatan tersebut dipengaruhi secara signifikan oleh kenaikan temperatur yang ditimbulkan oleh rotor yang berputar. Temperatur yang tinggi selama peralatan itu beroperasi bisa menyebabkan peralatan cepat aus dan rusak.

Panas yang timbul selama beroperasi harus segera dibuang ke lingkungan karena berguna untuk mempertahankan keawetan dari komponen terutama pada rotor. Laju pembuangan panas ke lingkungan ini tergantung dari harga koefisien perpindahan panas rotor itu sendiri. Variabel penting yang mempengaruhi besarnya laju perpindahan pada sistem ini adalah dimensi rotor, kecepatan putar dan kecepatan aliran udara yang melewati rotor.

A. Northrop dan J.M. Owen (1988), melakukan pengukuran perpindahan kalor pada sistem piringan berputar untuk mengkaji aliran dan perpindahan panas yang terjadi pada bagian dalam rotor turbin gas. Pengukuran dilakukan pada sistem piringan berputar berdiameter 950 mm dan putaran 3000 rpm di udara. Lima heater terletak di dalam piringan, dengan merubah-ubah distribusi temperatur radialnya. Pengujian dilakukan pada empat distribusi yang berbeda. Hasilnya temperatur meningkat searah radius dalam tiga distribusi dan menurun dalam distribusi yang keempat. Bilangan Nusselt lokal dan rata-rata diperoleh dari solusi numeris persamaan Laplace (dengan mengukur temperatur permukaan dan

daya listrik masukan sebagai kondisi batas) dan dari fluksmeter yang diletakkan di permukaan piringan.

Sparrow, E.M dan Geiger, G.T (1985) melakukan penelitian pada terowongan angin untuk mendapatkan harga rata-rata koefisien perpindahan kalor konveksi dan distribusi radial dari koefisien perpindahan panas lokal untuk benda berbentuk piringan bulat yang diletakkan pada arah tegak lurus aliran udara. Eksperimen dilakukan pada jarak bilangan Reynolds dari 5000 sampai 50000 dan menggunakan teknik sublimasi naphthalene untuk memperoleh harga dari koefisien perpindahan panas.

Untuk melengkapi penelitian, analisa tentang teori aliran potensial dan teori lapisan batas digunakan untuk memprediksikan titik stagnasi dari perpindahan panas. Angka Nusselt rata-rata yang terukur berbeda antara informasi dari literatur dan bidang korelasi. Distribusi radial dari koefisien perpindahan panas lokal didapatkan sebangun jika dinormalisasi dengan $Re^{0.5}$. Lebih jauh lagi profil distribusi radial menunjukkan bahwa harga koefisien lokal minimum terjadi pada titik stagnasi, dan meningkat sejalan dengan pertambahan jarak radial dari pusat piringan. Pada sisi luar piringan koefisien lokal mempunyai harga lebih dari dua kali. lipat bila dibandingkan pada titik stagnasi.

Penggunaan analogi perpindahan massa untuk memperoleh koefisien perpindahan panas lebih banyak dilakukan oleh para peneliti dan analogi ini akurat digunakan untuk kondisi pemodelan dan berbagai variasi dalam teknik perpindahan massa.

Eksperimen analogi perpindahan massa dan panas dapat dipergunakan jika kondisi dari eksperimen memenuhi beberapa persyaratan similaritas yaitu :

- Bentuk geometri yang sama.
- Harga bilangan Reynolds sama yang dijaga dalam kedua sistem.
- Difusifitas molekuler dari perpindahan panas dan massa. yang sama.
- Difusifitas turbulen dari perpindahan panas dan massa yang sama.
- Kondisi batas yang sama dan fluks perpindahan panas dan massa sama melalui daerah aliran.

Metode analogi antara perpindahan massa dan panas untuk konveksi paksa didasarkan pada teori Chilton-Colburn dimana persamaan umum untuk analogi ini adalah :

$$St.Pr^{2/3} = St_p.Sc^{2/3} \dots\dots\dots 1$$

dimana :

St = bilangan Stanton untuk perpindahan panas

St_D = bilangan Stanton untuk perpindahan massa
 Pr = bilangan Prandtl
 Sc = bilangan Schmidt

Persamaan ini berlaku untuk bilangan reynolds dan kondisi aliran yang sama.

$$St.Pr^{2/3} = (H/p.u.C_p).Pr^{2/3} = j = f(Re) \quad \dots\dots\dots 2$$

$$St_p.Sc^{2/3} = (H_D/u).Sc^{2/3} = j_D = f(Re) \quad \dots\dots\dots 3$$

Dari dua persamaan diatas untuk faktor j dengan asumsi bilangan Reynolds yang sama untuk kedua sistem maka:

$$h = h_D.C_p.p(Sc/Pr)^{2/3} \quad \dots\dots\dots 4$$

Laju perpindahan massa konveksi dari suatu permukaan dapat dihitung dari dasar persamaan :

$$m = h_D.A.\Delta C \quad \dots\dots\dots 5$$

dimana

m = rata-rata pengurangan berat naphthalene dibagi waktu
 ΔC = selisih konsentrasi naphthalene pada permukaan benda uji dan dalam aliran fluida

Konsentrasi permukaan naphthalene diasumsikan ekuivalen dengan tekanan uap jenuh dan karena tekanan uap naphthalene sangat rendah maka konsentrasi massa naphthalene pada saat menguap dapat dihitung dengan persamaan gas ideal, sehingga koefisien perpindahan massa h_p adalah :

$$h_D = \frac{m.R.T}{\Delta P.A.M_r} \quad \dots\dots\dots 6$$

dimana :

R adalah konstanta gas universal,
 M_r adalah berat molekul naphthalene,
 A adalah luas permukaan benda uji.
 $M = P_{st} - p_\alpha$ adalah beda tekanan uap naphthalene dipermukaan benda uji pada suhu ruang dengan tekanan uap naphthalene di dalam aliran udara.

Pada penelitian ini fluida kerja (udara) melalui seksi uji tanpa aliran balik atau bersirkulasi, sehingga p_α dapat diambil sama dengan nol dan h_D dapat dihitung langsung dari tekanan uap jenuh naphthalene.

Tekanan uap jenuh naphthalene dihitung berdasarkan temperatur permukaan naphthalene, yang bisa dianggap sama dengan temperatur

aliran udara dengan suatu persamaan menurut Sherwood dan Bryant yaitu :

$$\text{Log } p = 11,55 - (3765/T) \dots\dots\dots 7$$

Dimana

p : tekanan uap jenuh naphthalene (mmHg)

T : temperatur aliran udara ($^{\circ}\text{K}$)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas konveksi pada benda berbentuk silinder yang diputar didalam aliran udara, dengan menggunakan analogi perpindahan massa dan mengetahui pengaruh diameter silinder, kecepatan silinder dan kecepatan dan arah aliran udara terhadap koefisien perpindahan kalor rata-rata.

BAHAN dan METODE

1. Bahan Penelitian

Benda uji pada penelitian ini menggunakan bentuk piringan yang terbuat dari bahan kapur barus (naphthalene) dengan diameter 8.875 cm dan tebal 0.9 cm. Cara pembentukan benda uji dilakukan dengan proses pengecoran dan dicetak dalam cetakan yang terbuat dari paralon air dengan diameter 3 in. Sisi sebelah dalam cetakan yang bersentuhan dengan bahan cor dilapisi oleh plastik transparan dengan tujuan untuk mempermudah pengeluaran benda uji dari cetakan sehingga bahan cor tidak lengket dengan cetakannya. Agar piringan naphthalene tidak pecah sewaktu diputar, maka bagian dalam piringan tersebut diberi tulangan yang terbuat dari triplek bulat berdiameter 6 cm yang langsung dihubungkan dengan poros piringan yang terbuat dari besi berdiameter 0.6 cm. Secara detail bentuk benda uji bisa dilihat pada gambar 1.

Pengukuran koefisien perpindahan panas konveksi dilakukan pada sisi kiri dan kanan piringan. Sisi sebelah samping yang merupakan sisi tebal piringan tidak diperhitungkan dalam pengukuran. Untuk itu, sisi ini ditutup dengan selotipe agar selama pengujian naphthalene pada sisi ini tidak ikut menguap. Untuk mendapatkan variasi akan diameter dalam dan luar piringan, maka sisi sebelah dalam piringan kiri dan kanan ditutup dengan plastik transparan dengan diameter tertentu. Besarnya diameter penutup ini diperhitungkan agar memperoleh perbandingan antara diameter dalam dan luar piringan sesuai dengan yang sudah direncanakan.

2. Alat Penelitian

a. Wind tunnel

Wind tunnel terbuat dari triplek yang berlapis melanin dengan ukuran penampang aliran udara 13 cm X 13 cm dan panjang 250 cm,

seperti terlihat pada gambar 2, bagian depan dipasang straightener untuk mendapatkan bentuk aliran yang unifonn. Wind tunnel dihubungkan dengan sisi hisap blower tiga fase dengan daya 4 Hp. Pengaturan kecepatan aliran udara dilakukan dengan mengatur bukaan saluran keluar blower. Suplai udara masuk terowongan angin harns benar-benar bersih dari uap naphthalene karena akan sangat berpengaruh terhadap tekanan penguapan nappthalene. Oleh sebab itu saluran keluar udara blower disalurkan ke udara lingkungan di luar ruangan dan ditempatkan jauh dari saluran masuk terowongan.

b. Pengukur Suhu

Temperatur permukaan piringan naphthalene diasumsikan sama dengan temperatur aliran udara. Untuk mengukur temperatur aliran udara di dalam wind tunnel digunakan 2 buah termokopel tipe K yang ditempatkan masingmasing berjarak 20 cm sebelum dan setelah benda uji (piringan).

c. Pengukur kecepatan aliran udara

Pitot meter ditempatkan di dalam wind tunnel untuk mengukur kecepatan aliran udara. Pitot dihubungkan dengan manometer miring yang akan menunjukkan perbedaan tekanan aliran dengan tekanan statiknya, dimana dari perbedaan tekanan tersebut dapat dihitung berapa kecepatan aliran udara pada saat itu.

d. Neraca Digital

Pengukuran berat benda uji dilakukan pada sebuah neraca digital dengan ketelitian sampai 0.001 gram.

e. Stopwatch

f. Motor listrik dan regulator pengatur putaran

Untuk memutar piringan benda uji digunakan motor listrik DC 12 volt yang dihubungkan dengan sebuah regulator pengatur putaran. Tegangan listrik masuk ke motor listrik dapat diatur oleh alat tersebut untuk mendapatkan putaran motor yang diinginkan. Poros bagian depan motor listrik dipasang sebuah pencekam untuk memegang benda uji. Pada penelitian ini alat pengatur putaran tersebut diset ke dalam 4 macam pengaturan putaran motor, yaitu 1000, 1500, 2000 dan 2500 rpm.

3. Pelaksanaan Penelitian

Benda uji yang berbentuk piringan diputar dengan putaran tertentu di dalam terowongan angin pada selang waktu tertentu, seperti terlihat gambar 2. Sebelum dilakukan pengujian, semua peralatan pengujian harus sudah di-set sesuai dengan variasi pengukuran yang

diinginkan. Pengetesan terhadap kecepatan aliran udara dan kecepatan putaran piringan harus sudah dilakukan sebelum pengujian.

Dalam penelitian ini ada tiga variabel yang dibuat bervariasi yaitu

1. Perbandingan diameter ($d: D$) yang divariasikan ke dalam 1:4; 1:3; 1:2 dan 3:4 (disk brake pada sepeda motor)
2. Putaran piringan, divariasikan ke dalam 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm dan 2500 rpm.
3. Kecepatan aliran udara, divariasikan ke dalam 1,8 m/s; 5,1 m/s; 9,5 m/s; 15,2 m/s dan 20,8 m/s. Masing-masing variasi diwakili oleh satu benda uji, sehingga keseluruhan benda uji berjumlah 80 buah.

Pertama-tama benda uji ditimbang terlebih dahulu pada neraca digital untuk mengetahui berat awal dari benda uji. Kemudian secara perlahan-lahan dan hati-hati benda uji dipasang pada pencekam motor listrik. Untuk mendapatkan pemasangan benda uji yang sejajar dengan arah aliran udara, bagian atas terowongan yang terletak tepat di atas benda uji dipasang kaca bening berukuran 10 cm X 20 cm sehingga benda uji dapat terlihat dari luar. Pada kaca tersebut dibuat garis horisontal tepat di tengah-tengah pusat terowongan dan sejajar dengan arah aliran udara terowongan angin. Peletakan benda uji diusahakan segaris dengan garis pada kaca tersebut. Dengan cara tersebut piringan benda uji diharapkan terletak searah dengan aliran udara.

Setelah benda uji terpasang pada motor listrik, secara bersama-sama blower dan motor listrik dihidupkan, demikian juga dengan stopwatch pengukur waktu. Selama benda uji diputar di dalam terowongan, Temperatur dicatat setiap 5 menit sekali. Temperatur selama pengujian didapatkan dari rata-rata temperatur yang dicatat tersebut. Ketelitian pengukuran temperatur selama pengujian sangat diperlukan karena tekanan penguapan naphthalene sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Selain itu temperatur aliran juga berpengaruh terhadap harga dari sifat udara selama pengujian yang nantinya berpengaruh juga terhadap hasil perhitungan dari koefisien perpindahan panasnya.

Pengujian setiap benda uji dilakukan selama 60 menit. Berat benda uji setelah pengujian ditimbang kembali dan dicatat berapa berat benda uji yang hilang. Perbedaan berat sebelum dan setelah pengujian dipergunakan untuk perhitungan koefisien perpindahan panas.

HASIL dan PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada 80 buah benda uji dengan masing-masing benda uji diperoleh data berupa pengurangan berat naphthalene,

kecepatan aliran udara, kecepatan putaran piringan, perbandingan diameter piringan dan temperatur selama pengukuran. Dari data temperatur pengujian, dapat diperoleh data-data sifat udara yang terlihat di dalam pengurangan massa naphthalene, seperti data tentang viskositas udara, konduktivitas termal (k), panas spesifik udara (C_p) dan data tentang tekanan penguapan naphthalene pada saat pengujian.

Koefisien perpindahan panas rata-rata pada piringan berputar diperoleh secara tidak langsung dari pengurangan berat naphthalene selama pengujian. Pada setiap pengujian, pengurangan berat naphthalene berkisar antara 0.5 sampai 1,5 gram, atau sekitar 2% sampai 5% dari total berat naphthalene benda uji. Dimana persen pengurangan berat ini masih dalam batas yang diijinkan dalam hubungannya dengan pengujian menggunakan teknik analogi sublimasi naphthalene, yaitu pada batas 3% dari berat total naphthalene.

Berdasar pada pengurangan berat naphthalene ini kemudian dipergunakan untuk menghitung besarnya koefisien perpindahan massa rata-rata pada masing-masing variasi benda uji. Dengan menggunakan analogi perpindahan massa dan panas seperti pada persamaan (4), harga koefisien perpindahan panas rata-rata dapat diperoleh berdasar dari harga koefisien perpindahan massa rata-rata. Selanjutnya laju perpindahan panas konveksi ditampilkan dalam bentuk bilangan Nusselt, seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

Gambar 3,4,5 dan 6 memperlihatkan hasil perhitungan perpindahan panas dari empat variasi putaran pada perbandingan diameter yang berbeda. Perpindahan panas konveksi pada piringan berputar ditunjukkan oleh harga dari bilangan Nusselt. Secara umum, dari semua grafik terlihat bahwa bilangan Nusselt semakin meningkat dengan meningkatnya angka Reynolds. Kenaikan kecepatan putar piringan diiringi dengan kenaikan bilangan Nusselt, walaupun pengaruhnya kurang bisa terlihat jelas tapi dari semua grafik diatas terlihat bilangan Nusselt bertambah menurut urutan variasi putaran 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm dan 7.500 rpm. Masing-masing garis grafik variasi putaran terlihat cenderung saling berhimpit dan tidak menunjukkan perbedaan bilangan Nusselt yang terlalu besar. Alur garis grafik untuk masing-masing variasi putaran terlihat mempunyai trend yang sama untuk setiap Grafik. Ini artinya pada perbandingan diameter tertentu, variasi putaran ternyata tidak terlalu banyak mempengaruhi perubahan gradien garis bilangan Nusselt terhadap Reynolds. Atau bisa juga hal ini disebabkan pengambilan jarak perbedaan putaran masih terlalu kecil (dari 1000 sampai 2500) sehingga dimungkinkan belum dapat terlihat pengaruh yang nyata perbedaan putaran terhadap perubahan bilangan Nusselt

Garis yang saling berhimpit pada masing-masing grafik tersebut juga menunjukkan bahwa perbedaan putaran pada penelitian ini ternyata pengaruhnya cukup kecil terhadap perpindahan panas konveksi jika

dibandingkan dengan pengaruh dari bilangan reynoldsnya.

Hal tersebut diatas dapat lebih diperkuat kalau memperhatikan gambar no 7, 8, 9, 10, dan 11. Pada masing masing grafik terlihat, kenaikan putaran tidak terlalu banyak berpengaruh terhadap kenaikan bilangan Nusselt. Terutama sekali untuk garis grafik yang mempunyai perbandingan diameter 1 ; 4 dan 1 ; 3, garis-garis grafik tersebut tidak menunjukkan kenaikan yang berarti, malah cenderung datar-datar saja. Kenaikan bilangan Nusselt pada putaran 1000 rpm sampai 2500 rpm berkisar antara 10 sampai 40.

Kenaikan bilangan Nusselt yang kecil pada putaran yang berbeda disebabkan resultan kecepatan antara kecepatan aliran udara dengan kecepatan linier piringan pada permukaan piringan saling meniadakan. Lebih jelasnya

Kecepatan aliran udara bebas U dan kecepatan linier piringan V berlawanan putaran jarum jam. Pada titik di bagian bawah pusat piringan, kecepatan udara berlawanan dengan kecepatan linier, sehingga semakin besar kecepatan linier piringan resultan kecepatan pada titik tersebut akan semakin kecil untuk kecepatan aliran udara bebas yang sama. Sedangkan pada titik diatas pusat piringan kecepatan udara searah dengan kecepatan linier piringan. Kondisi ini menyebabkan resultan kecepatan pada setiap titik di dalam piringan mempunyai harga yang berbeda-beda. Semakin besar kecepatan linier piringan, pada bagian bawah pusat piringan resultan kecepatan akan semakin kecil sedangkan pada bagian atas akan semakin besar. Gambar 12 memperlihatkan resultan kecepatan pada masing-masing titik pada permukaan piringan berjarak x dari pusat piringan untuk kecepatan aliran udara bebas $U = 9,5 \text{ m/dt}$ dan putaran bervariasi dari 1000 rpm sampai 2500 rpm

Terlihat pada sudut α antara 50° sampai 310° harga dari resultan kecepatan akan semakin naik dengan semakin besarnya putaran piringan. Tetapi pada sudut α 0° sampai 50° dan 310° sampai 360° resultan kecepatan semakin turun. Hal ini menunjukkan pada daerah di sebelah bawah titik pusat piringan kenaikan putaran malah akan memperkecil resultan kecepatan pada daerah itu. Jika dihitung harga rata-rata resultan kecepatan (W_r) pada setiap perbedaan putaran diperoleh :

- untuk putaran 1000 rpm $W_r = 14,2 \text{ m/s}$
- untuk putaran 1500 rpm $W_r = 14,7 \text{ m/s}$
- untuk putaran 2000 rpm $W_r = 15,4 \text{ m/s}$
- untuk putaran 2500 rpm $W_r = 16,4 \text{ m/s}$

Putaran yang semakin besar, rata-rata resultan kecepatan pada beberapa putaran piringan yang berbeda tidak menunjukkan selisih yang besar. Ini membuktikan bahwa kenaikan putaran dari 1000 rpm sampai 2500 rpm tidak menunjukkan banyak perubahan terhadap kondisi perpindahan massa pada permukaan piringan.

Gambar 7, 8, 9, 10, dan 11 menyajikan hasil pengolahan data

koefisien perpindahan panas untuk lima variasi kecepatan aliran udara. Dari semua grafik diatas terlihat peningkatan kecepatan aliran udara seiring dengan peningkatan bilangan Nusselt. Kalau dibandingkan antara masing-masing grafik terlihat dengan semakin besarnya kecepatan udara (kecepatan udara meningkat pada urutan grafik no 7,8,9,10 dan 11) terlihat jarak bilangan nusselt yang didapat meningkat drastis. Dimulai dari kecepatan aliran udara untuk $V = 1,8$ rn/s bilangan Nusselt berkisar antara 100 sampai 250, sedangkan untuk $V = 5,1$ rn/s bilangan Nusselt naik berkisar dari 160 sampai 330, bahkan untuk $V = 20,8$ rn/s jarak bilangan reynolds sudah jauh meningkat menjadi berkisar antara 380 sampai 750. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan aliran udara yang berbeda sangat berpengaruh terhadap perpindahan panas konveksi yang terjadi. Kecepatan udara yang sernakin besar akan mengakibatkan semakin banyak panas yang dibawa oleh udara. yang melewati piringan sehingga akan memperbesar laju perpindahan konveksinya.

Pada grafik-grafik tersebut juga menunjukkan bahwa pada perbandingan diameter 3:4 mempunyai harga rata-rata bilangan Nusselt yang paling tinggi seperti ditunjukkan pada grafik-grafik sebelumnya. Bahkan untuk perbandingan diameter 3:4 ini mempunyai harga bilangan Nusselt yang terpaut cukup jauh dibanding perbandingan diameter yang lain. Hal ini paling terlihat pada grafik dengan kecepatan udara $V = 1,8$ m/s.

Bilangan Nusselt tertinggi terjadi pada perbandingan diameter 3:4 sedemikian selanjutnya berurutan ke perbandingan diameter 1:2 ; 1:3 dan yang terakhir 1: 4. Ini artinya semakin kecil perbandingan diameter dalam dan luar piringan untuk besar diameter luar yang sama maka akan semakin memperbesar perpindahan panas konveksi yang terjadi. Semakin kecil perbandingan diameter, akan berakibat luas area kontak perpindahan panas akan semakin mengecil. Tetapi walaupun demikian dengan perbandingan diameter yang lebih kecil daerah perpindahan panas akan terjadi pada daerah yang mempunyai koefisien perpindahan panas konveksi lokal yang lebih besar. Sehingga koefisien perpindahan panas rata-rata juga akan semakin besar. Seperti ditunjukkan pada penelitian dari Owen (1988) semakin jauh dari titik pusat piringan bilangan Nusselt lokal akan bertambah besar, bahkan menurut hasil penelitian sparrow (1985) sisi paling luar piringan mempunyai harga koefisien perpindahan panas loka! dua kali lebih besar jika dibandingkan pada pusat lingkaran.

Persamaan perpindahan panas konveksi pada piringan berputar

Persamaan yang menyangkut tentang perpindahan panas konveksi selalu dinyatakan dalam bentuk analisa dimensional. Analisa dimensional memungkinkan terbentuknya hubungan-hubungan eksperimental antara variabelvariabel yang akan dicari. Untuk menggabungkan pengaruh dari beberapa variasi yang dilakukan pada penelitian ini terhadap laju perpindahan panas konveksi, maka variabel-variabel tersebut dikelompokkan menjadi tiga kelompok

tanpa dimensi yaitu Re , X dan Y . Angka dari bilangan Prandtl dianggap konstan karena pengaruh nilai Prandtl yang diakibatkan perubahan temperatur sangat kecil. Sehingga hubungan fungsional dari kelompok tanpa dimensi ini menjadi :

$$Nu = a Re^b X^c Y^d$$

Dimana: $X = \omega.R^2 / \nu$

$Y = d/D$

ω = kecepatan putar piringan (rad/dt)

ν = viskositas kinematik (m^2/dt)

R = jari-jari piringan (m)

d = diameter dalam piringan (m)

D = diameter luar piringan (m)

a, b, c, d = konstanta

Untuk mendapatkan nilai dari keempat konstanta diatas persamaan diubah menjadi bentuk logaritma sehingga persamaan menjadi linier

$$\log Nu = \log a + b.(\log Re) + c.(\log X) + d.(\log Y)$$

$$\text{Atau } Y = b_0 + b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3$$

Nilai-nilai konstanta persamaan linier ini diperoleh dengan menggunakan teknik multiple regression linier dan didapatkan hasil:

$$a = 0,6275$$

$$b = 0,4948$$

$$c = 0,1341$$

$$d = 0,3342$$

Dari penyelesaian diatas maka persamaan perpindahan konveksi untuk piringan berputar menjadi :

$$Nu = 0,6275.Re^{0,4948} . X^{0,1341} . Y^{0,3342}$$

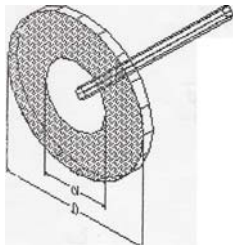
SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

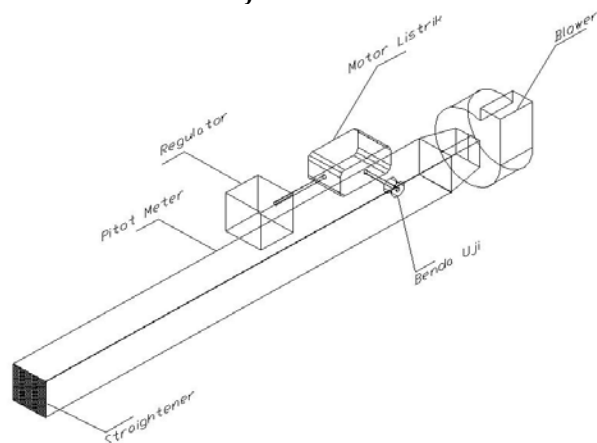
1. Perpindahan kalor konveksi pada piringan akan semakin besar dengan meningkatnya kecepatan aliran udara bebas yang melewatinya, sedangkan variasi putaran dari 1000 rpm sampai 2500 rpm ternyata tidak banyak berpengaruh terhadap perpindahan kalor konveksi pada piringan yang berputar;
2. Perpindahan kalor konveksi tertinggi terjadi pada dimensi piringan yang mempunyai perbandingan diameter dalam dan luar $d : D = 3 : 4$;
3. Hasil perhitungan regresi data pengukuran diperoleh persamaan perpindahan kalor konveksi pada piringan berputar $Nu = 0,6275.Re^{0,4948} . X^{0,1341} . Y^{0,3342}$ dengan penyimpangan nilai bilangan Nusselt maksimum sebesar 20 %.

DAFTAR PUSTAKA

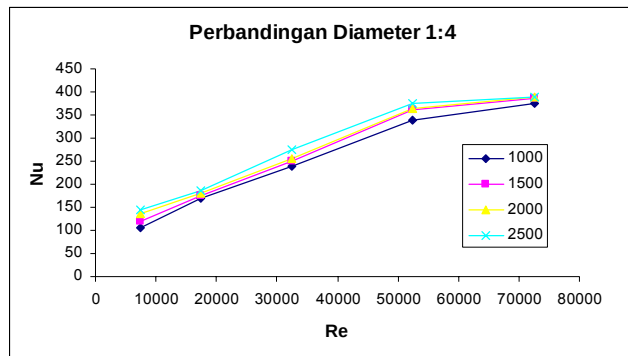
- A. Northop, J.M. Owen, 1988, **Heat Transfer in Rotating-disc System**, Journal Heat and Fluid Flow, vol 9, No.1, hal 19-26.
- Bawa, 1999, **Koefisien Perpindahan Panas dan massa untuk Partikel Berbentuk Sembarang**, Tesis S-2 UGM, Yogyakarta.
- C.J. Kobus, G.L. Wedekind, 1995, **An Experimental Investigation into Forced, Natural and Combined Forced and Natural Convective Heat Transfer from Stationary Isothermal Circular Disks**, Journal Heat Mass Transfer, vol 18, hal. 3329-3339.
- E.M. Sparrow, G.T. Geiger, 1985, **Local and Average Heat Transfer Characteristics for a Disk Situated Perpendicular to a Uniform Flow**, Journal of Heat Tranfer, vol 107, hal 321-326.
- E.M. Sparrow, J.L. Gregg, 1960, **Mass Transfer, Flow and Heat Transfer About a Rotating Disk**, Transactions of ASME, hal 294-302.
- Rhine, J.M., dan R.J. Tucker, 1991, **Modeling of Gas Fired Furnaced and Boilers**, ed.1, McGraw Hill Book Co., London.
- Incropera, F.P., dan D.P. Dewitt, 1981, **Fundamental of Heat Transfer**, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.



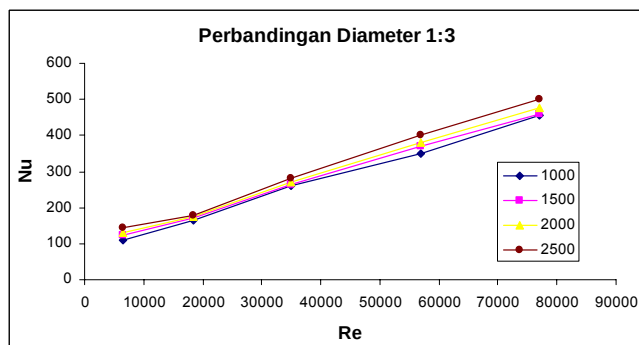
Gambar 1. Benda uji



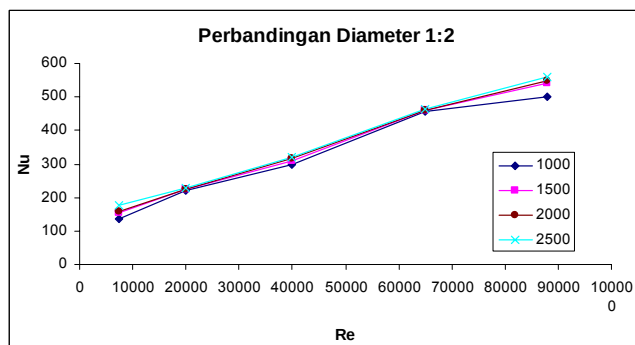
Gambar 2. Skema alat uji



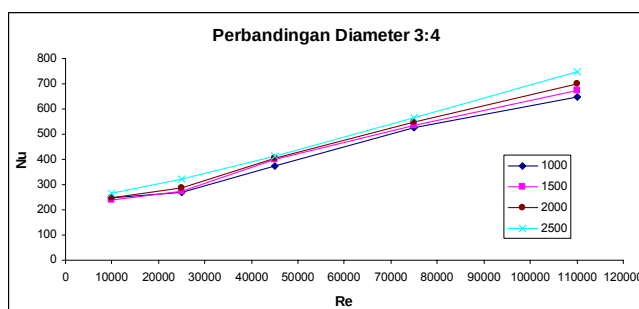
Gambar 3. Grafik variasi putaran untuk $d : D = 1 : 4$



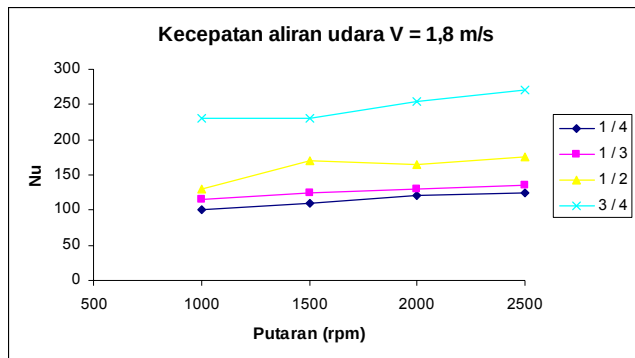
Gambar 4. Grafik variasi putaran untuk $d : D = 1 : 3$



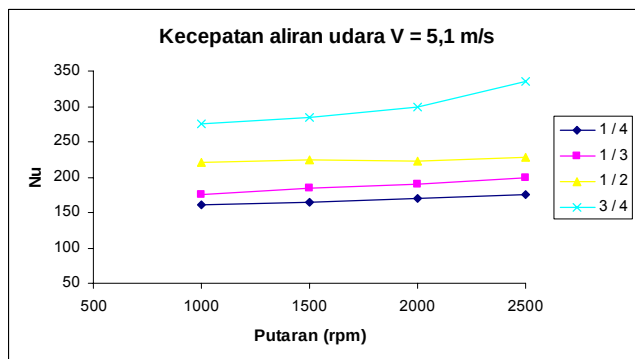
Gambar 5. Grafik variasi putaran untuk $d : D = 1 : 2$



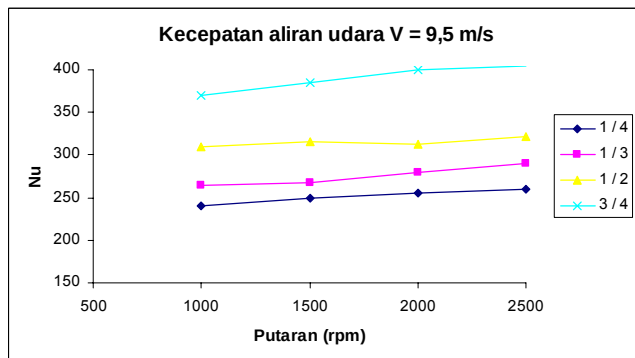
Gambar 6. Grafik variasi putaran untuk $d : D = 3 : 4$



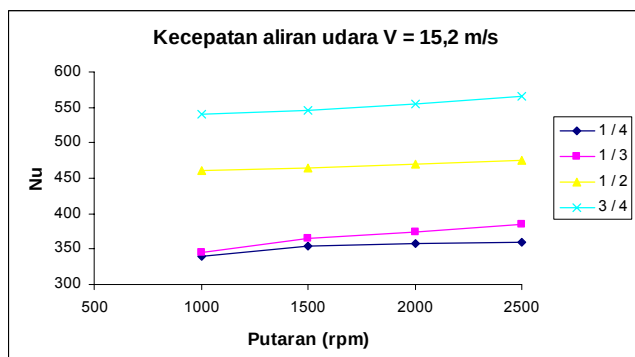
Gambar 7. Grafik variasi $d : D$ untuk kecepatan aliran udara $v = 1,8 \text{ m/s}$



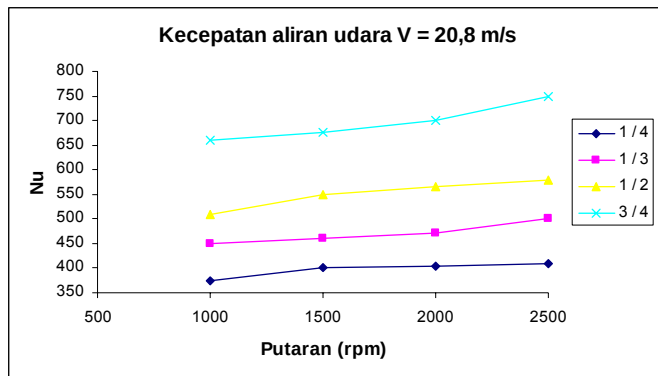
Gambar 8. Grafik variasi $d : D$ untuk kecepatan aliran udara $v = 5,1 \text{ m/s}$



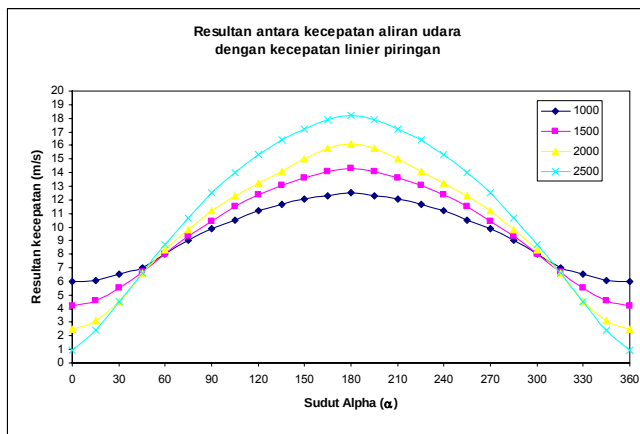
Gambar 9. Grafik variasi $d : D$ untuk kecepatan aliran udara $v = 9,5 \text{ m/s}$



Gambar 10. Grafik variasi $d : D$ untuk kecepatan aliran udara $v = 15,2 \text{ m/s}$



Gambar 11. Grafik variasi $d : D$ untuk kecepatan aliran udara $v = 20,8 \text{ m/s}$



Gambar 12. Grafik resultan kecepatan

SURVEI GEOLISTRIK UNTUK ESTIMASI LAPISAN BATUBARA DI MUARA TOPENG LAMPUNG TENGAH

RUSTADI

Program Studi Geofisika FMIPA Universitas Lampung
Telp. 0813-97827764, E-mail; Rusdi@easy.la

ABSTRACT

The objective of this research is to develop a technique electrical resistivity to detection coal seam on Muara Topeng, Lampung Tengah. We installed 2D survey line in the near place where outcropping coal at Jura River

The acquisition is used Wenner-Schlumberger, with minimum spacing is 2 meter and long survey line 408 meter from near Jura River to Galing River. The developed method was effective for detecting coal seam, where is the coal at 1 - 3 from surface and having thickness 1.5 - 2 meter

Key Words: Geoelectric 2D, Coal, Muara Topeng

PENDAHULUAN

Untuk mereduksi penggunaan BBM khususnya sebagai bahan bakar penghasil energi listrik, pemerintah mulai menimbang pemanfaatan sumber energi lain. Diantaranya adalah penggunaan batubara untuk menghasilkan energi listrik 10.000 mwatt. Kebijakan tersebut menjadikan sumber daya energi ini menjadi aset strategis. Kegiatan inventarisasi batubara perlu dilakukan guna mendukung operasional berbagai PLTU yang akan direalisasikan.

Kabupaten Lampung Tengah diketahui memiliki potensi endapan batubara, diantaranya berada di dataran Muara Topeng. Berdasar tinjauan geologi, Muara Topeng berada pada lembar Kotaagung. Endapan batubara di daerah ini diperkirakan terbentuk pada tatanan tektonik ekstensional yang dimulai sekitar Tersier Bawah atau Paleogen pada cekungan-cekungan sedimen. Sebagian besar endapan batubara terdapat pada Formasi Talang Akar yang berumur Eosen (Tersier Bawah). Formasi ini tersusun oleh perselingan breksi konglomeratan, batupasir kuarsa, batupasir, batubara dan batugamping (Amin, 1983).

Formasi Talang Akar dipengaruhi oleh aktivitas Batuan Gunungapi Muda berumur Kuartar Atas, yang menyebabkan terjadinya ketidak selarasan perlapisan. Aktivitas vulkanik ini selain menyebabkan ketidak selarasan (perubahan lapisan batubara dari posisi awal), juga dapat menyebabkan perbedaan proses pembatubaraan lebih lanjut.

Pemanfaatan metode geolistrik tahanan jenis telah banyak digunakan untuk pengamatan lapisan geologi dangkal. Kemampuan metode geolistrik sangat ditunjang keadaan bawah permukaan yang tersusun oleh lapisan-lapisan dengan tahanan jenis berbeda (Ocvianti dkk, 2000). Adanya variasi tahanan jenis lapisan, dapat diamati dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi dan mencatat tahanan jenis pada titik-titik pengamatan di permukaan bumi. Dengan mengubah-ubah jarak elektroda sesuai dengan konfigurasi tertentu, maka dapat diinterpretasi perubahan tahanan jenis secara vertikal dan horizontal.

Kemampuan metode geolistrik tahanan jenis dalam mendeteksi perlapisan bawah permukaan telah dibuktikan oleh Osella dkk (1999). Meju dkk (1999) berhasil mendeteksi kedalaman lapisan konduktif menggunakan metode geolistrik yang dipadukan dengan metode elektromagnetik. Sedangkan Nowroozi dkk (1999), memanfaatkan metode ini untuk memetakan zona intrusi air laut di Virginia, Amerika Serikat. Beberapa hasil penelitian menggunakan metode geolistrik tersebut menjadi rujukan penting dalam survei estimasi lapisan Batubara yang terdapat di Muara Topeng, Kabupaten Lampung Tengah.

Secara teoritis potensial listrik didefinisikan sebagai energi potensial (U) persatuan muatan uji, yaitu :

$$V = \int_{\infty}^r E \cdot dr = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r} \quad (1)$$

dimana V adalah potensial listrik, E menyatakan medan listrik, Q merupakan muatan listrik, r dan ϵ masing-masing menyatakan jarak antar muatan dan konstanta permitivitas.

Sedangkan arus listrik didefinisikan sebagai gerakan muatan negatif (elektron) pada materi sebagai proses mengatur diri menuju keadaan setimbang. Keadaan tersebut terjadi apabila materi menerima gangguan luar berupa medan listrik. Melalui rumusan matematis, arus listrik dapat dinyatakan oleh persamaan (2)

$$I = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (2)$$

Apabila bumi dialiri arus searah I (diberi medan listrik E), maka elemen arus ∂I yang melalui elemen luas ∂A dengan rapat arus J adalah

$$\partial I = J \cdot \partial A \quad (3)$$

Jika di dalam bumi tidak terdapat gangguan berupa arus listrik, akan dihasilkan bentuk persamaan Laplace seerti berikut;

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} = 0. \quad (4)$$

Penyelesaian umum persamaan Laplace dalam kasus ini adalah

$$V(r) = \frac{C_1}{r} + C_2 \quad (5)$$

Pada $r = \infty$ dihasilkan penyelesaian berupa

$$V(r) = \frac{C_1}{r} \quad (6)$$

Jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola berjari-jari r adalah:

$$I = 4\pi r^2 J = 4\pi r^2 \left[-\sigma \frac{\partial V}{\partial r} \right] = 4\pi \sigma C_1 \quad (7)$$

Sehingga

$$C_1 = \frac{I\rho}{4\pi}$$

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I}. \quad (8)$$

Sedangkan apabila sumber arus terdapat di permukaan bumi, permukaan yang dilalui arus I adalah setengah bola, sehingga

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I}. \quad (9)$$

Beda potensial yang terdapat antara M dan N diakibatkan oleh injeksi arus pada A dan B adalah (Telford, 1990):

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]$$

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]. \quad (10)$$

Adapun besarnya tahanan jenis semu adalah

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}. \quad (11)$$

Peralatan

Peralatan yang digunakan meliputi; instrumen geolistrik Naniura NRD 22 S buatan Sumber Daya Mineral Bandung, GPS, 4 roll kabel, 4 elektroda, 2 meteran panjang, kompas, 4 buah HT, peta geologi dan peta topografi.

METODE PENELITIAN

1. Survei Geologi

Survei geologi berhasil mendapatkan singkapan batubara, diantaranya berada di dinding Sungai Galing, dekat Sungai Jura, dan di lereng bukit di atas Sungai Pengubuan. Endapan-endapan batubara ini berada pada Formasi Talang Akar dan Formasi Batuan Gunungapi Muda. Batubara yang terdapat pada Formasi Batuan Gunungapi Muda, diperkirakan hasil dari proses geotektonik yang mempengaruhi Formasi Talang Akar.

2. Survei Geolistrik

Pemilihan arah lintasan dan spasi pengukuran sangat berperan dalam menentukan keberhasilan penelusuran lapisan batubara. Untuk mendapatkan hasil maksimal, survei menerapkan teknik 2D dengan arah lintasan Barat-Timur berpangkal dari singkapan batubara di Sungai Jura menuju singkapan yang terdapat di Sungai Galing.

Pengambilan data menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger seperti diperlihatkan pada Gambar 1, dengan spasi terkecil 2 meter dan panjang lintasan pengukuran 408 meter. Pada konfigurasi ini, menyerupai konfigurasi Wenner, namun elektroda-elektroda arus memiliki jarak na terhadap elektrode potensial, dengan $n = 1, 2, 3, 4, 5$ dan 6.

3. Pengolahan Data

Perangkat lunak res2dinv karya M.H. Looke digunakan sebagai program komputasi untuk pengolahan data hasil pengukuran geolistrik 2D. Hasil pengolahan data geolistrik diperlihatkan pada Gambar 2, dan merupakan keluaran dari proses inversi program res2dinv.

4. Interpretasi

Interpretasi data geolistrik tahanan jenis 2D umumnya dilakukan pada kontur tahanan jenis semu pada *pseudosection*. Namun informasi yang diperoleh kurang optimal mengingat parameter tahanan jenis dan geometri (terutama kedalaman) anomali bawah permukaan adalah besaran yang bersifat relatif. Interpretasi menggunakan pemodelan inversi merupakan alternatif untuk

memperoleh informasi tahanan jenis bawah permukaan secara lebih kuantitatif.

Prinsip dasar metode inversi adalah modifikasi model awal hingga diperoleh model yang responnya cocok dengan data hasil pengamatan. Sedangkan modifikasi model didasarkan pada informasi mengenai sensitivitas parameter observasi data terhadap perubahan parameter model (Grandis dan Yudistira, 2000).

HASIL dan PEMBAHASAN

Pada penelitian sebelumnya Johnson (2003) dan Rodriguez dkk, (2000), keduanya mampu memetakan lapisan batubara dengan menggunakan geolistrik melalui teknik yang berbeda. Penerapan metode geolistrik juga cukup akurat dalam pendeteksian; lapisan batubara di Muara Topeng. Hasil ini diperlihatkan pada Gambar 2..

Melalui asumsi lapisan batubara di Muara Topeng memiliki tahanan jenis 300 – 350 ohm-meter. Lapisan batubara diperlihatkan oleh gradasi warna hijau tua. Lapisan batubara berada pada kedalaman 1 – 3 meter dari permukaan dan memiliki ketebalan 1,5 – 2 meter. Sesuai dugaan awal hasil survei geologi, lapisan batubara juga memperlihatkan pola kemenerusan menuju singkapan yang ada di Sungai Galing.

Penggunaan metode geolistrik 2D yang dipadukan dengan survei geologi, cukup baik digunakan sebagai alat bantu dalam penelusuran lapisan batubara untuk kedalaman dangkal. Perpaduan antara keduanya dapat menjadi solusi bagi masalah pertambangan, khususnya eksplorasi batubara. Melalui pendekatan ini, akan dapat memberikan manfaat berupa; biaya eksplorasi menjadi lebih ekonomis, dan dapat mereduksi resiko kegagalan dan kerugian.

KESIMPULAN

Penggunaan metode geolistrik 2D yang dipadukan dengan survei geologi, cukup baik digunakan sebagai alat bantu dalam penelusuran lapisan batubara. Melalui perpaduan keduanya, lapisan batubara di Muara Topeng ditafsirkan berada pada kedalaman 1 – 3 meter dari permukaan dan memiliki ketebalan 1,5 – 2 meter. Lapisan batubara juga menunjukkan pola kemenerusan antara singkapan di Sungai Jura dengan singkapan di Sungai Galing.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin.T.C, 1985, *Geologi Lembar Kotaagung, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Grandis, H. dan Yudistira, T., 2000, Studi Pendahuluan Identifikasi Penyebaran Polutan Bawah-Permukaan Menggunakan

Metode Geolistrik, (Geologi dekat permukaan), HAGI, Bandung.

Johnson, W.J., 2003, Case histories of dc resistivity measurements to map shallow coal mine workings, *The Leading Edge*, 22, 571-573

Meju M.A., Fontes S.L., Oliveira M.F.B., Lima J.P.R., Ulugergerli E.U. and Carrasquilla A.A., 1999, Regional Aquifer Mapping Using Combined VES-TEM-AMT/EMAP Methods in the Semiarid Eastern Margin of Parnaiba Basin, Brazil, *Geophysics*, 64.

Nowroozi A.A., Horrocks S.B. and Henderson P., 1999, Saltwater Intrusion into the Freshwater Aquifer in the Eastern Shore of Virginia; A Reconnaissance Electrical Resistivity Survey, *Journal of Applied Geophysics*, 42.

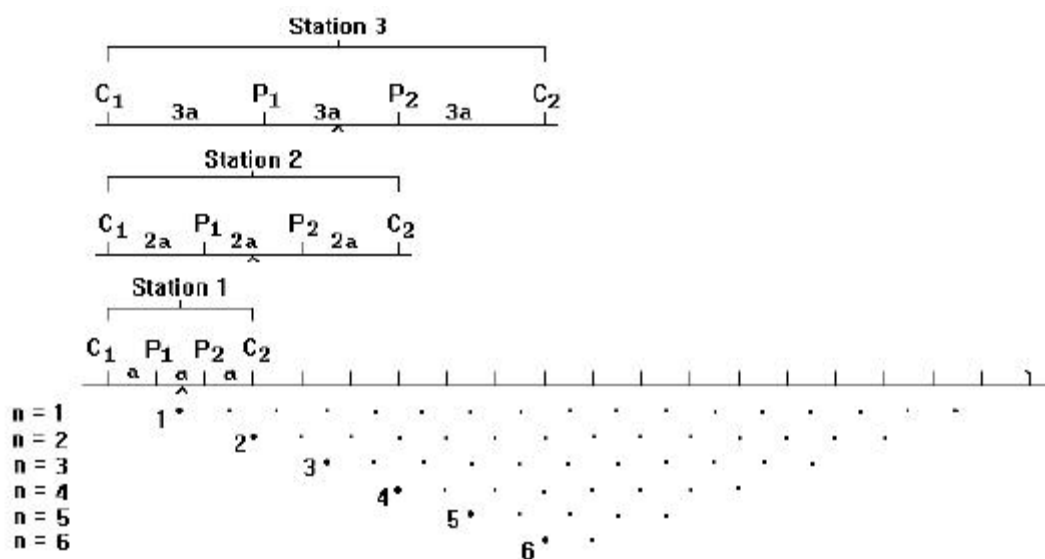
Ocvianti M.A., Suyanto I. Dan Hartantyo E., 2000, Pengolahan Data Resistivitas Mapping Menggunakan Program Probabilitas Tomografi, *Prosiding PIT-HAGI 25*, Bandung

Osella A., Favetto, A. and Martinelli P., 1999, Electrical Imaging of an Alluvial Aquifer at the Antinaco-Los Colorado Tectonic Valley in the Sierras Pampeanas, Argentina, *Journal of Applied Geophysics*, 41.

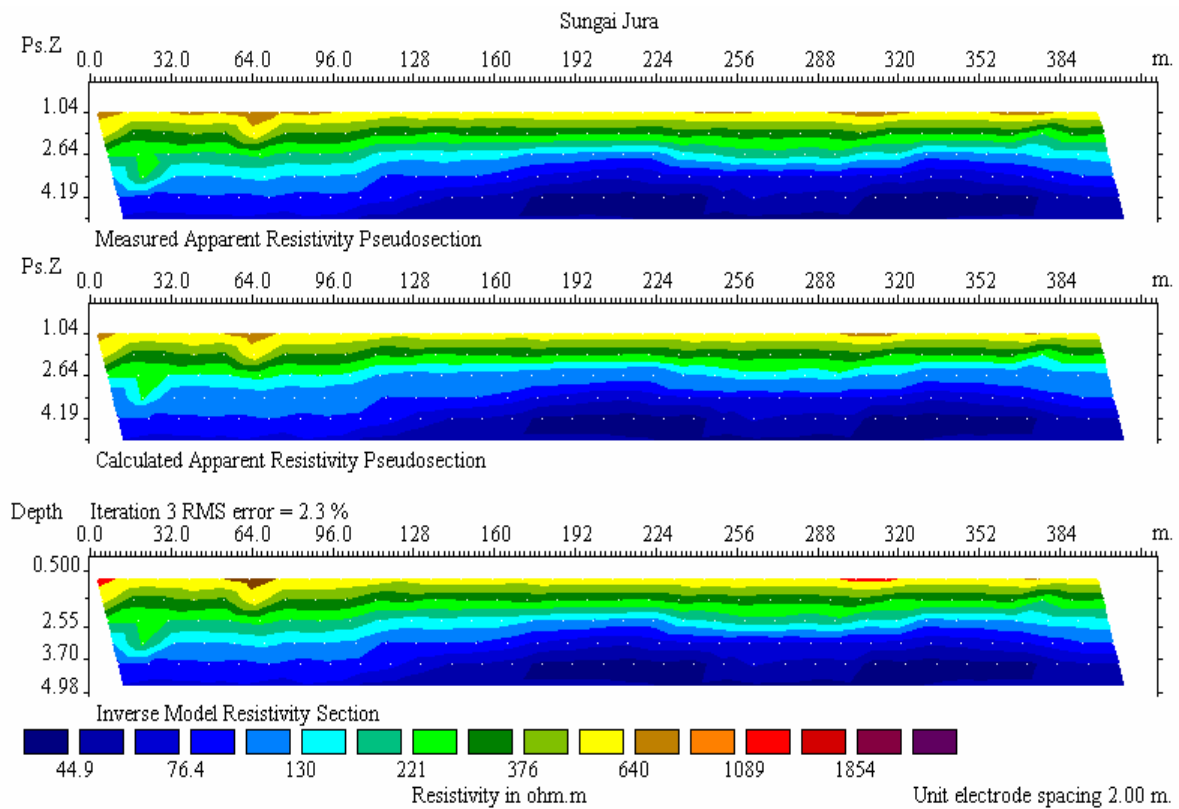
Reynolds J.M, 1997, *An Introduction To Applied And Environmental Geophysics*, John Willey and Sons.

Rodriguez, R., and Rodriguez, H.R., 2000, Applying the mise-à-la-masse method to coal mining problems, *The Leading Edge*, 19, p. 759.

Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E., 1990, *Applied Geophysics*, Second Edition, Cambridge University Press.



Gambar 1. Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan posisi titik-titik datum



Keterangan

Lapisan batubara di Muara Topeng (tahanan jenis 300 – 350 ohm-m)

Gambar 2. Hasil inversi data 2D di Muara Topeng.

PELABELAN TOTAL SISI TAK BERATURAN PADA GRAF BINTANG

ASMIATI

Asmiati_unila@yahoo.com

Jurusan Matematika FMIPA UNILA

ABSTRACT

Let $G = (V, E)$ be a graph with $V(G)$ is its vertex set and $E(G)$ is its edge set. Find the minimum value of k so that all vertices and edges can be labeled by $1, 2, 3, \dots, k$ (labels can be repeated), and having the property that all the weights of edges on G are different. The value of k is called the edge total irregularity strength of graph G , by notation $tes(G)$. $tes(K_{1,n}) = \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil$.

Keywords: Labelling, $tes(G)$

PENDAHULUAN

Pelabelan graf merupakan topik dalam teori graf yang banyak mendapat perhatian dimulai pada tahun 1963 oleh Sadlacek. Hingga kini telah lebih dari 300 paper yang membahasnya. Pelabelan graf yang telah dikaji adalah pelabelan Graceful[6], pelabelan Harmoni[12], pelabelan sumgraf[9], pelabelan ajaib[5], dan pelabelan anti ajaib[3,9,13]. Studi tentang aplikasinya juga telah dilakukan, diantaranya pada teori koding, kristalografi sinar-x, penyimpanan data komputer, sistem jaringan komunikasi dan desain sirkuit[7]. Survey tentang pelabelan graf yang lebih lengkap dapat dilihat di[8].

Pada tahun 2001, Baca dkk[10] memperkenalkan tipe pelabelan yang lain yang dinamakan Pelabelan Total Tak Beraturan yang mempunyai dua tipe yakni Pelabelan Total Sisi Tak Beraturan dan Pelabelan Total Titik Tak Beraturan.

Misalkan G suatu graf dengan himpunan titik V dan himpunan sisi E . Untuk suatu bilangan bulat k , definisikan pelabelan- k total λ pada G sebagai suatu pemetaan.

$$\lambda : V \cup E \rightarrow \{1, 2, \dots, k\}$$

Bobot dari sisi xy ditulis $w(xy)$, terhadap pelabelan total λ adalah jumlah label xy dan label dua titik yang menempel di xy yaitu: $w(xy) = \lambda(x) + \lambda(xy) + \lambda(y)$.

Pelabelan λ dikatakan pelabelan- k total sisi tak beraturan jika untuk setiap dua sisi e, f berlaku $w(e) \neq w(f)$. Jelas bahwa setiap graf G dapat dilabeli dengan pelabelan- k total sisi tak beraturan dengan cara melabeli setiap titik dengan nilai 1 dan sisi-sisi dilabeli secara terurut dengan $1, 2, 3, \dots, \lfloor E \rfloor$. Maka didapat pelabelan- k total sisi tak beraturan untuk graf G dengan $k = \lfloor E \rfloor$.

Masalah selanjutnya adalah mencari nilai k terkecil sehingga graf G dapat dilabeli dengan pelabelan- k total sisi tak beraturan. Nilai k terkecil ini disebut kekuatan total sisi tak beraturan dari graf G yang dinotasikan dengan $tes(G)$.

Studi mengenai pencarian $tes(G)$ ini untuk pertama kali telah dikaji oleh Baca dkk[10] dalam papernya yang berjudul *On Irregular Total Labellings*. Kelas Graf yang telah dikaji meliputi graf lintasan, graf lingkaran, graf lengkap, dan graf roda. Kemudian Baskoro Edy Tri dan Asmiati[4] telah mengkaji pelabelan total sisi tak beraturan pada graf buku dan gabungan graf lintasan, Asmiati dan Junaidi Akmal[2] pada graf bintang.

Pelabelan total sisi tak beraturan pada graf bintang telah dikaji oleh Baca dkk[10], dilanjutkan oleh Asmiati[1], kemudian Asmiati dan Junaidi Akmal[2]. Dari eksplorasi penelitian sebelumnya ditemukan banyaknya kemungkinan cara melabeli titik dan sisi pada graf bintang yang memenuhi syarat pelabelan total sisi tak beraturan tetapi kekuatan total sisi ($tes(G)$) nya sama. Maka pada penelitian ini akan ditentukan alternatif lain pelabelan total sisi tak beraturan pada graf bintang.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan alternatif-alternatif pelabelan total sisi tak beraturan pada graf bintang dengan kekuatan total sisi tak beraturan ($tes(G)$) nya sama, selain yang telah dikaji oleh Baca dkk[10], Asmiati[1], Asmiati dan Junaidi Akmal[2].

Selanjutnya akan diberikan definisi, notasi dan teorema yang diambil dari [11]. Graf G adalah suatu struktur (V, E) dimana V himpunan tak kosong dengan elemen-elemennya disebut titik, sedangkan E (mungkin kosong) adalah himpunan pasangan tak terurut dari elemen-elemen di V . Anggota dari E disebut sisi. Kita bekerja pada graf hingga, yakni graf G dengan $|V|$ hingga. Misalkan $e = \{u, v\}$ adalah sisi di G . Maka titik u dikatakan tetangga dari v dan juga sebaliknya. Selanjutnya titik u dan v dikatakan menempel pada sisi e . Sebaliknya, sisi e juga dikatakan menempel pada titik u dan v . Sisi e diatas biasa ditulis juga sebagai uv .

Graf bipartit $G(X \cup Y, E)$ dengan himpunan titik V adalah graf yang himpunan titiknya V dapat dipartisi kedalam subset X dan Y , yakni $V = X \cup Y$, sedemikian sehingga setiap sisi G menghubungkan suatu titik di X dengan suatu titik di Y . Jika G memuat semua sisi yang menghubungkan titik di X ke setiap titik di Y maka G disebut graf

bipartiti lengkap dinotasikan dengan $K_{m,n}$, dimana $m = |X|$ dan $n = |Y|$. Untuk $m = 1$ disebut graf bintang.

Teorema-teorema berikut ini didapat oleh Baca dkk [10].

Teorema 1

Jika $G(V,E)$ adalah suatu graf maka

$$\frac{|E|+2}{3} \leq tes(G) \leq |E|.$$

Bukti:

Karena $w(e) = \lambda(a) + \lambda(b) + \lambda(e)$ dengan $e = ab$ dan $w(e) \geq 3$ maka $w(E) \geq |E| + 2$

Perhatikan

$$tes(G) \geq maks\{\lambda(a), \lambda(b), \lambda(e)\} \geq \frac{w(e)}{3} \geq \frac{|E|+2}{3}$$

Jadi

$$\frac{|E|+2}{3} \leq tes(G)$$

Untuk menunjukkan batas atasnya, pilih $\lambda(x) = 1; \forall x \in V$ dan semua sisi dilabeli berturut-turut dari 1 sampai $|E|$. Maka bobot setiap sisi akan berbeda dan akibatnya $tes(G) \leq |E|$.

Teorema 2

Jika $K_{1,n}$ adalah graf bintang dengan n titik, $n > 1$

$$\text{maka: } tes(K_{1,n}) = \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil.$$

Bukti:

Berdasarkan teorema 2.1, graf bintang ini akan mempunyai batas

bawah yakni $tes(K_{1,n}) \geq \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil$. Selanjutnya akan ditentukan batas

atas. Misalkan $e_1 = xv_1, e_2 = xv_2, \dots, e_n = xv_n$ sisi-sisi graf bintang $K_{1,n}$, dan definisikan pelabelan sebagai berikut:

$$\lambda(x) = 1, \lambda(v_i) = \left\lfloor \frac{i+1}{2} \right\rfloor, \lambda(e_i) = \left\lceil \frac{i+1}{2} \right\rceil; i = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{Ini mengakibatkan } tes(K_{1,n}) = \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil.$$

Sedangkan Asmiati dan Junaidi akmal[2] melabeli titik dan sisi pada graf bintang tersebut adalah sebagai berikut

$$\lambda(x) = 1, \lambda(v_i) = \left\lceil \frac{i+1}{2} \right\rceil, \lambda(e_i) = \left\lfloor \frac{i+1}{2} \right\rfloor; i = 1, 2, \dots, n$$

Pelabelan dilakukan dengan cara mengganti label pada titik selain titik sentral menjadi label untuk sisi, demikian juga sebaliknya label untuk sisi menjadi label untuk titik.

Alternatif pelabelan total sisi tak beraturan pada graf bintang juga dapat dilihat di Asmiati[1] dengan cara melabeli sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \lambda(x) &= 1 \\ \lambda(v_i) &= \begin{cases} i & ; 1 \leq i < \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil \\ \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil & ; \text{untuk lainnya} \end{cases} \\ \lambda(xv_i) &= \begin{cases} 1 & ; 1 \leq i \leq \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil \\ i - \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil & ; \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil + 1 \leq i \leq n \end{cases} \end{aligned}$$

diperoleh $w(ca_i) = 2 + i \quad ; 1 \leq i \leq n + 1$

Dengan mudah dapat diperiksa bahwa bobot sisi-sisinya berturut-turut mulai dari 3 sampai dengan $2 + n$. Jelas bahwa λ adalah

pelabelan total sisi tak beraturan dari $K_{1,n}$ dengan $tes(K_{1,n}) = \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil$.

METODE PENELITIAN

Misalkan G adalah suatu graf. Langkah-langkah untuk menentukan kekuatan total sisi tak beraturan dari graf G ($tes(G)$) adalah:

1. Menentukan graf yang ingin diteliti, misalnya graf Bintang $K_{1,n}$.
2. Melabeli setiap titik dan sisi pada graf $K_{1,n}$, untuk $n=1, 2, 3, 4, \dots, 20$. Pelabelan dikatakan benar jika telah memenuhi syarat yaitu $w(e) \neq w(f)$ untuk setiap $e, f \in E(K_{1,n})$. (Catatan: Penentuan batas n tergantung dari pola yang terlihat, kalau belum terlihat lanjutkan untuk n yang lebih besar).
3. Mengobservasi nilai label k terkecil ($tes(K_{1,n})$) untuk setiap $n=1, 2, 3, \dots, 20$ berdasarkan Teorema 1. (Catatan: Penentuan batas n tergantung dari pola yang terlihat, kalau belum terlihat lanjutkan untuk n yang lebih besar).

4. Jika belum mendapatkan nilai label k terkecil ($tes(K_{1,n})$) untuk setiap $n=1, 2, 3, \dots, 20$ maka kembali ke Langkah 2. Berhenti jika sudah mendapatkannya.
5. Memformulasikan pelabelan total sisi tak beraturan pada graf $K_{1,n}$ yang dapat berlaku secara umum, sehingga diperoleh $tes(K_{1,n})$.
6. Menguji Langkah 5. dengan pembuktian matematika.

HASIL dan PEMBAHASAN

Pelabelan total sisi tak beraturan pada graf bintang tidaklah tunggal sebagaimana yang telah dibahas pada Teorema 2, Asmiati[1], dan Asmiati dan Junaidi Akmal[2]. Berikut ini akan didiskusikan alternatif yang lain dari pelabelan total sisi tak beraturan pada graf bintang.

Hasil Utama

Labeli titik dan sisi pada graf bintang sebagai berikut

Kasus 1: Untuk n genap

$$\lambda_1(x) = 1$$

$$\lambda_1(v_i) = \begin{cases} i & ; 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor - 1 \\ \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor - 1 & ; \text{yang lain} \end{cases}$$

$$\lambda_1(xv_i) = \begin{cases} 1 & ; 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor - 1 \\ i - \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor + 2 & ; \text{yang lain} \end{cases}$$

Kasus 2 : Untuk n ganjil

$$\lambda_1(x) = 1$$

$$\lambda_1(v_i) = \begin{cases} i & ; 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor - 1 \\ \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor - 1 & ; \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor \leq i \leq n-1 \\ \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor & ; i = n \end{cases}$$

$$\lambda_1(xv_i) = \begin{cases} 1 & ; 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor - 1 \\ i - \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor + 2 & ; \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor \leq i \leq n-1 \\ \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor & ; i = n \end{cases}$$

Dengan mudah dapat diperiksa bahwa bobot sisi-sisinya berturut-turut mulai dari 3 sampai dengan $2 + n$. Jelas bahwa λ_1 adalah pelabelan total sisi tak beraturan dari $K_{1,n}$ dengan.

KESIMPULAN

Alternatif –alternatif Pelabelan Total Sisi Tak Beraturan pada graf bintang $K_{1,n}$ dapat di lihat pada Teorema 2, Asmiati[1], Asmiati dan Junaidi Akmal[2], dan Hasil Utama. Walaupun cara melabelinya berbeda, namun Kekuatan Total Sisi Tak Beraturannya sama yaitu

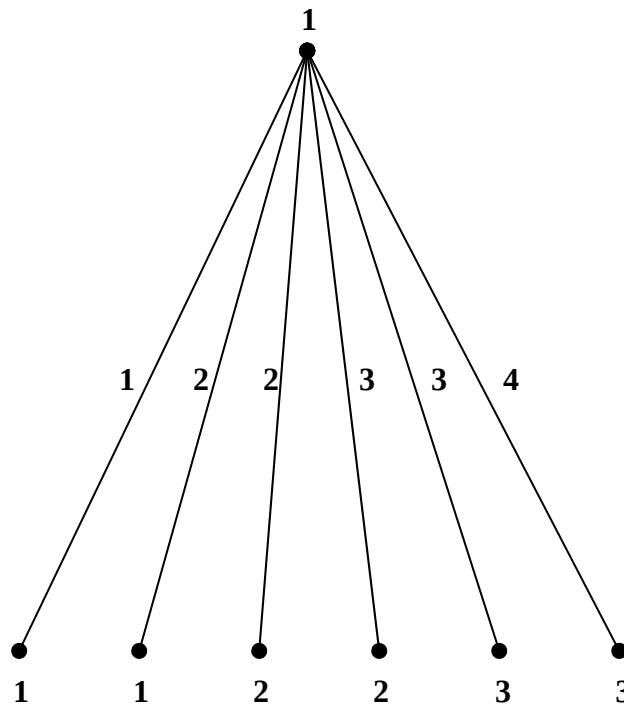
$$tes(K_{1,n}) = \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil.$$

DAFTAR PUSTAKA

- Asmiati, *Pelabelan total sisi tak beraturan*, tesis S₂, Departemen Matematika ITB (2002).
- Asmiati dan Junaidi Akmal, Pelabelan Total Sisi Tak Beraturan pada Graf Bintang, *Majalah Ilmiah Matematika dan Komputer* (Desember 2003) 111-115, Universitas Gunadharma.
- A. Kotzig dan A. Rosa, Magic valuations of finite graphs, *Canad. Math. Bull.* 13 (1970) 451-461.
- Baskoro Edy Tri, Asmiati, Irregular Total Labelling on Book Graph and union of disjoint Paths, *Jurnal Quantitative Methods*, Vol 1 Januari 2004.
- B.M. Stewart, Magic Graphs, *Canadian J. Math* 18(1996) 1031-1059.
- G. Ringel dan A.S.Llado, Another tree conjecture, *Bull. ICA* 18(1996) 83-85.
- G. Ringel, Problem 25. In their of graph and its applications, *Proc. Symposium Smolenice* 1963, Prague (1964) 162.
- J.A. Gallian, *Electronic journal of combinatorics*, (July 2001), revised.
- M. Baca, F. Bertault, J. Macdougall, M. Miller, R. Simanjuntak dan Slamin, Vertex -antimagic total labeling of (a,d)-antimagic and (a,d)-face graph, submitted. Martin Baca, Antimagic labellings of antiprism, *JCMCC* 35, (2000), 217-224.
- M. Baca, S. Jendrol, M. Miller, J. Ryan, *On Irregular Total Labellings*, submitted (2001).
- N. Harsfield dan G. Ringel, *Pearls in graph theory*, Academic Press, New York, 1990.
- R. L. Graham and N.J.A. Sloane, On additive bases and harmonious graph, *SIAM J. Alg. Discrete Math.*, 1 (1980) 382-404.
- W.D. Wallis, E.T. Baskoro, M. Miller dan Slamin, Edge-magic total labellings, *Australian J. of Comb.*

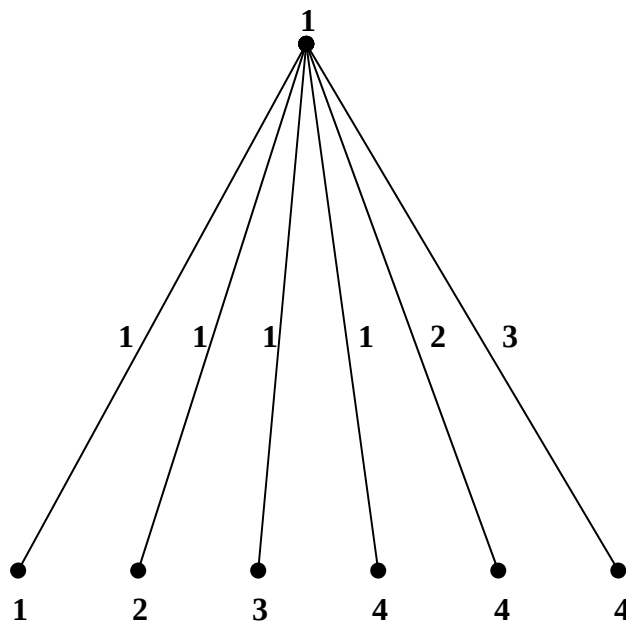
DAFTAR GAMBAR

Pelabelan total sisi tak beraturan oleh Baca[10] untuk $K_{1,6}$ dengan $tes(K_{1,6}) = 4$.



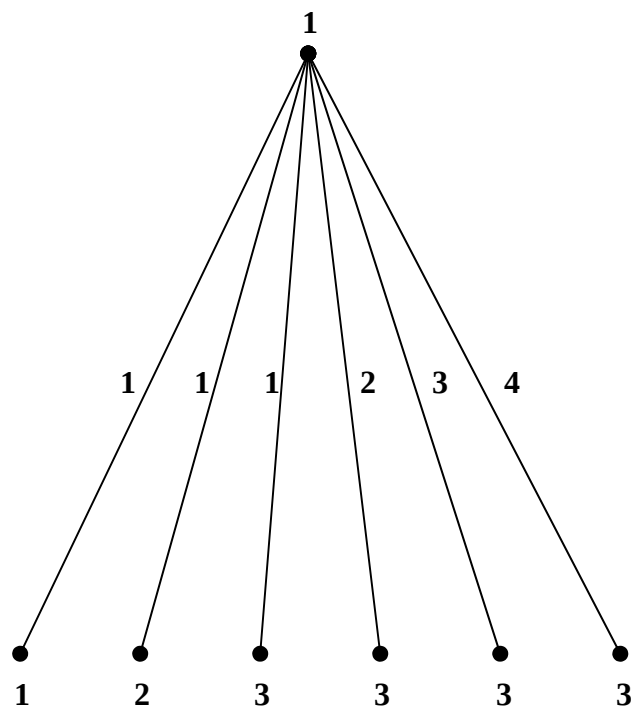
Gambar 1. Pelabelan Graf $K_{1,6}$

Untuk graf yang sama Asmiati dan Junaidi Akmal[2] memperoleh cara lain melabeli pelabelan total sisi tak beraturan dengan $tes(K_{1,6}) = 4$.



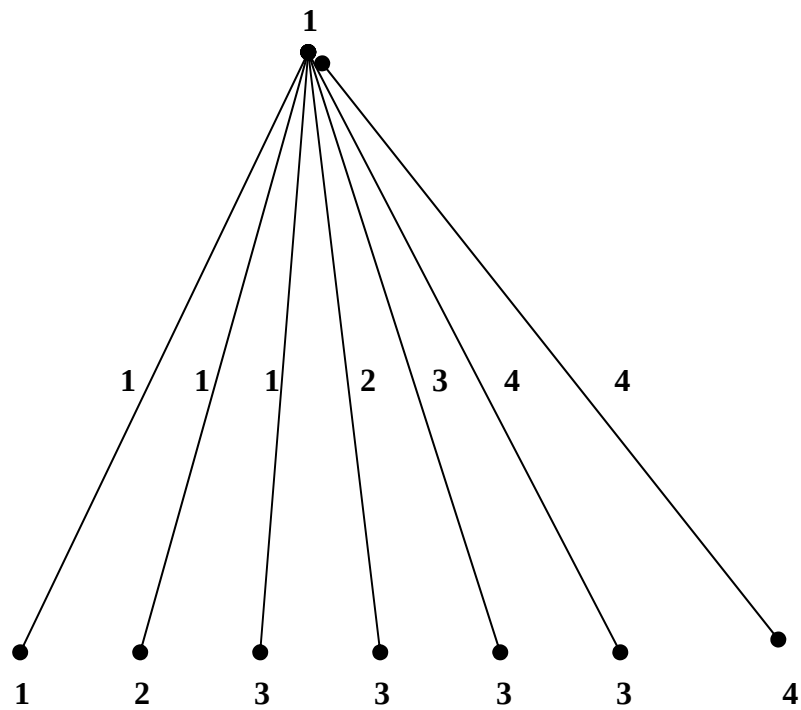
Gambar 2. Pelabelan Graf $K_{1,6}$ yang lain

Hasil utama pelabelan total sisi tak beraturan pada graf bintang $K_{1,6}$ dengan $tes(K_{1,6}) = 4$



Gambar 3. $Tes(K_{1,6}) = 4$ pelabelan hasil utama

Pelabelan Total Sisi Tak Beraturan pada graf bintang $K_{1,7}$



Gambar 4. $Tes(K_{1,7}) = 4$

WAKTU OPTIMAL PEMBERSIHAN TERAK PADA MULTIPASS WELDING BAJA AISI 1020

SUGIANTO *) TARKONO **)

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unila

**) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unila

ABSTRAK

Pengelasan baja karbon rendah menggunakan las busur listrik elektroda terlindung (SMAW) dengan metode *multipass welding* akan menimbulkan terak. Terak berfungsi mencegah terjadinya oksidasi pada logam las, terak bersifat rapuh dan harus dibersihkan. Biasanya terak dibersihkan dari permukaan las pada saat terak sudah terbentuk dan mengering pada permukaan las namun belum ada ketetapan yang mengatur waktu kapan terak dibersihkan dari permukaan las secara pasti/baku.

Pada proses pengelasan, spesimen uji tarik baja karbon rendah (AISI 1020) yang telah dibuat kampuh las tumpul (*butt weld joint*) beralur V tunggal dilas menggunakan las SMAW dengan metode *multipass welding*. Terak yang terbentuk pada setiap lapisnya dibersihkan dengan variasi waktu pembersihan: beberapa saat setelah pengelasan (kurang 0.5 menit), 1, 2, 3, 4, dan 5 menit setelah pengelasan.

Hasil pengujian tarik menunjukkan kenaikan kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan perpanjangan seiring dengan bertambahnya waktu pembersihan terak. Pada waktu pembersihan terak 3 menit tegangan tarik dan perpanjangan berada pada nilai terbesar yaitu 560.885 MPa dan 29.88 %, sedangkan tegangan luluh pada waktu ini adalah 379.534 MPa. Pada waktu pembersihan terak 4 menit tegangan luluh berada pada nilai terbesar yaitu 421.268 MPa, sedangkan tegangan tarik dan perpanjangan pada waktu ini adalah 548.189 MPa dan 25.98 %. Waktu optimal pembersihan terak dari permukaan las yang dilakukan di udara bebas adalah pada rentang waktu 3 sampai 4 menit setelah pengelasan.

Kata kunci : waktu pembersihan terak, kekuatan tarik, mikrostruktur.

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Sampai saat ini pengelasan merupakan pelaksanaan pengerjaan yang sangat penting dalam teknologi produksi dengan bahan baku logam. Dari perkembangannya yang pesat telah banyak teknologi baru yang ditemukan, sehingga boleh dikatakan tidak ada logam yang tidak dapat dilas dengan cara-cara yang ada pada saat ini. Salah satu baja yang banyak digunakan dalam pengelasan adalah baja karbon rendah.

Pengelasan baja karbon rendah dengan menggunakan las busur listrik elektroda terlindung (SMAW) dengan prosedur *multipass welding* biasanya akan menimbulkan terak. Terak (*slag*) merupakan sisa dari pencairan logam yang berupa kotoran besi dan logam lainnya. Terak mengandung oksida dari kalsium, silikon, aluminium, dan mangan, sejumlah kecil oksida besi, dan sulfur. Pada pengelasan SMAW, terak berfungsi menghalangi terjadinya oksidasi pada logam las [Wiryosumarto, 1996]. Namun setelah pengelasan selesai dilakukan, terak harus dibersihkan atau dihilangkan dari permukaan las. Pentingnya menghilangkan terak disebabkan karena terak bersifat rapuh dan bisa terjatuh pada daerah takik las (*undercut*) yang akan mengurangi kekuatan dari sambungan las tersebut (Carry, 1989).

Proses pembersihan membutuhkan keterampilan yang cukup dari *welder*. Hal ini bertujuan supaya tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan seperti retak pada logam las yang disebabkan *welder* ceroboh dalam membersihkan terak. Pembersihan terak dilakukan waktu pengelasan selesai dikerjakan oleh operator las (*welder*) dengan menggunakan palu dan sikat baja. Biasanya terak dibersihkan dari permukaan las pada saat terak sudah terbentuk dan mengering pada permukaan las namun belum ada ketetapan yang mengatur waktu kapan terak dibersihkan dari permukaan las secara pasti/baku. Kadang kala *welder* membersihkan terak sesaat setelah pengelasan, padahal terak berfungsi menghalangi terjadinya oksidasi saat suhu logam las masih tinggi. Namun ada lagi yang membersihkan terak beberapa saat setelah pengelasan. Atas dasar itu perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh waktu pembersihan terak sehingga nantinya bisa diketahui waktu optimal untuk melakukan pembersihan terak.

2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

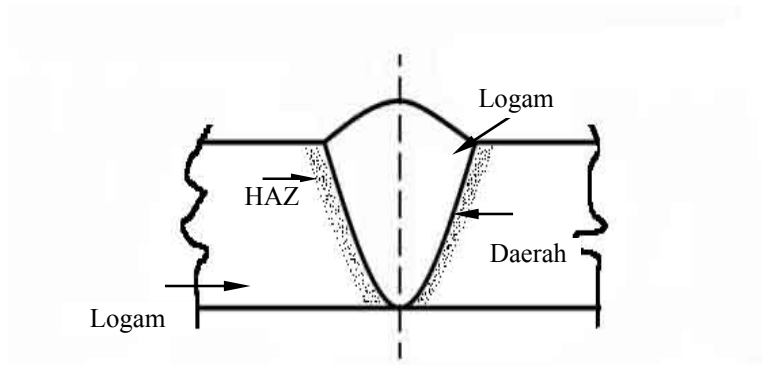
- a. Mengetahui pengaruh waktu pembersihan terak terhadap tegangan tarik, tegangan luluh, dan persentase perpanjangan hasil *multipass welding*.
- b. Mengetahui waktu optimal untuk mulai melakukan pembersihan terak pada *multipass welding*.

3. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pada waktu ini telah digunakan lebih dari 40 jenis pengelasan (Wiryosumarto, 1996). Berbagai metode atau cara pengelasan telah ditemukan untuk membuat proses pengelasan menghasilkan sambungan yang kuat dan efisien, salah satunya *multipass welding*. *Multipass welding* merupakan metode atau cara pengelasan dimana material yang akan

dilas diisi dengan *filler metal* dua kali atau lebih (ASM Handbook, 1998). Pengelasan memberi keuntungan baik itu dalam aspek komersil maupun teknologi (Groover, 1996).

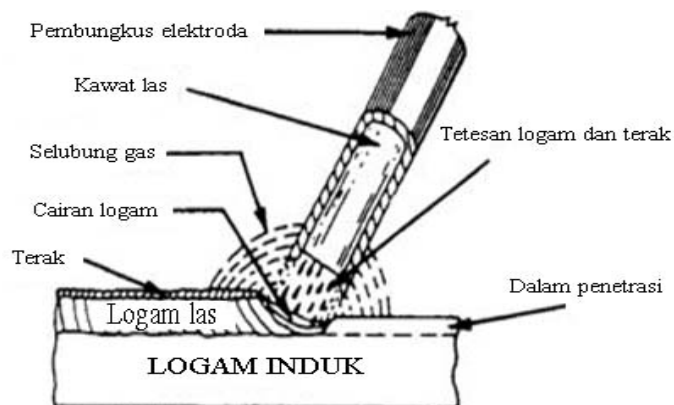
Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Daerah lasan

- Logam induk (*base metal*), merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan tidak terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
- Logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
- Daerah pengaruh panas atau *heat effected zone* (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat (Wiryosumarto, 1996).

Las busur listrik elektroda terlindung atau lebih dikenal SMAW (*shield metal arc welding*) merupakan pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk seperti ditunjukkan pada gambar 2. Karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama (Wiryosumarto, 1996).



Gambar 2. Las busur listrik elektroda terlindung (SMAW)

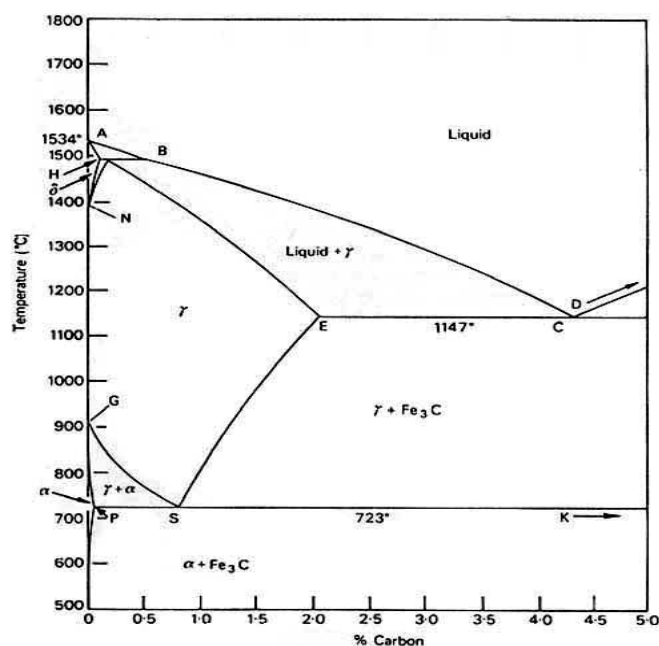
Prinsip kerja las busur listrik elektroda terlindung yaitu dimulai ketika nyala api elektrik menyentuh ujung elektroda dengan benda kerja, skema las SMAW seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Dua logam yang konduktif jika dialiri arus listrik dengan tegangan yang relatif rendah akan menghasilkan loncatan elektron yang menimbulkan panas yang sangat tinggi, dapat mencapai 5000°C yang dapat mencairkan kedua logam tersebut.

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya dibagi dengan sambungan tumpul (*butt-joint*), sambungan T (*T-joint*), sambungan sudut (*fillet-joint*) dan sambungan tumpang (*lap-joint*). Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut di atas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi seperti pada gambar 4 (Wiryosumarto, 1996).

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Wiryosumarto, 1996).

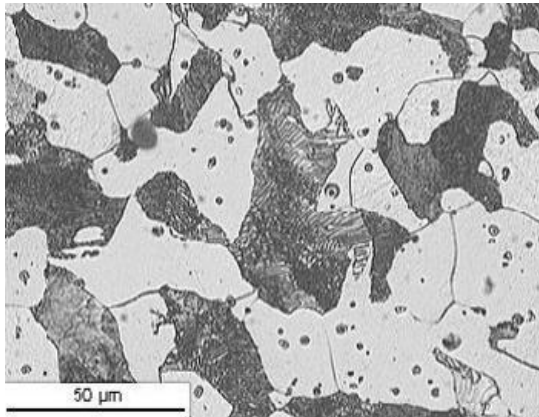
Untuk mengetahui perubahan fasa pada baja karbon dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram fasa besi-karbon, seperti ditunjukkan pada gambar 5.

Diagram tersebut didasarkan pada transformasi yang terjadi sebagai hasil pemanasan dan pendinginan yang lambat. Besar kecilnya penurunan temperatur dipengaruhi oleh cepat atau lambatnya laju pendinginan. Fasa-fasa yang terdapat pada diagram tersebut antara lain austenit, ferrit, perlit, cementit, dan sebagainya (Gowelding, 2002).



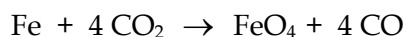
Gambar 5. Diagram fasa besi-karbon.

Baja karbon rendah yang didinginkan secara lambat umumnya memiliki struktur mikro perlit dan ferrit seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Pada gambar 6 daerah yang terang menunjukkan struktur mikro dari ferrit, daerah yang gelap merupakan perlit, dan titik-titik kecil pada butir ferrit merupakan kotoran seperti oksida dan sulfida. Perlit merupakan campuran dari ferrit dan besi carbida (cementit). Struktur mikro ini akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik dari baja. Mengurangi ukuran butir dan mengurangi jumlah perlit akan meningkatkan kekuatan, *ductility*, dan ketangguhan baja (Gowelding, 2002).



Gambar 6. Struktur mikro baja karbon rendah yang didinginkan secara lambat.

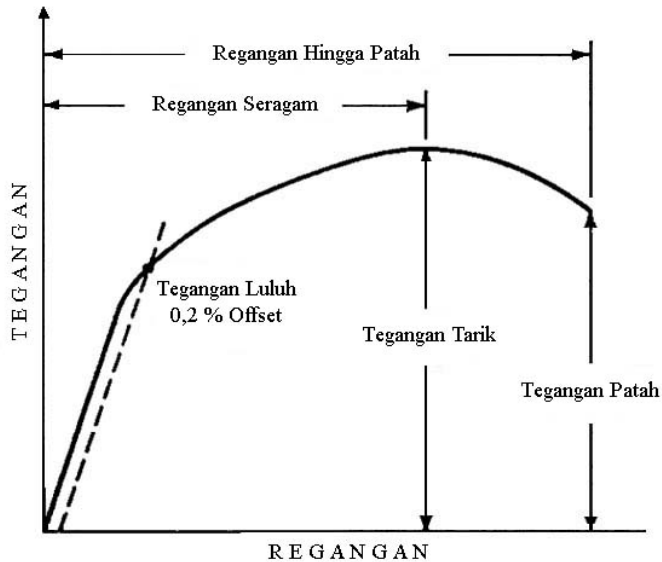
Proses oksidasi melibatkan reaksi kimia antara permukaan logam kering dengan gas oksidasi (gas yang mengandung oksigen) yang menghasilkan selaput oksida padat pada permukaan logam kering (Smallman, 1991). Oksidasi sering terjadi pada penggunaan logam dan paduan pada temperatur tinggi di udara bebas, termasuk pengelasan. Perilaku oksidasi baja lunak dan baja paduan rendah dalam lingkungan CO₂ (bercampur dengan sedikit CO dan uap air) akan menghasilkan kerak oksida FeO₄ seperti pada reaksi di bawah ini.



Laju oksidasi tergantung pada penambahan unsur paduan. Penambahan paduan yang bervalensi rendah seperti logam transisi akan mengurangi jumlah elektron dan dengan demikian meningkatkan konsentrasi lubang serta menurunkan konsentrasi kekosongan, sehingga laju oksidasinya turun. Sebaliknya, penambahan unsur paduan yang bervalensi tinggi akan meningkatkan laju oksidasi (Smallman, 1991).

Kadar oksigen dalam baja tergantung pada kadar paduannya seperti Si dan Mn. Sedangkan pada pengelasan, kadar oksigen tergantung dari fluks yang digunakan. Oksidasi akan mempengaruhi ketangguhan dan kekuatan logam las dan membuat logam las rapuh, ketangguhan dan kekuatan logam las akan turun dengan naiknya kadar oksigen pada logam las tersebut (Wiryosumarto, 1999).

Kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji. Secara skematik hasil pengujian tarik dapat digambarkan dalam kurva tegangan-regangan (*stress-strain curve*) seperti pada gambar 8. Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan spesimen uji adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas (Dieter, 1996)



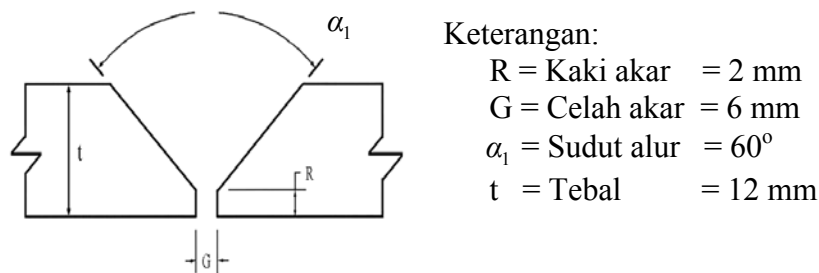
Gambar 8. Kurva tegangan-regangan.

Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastis menjadi plastik yang berlangsung sedikit demi sedikit, dan dimana deformasi plastik mulai terjadi dan sukar ditentukan secara teliti. Tegangan luluh, biasanya didefinisikan sebagai tegangan luluh offset, adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Tegangan luluh offset ditentukan dengan mengukur perpotongan antara kurva tegangan-regangan dengan garis sejajar dengan elastis offset regangan tertentu, pada umumnya garis offset diambil sebesar 0,2 % atau 0,1 % (Dieter, 1996).

METODOLOGI PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah (*AISI 1020*) dengan ketebalan 12 mm (ketebalan yang banyak dijual di pasaran). Baja karbon rendah merupakan material yang aplikasinya cukup luas seperti untuk konstruksi bangunan, rangka baja, jembatan dan digunakan pada kendaraan

Jenis kampuh las yang digunakan adalah sambungan las tumpul (*butt weld joint*) dengan alur berbentuk V tunggal seperti yang ditunjukkan dalam gambar 9.



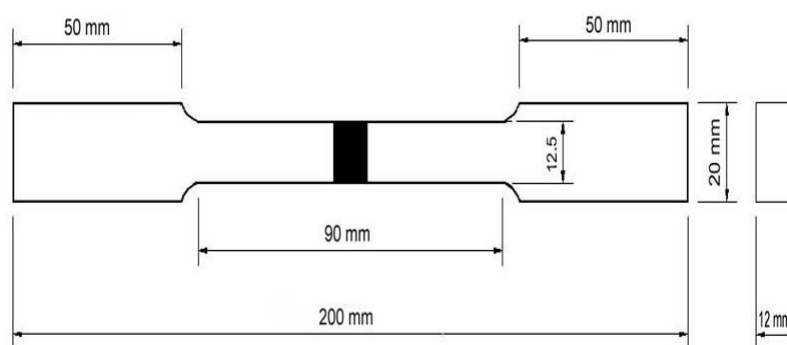
Gambar 9. Bentuk dan ukuran sambungan las tumpul dengan alur V tunggal.

Ukuran alur pada gambar 9 (alur V tunggal) diambil dari rekomendasi JSSC-1977 (*Japan society of steel construction*) tentang persiapan sisi untuk pengelasan baja dengan busur listrik. Pembuatan kampuh dilakukan dengan cara baja karbon rendah dipotong dengan mesin gergaji dan mesin sekrap sesuai dengan ukuran dan bentuknya.

Jenis las yang digunakan adalah las busur listrik elektroda terlindung (SMAW) dengan cara *multipass welding*. Sebelum pengelasan dimulai logam induk harus dibersihkan dari kotoran seperti debu, minyak dan gemuk, karat, air dan lain sebagainya supaya tidak terjadi cacat las. Selanjutnya baja dilas dengan las SMAW. Setelah pengelasan lapis pertama selesai, terak yang terbentuk dibersihkan dengan palu dan sikat baja, baru selanjutnya dilas dan teraknya dibersihkan lagi. Pengelasan dilakukan sampai kampuh lasnya penuh

Untuk penelitian ini, waktu pembersihan terak divariasikan yaitu beberapa saat setelah pengelasan (kurang 0.5 menit), satu (1) menit, dua (2) menit, tiga (3) menit, empat (4) menit dan lima (5) menit. Untuk mengukur waktunya digunakan *stopwatch*.

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan tahap selanjutnya adalah pembuatan spesimen uji tarik sesuai standar. Standar yang digunakan yaitu standar ASTM E-8 mengenai spesimen uji tarik untuk material logam seperti yang ditunjukkan pada gambar 17. Dalam gambar 17 menunjukkan panjang awal spesimen uji (L_0) adalah 90 mm, lebar awal (W_0) adalah 12,5 mm dan panjang keseluruhan spesimen uji adalah 200 mm.



Gambar 10. Spesimen uji tarik (standar ASTM E-8)

Untuk spesimen foto mikro, baja dipotong sesuai kebutuhan pada daerah yang diprediksi sebagai daerah *HAZ*. Kemudian baja tersebut dimasukkan ke dalam cetakan untuk dicetak dan dicampur dengan resin. Tujuan pencetakan adalah supaya baja bisa diampelas secara bersamaan pada mesin amplas.

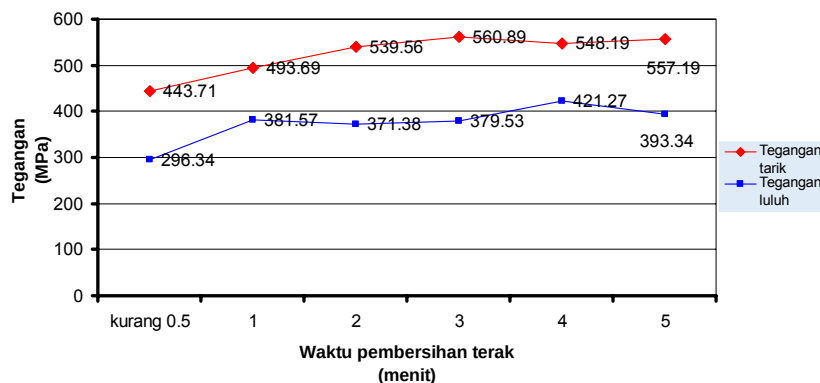
Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik dan foto mikro. Uji tarik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan spesimen uji dan foto mikro bertujuan untuk melihat struktur mikro yang terjadi pada daerah *HAZ*. Pengujian tarik yang dilakukan kepada spesimen uji harus sesuai standar yang digunakan yaitu *ASTM E-8*. Standar ini memberikan ukuran spesimen uji berupa lebar awal (W_0), panjang awal spesimen uji (L_0) dan panjang keseluruhan spesimen uji.

Spesimen foto mikro yang sudah disiapkan diampelas dengan menggunakan mesin amplas sampai halus, proses ini membutuhkan ketelitian dan kesabaran supaya spesimen yang akan difoto benar-benar halus. Setelah permukaan spesimen halus, permukaannya dietsa dan dicuci untuk menghilangkan kotoran yang ada pada permukaan kemudian dikeringkan. Setelah itu spesimen diletakkan pada meja mikroskop kemudian difoto untuk mendapatkan gambar struktur mikro permukaan daerah *HAZ*.

HASIL dan PEMBAHASAN

Dari data pengujian menunjukkan bahwa semakin cepat terak dibersihkan dari permukaan logam las maka kekuatan dan keuletan hasil lasan tersebut cenderung turun. Hal ini disebabkan karena waktu pembersihan terak yang cepat, pada saat temperatur logam las masih tinggi, akan menyebabkan proses oksidasi lebih cepat terjadi pada logam las. Logam yang mengandung oksigen cukup banyak bersifat rapuh, atau ketangguhan dan kekuatan logam las akan turun dengan naiknya kadar oksigen pada logam las tersebut.

Hubungan antara tegangan tarik dan tegangan luluh dengan waktu pembersihan terak yang terjadi pada spesimen uji tarik yang telah dilas dengan metode *multipass welding*, dimana saat proses pengelasan waktu pembersihan terak divariasikan.

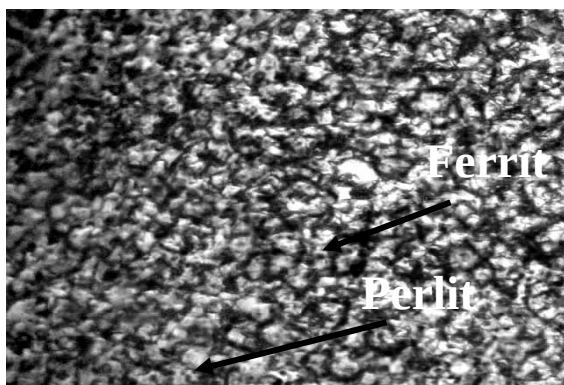


Gambar 11. Hubungan tegangan tarik dan tegangan luluh dengan waktu pembersihan terak.

Pada gambar 11 menunjukkan tegangan tarik cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu pembersihan terak (sampai waktu pembersihan terak 3 menit setelah pengelasan). Pada waktu pembersihan terak kurang 0.5 menit dengan tegangan tarik yaitu 443.714 MPa yang merupakan tegangan tarik terkecil cenderung meningkat sampai waktu pembersihan terak 3 menit yang memiliki tegangan tarik yaitu 560.885 MPa yang merupakan tegangan tarik terbesar. Kenaikan yang terjadi yaitu sebesar 117.171 MPa atau meningkat 20.89 %. Namun setelah waktu pembersihan terak 3 menit (4 dan 5 menit), tegangan tarik cenderung stabil walaupun waktu pembersihan teraknya bertambah.

Hal ini disebabkan semakin cepat membersihkan terak dari permukaan las atau temperatur logam las masih tinggi, oksidasi akan berlangsung cepat pada logam las. Oksigen akan membentuk butiran oksida dalam logam las dan akan menurunkan kekuatan dan keuletan dari logam tersebut. Pada waktu pembersihan terak 3 menit dan setelahnya, terak sudah terbentuk dan mengering di atas permukaan lasan sehingga terak yang terbentuk tersebut bisa melindungi/menghalangi logam las dari pengaruh oksidasi. Namun laju pendinginan yang terjadi pada logam las untuk waktu pembersihan terak 4 dan 5 menit berlangsung lebih lambat dari waktu pembersihan 3 menit karena adanya terak tadi. Pada laju pendinginan yang lambat (waktu pembersihan terak 4 dan 5 menit), kekuatan dan kekerasan dari logam las menurun. Hal ini disebabkan struktur mikro yang terbentuk berupa ferrit dan perlit yang lebih kasar dan lunak dari struktur mikro yang terbentuk pada waktu pembersihan terak 3 menit.

Pada waktu pembersihan terak 3 menit yang laju pendinginannya lebih cepat dari waktu pembersihan terak 4 dan 5 menit, pada umumnya kesempatan membentuk ferrit akan lebih kecil sehingga ferrit yang terjadi akan lebih sedikit dan perlit yang terbentuk lebih banyak. Gambar 20 memperlihatkan struktur mikro yang terjadi pada waktu pembersihan 3 menit. Pada gambar tersebut tampak ferrit (putih) tidak terlalu banyak sedangkan perlit (gelap/hitam) yang terbentuk lebih banyak.

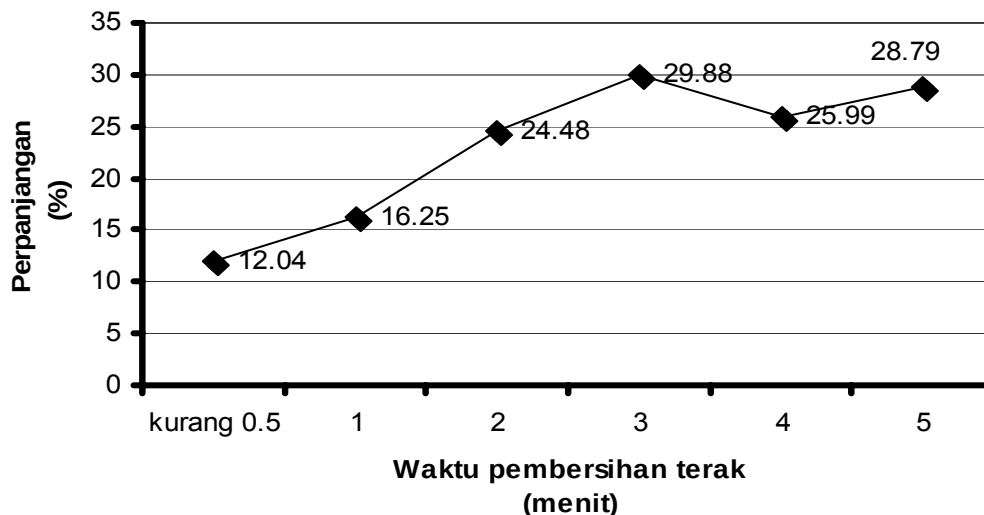


Gambar 12. Hasil foto mikro pada daerah HAZ dengan pembesaran 200 kali untuk waktu pembersihan terak 3 menit.

Selain itu pada laju pendinginan yang cepat (pada waktu pembersihan terak 3 menit) juga akan menyebabkan lamel sementit pada perlit menjadi lebih tipis, jarak antar lamel lebih tipis, perlit menjadi lebih halus sehingga menjadikannya lebih kuat dan keras dari laju pendinginan lambat (waktu pembersihan terak 4 dan 5 menit).

Sama halnya dengan tegangan tarik, tegangan luluh cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu pembersihan terak seperti yang ditunjukkan pada gambar 19. Pada waktu pembersihan terak kurang 0.5 menit dengan tegangan luluh sebesar 296.341 MPa yang merupakan tegangan luluh terkecil cenderung meningkat sampai waktu pembersihan terak 4 menit yang memiliki tegangan luluh sebesar 421.268 MPa yang merupakan tegangan luluh terbesar. Kenaikan yang terjadi sebesar 124.927 MPa atau 29.65 %. Setelah waktu pembersihan 4 menit tegangan luluhnya turun. Sama halnya yang terjadi pada tegangan tarik, pengaruh oksidasi dan laju pendinginan juga mempengaruhi nilai dari tegangan luluh.

Gambar 21 merupakan grafik hubungan perpanjangan dengan waktu pembersihan terak. Perpanjangan terkecil terjadi pada waktu pembersihan terak kurang 0.5 menit yaitu 12.04 %. Perpanjangan cenderung meningkat sampai waktu pembersihan terak 3 menit yaitu 29.88 % yang merupakan persentase perpanjangan terbesar. Kenaikan yang terjadi yaitu sebesar 17.84 atau 59.70 %. Sedangkan perpanjangan yang terjadi pada waktu pembersihan terak 4 dan 5 menit mengalami penurunan dan kenaikan.



Gambar 13. Hubungan perpanjangan dan waktu pembersihan terak

Ini berarti semakin bertambah waktu pembersihan terak (sampai waktu 3 menit setelah pengelasan) maka perpanjangan yang terjadi semakin besar. Hal ini disebabkan semakin cepat membersihkan terak dari permukaan las atau temperatur logam las masih tinggi, oksidasi akan berlangsung cepat pada logam las. Oksigen akan

membentuk butiran oksida dalam logam las dan akan menurunkan perpanjangan dari logam las tersebut. Pada waktu pembersihan terak 3 menit dan setelahnya, terak sudah terbentuk dan mengering di atas permukaan lasan sehingga terak yang terbentuk tersebut bisa melindungi/menghalangi logam las dari pengaruh oksidasi. Namun laju pendinginan yang terjadi pada logam las untuk waktu pembersihan terak 4 dan 5 menit berlangsung lebih lambat dari waktu pembersihan 3 menit karena adanya terak tadi.

Untuk melihat struktur mikro yang terjadi pada proses pengelasan, perlu dilakukan foto mikro. Gambar 20 di atas merupakan hasil foto mikro yang terjadi di daerah HAZ. Daerah HAZ merupakan daerah logam induk yang mengalami perubahan struktur mikro pada saat proses pengelasan karena adanya panas yang terjadi pada saat pengelasan. Panas yang diterima daerah HAZ besarnya tidak jauh berbeda dengan logam las hanya saja daerah HAZ tidak mencair seperti logam las. Untuk semua hasil foto mikro disajikan pada lampiran.

KESIMPULAN

Semakin bertambah waktu pembersihan terak maka nilai tegangan tarik dan tegangan luluh akan meningkat namun setelah waktu pembersihan terak 3 menit nilai tegangan tarik dan perpanjangan mulai konstan. Besar peningkatan yang terjadi dari nilai terkecil sampai nilai terbesar adalah: untuk tegangan tarik yaitu 117.171 MPa atau meningkat 20.89 %, dan untuk tegangan luluh yaitu 124.927 MPa atau meningkat 29.65 %.

Pada waktu pembersihan terak 3 menit tegangan tarik dan perpanjangan berada pada nilai terbesar yaitu 560.885 MPa dan 29.88 %, sedangkan tegangan luluh yaitu 379.534 MPa. Pada waktu pembersihan terak 4 menit tegangan luluh berada pada nilai terbesar yaitu 421.268 MPa, sedangkan tegangan tarik dan perpanjangan yaitu 548.189 MPa dan 25.98 %.

Waktu optimal pembersihan terak dari permukaan las yang dilakukan di udara bebas adalah pada rentang waktu 3 sampai 4 menit setelah pengelasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Carry, H. B. 1989. *"Modern Welding Technology - 2nd ed"*. Prentice - Hall. USA.
- Dieter, George E (Alih bahasa: Ir. Sriati Djaprie, M.E., M.Met). 1996. *"Metalurgi Mekanik - Edisi Ketiga"*. Penerbit Erlangga. Jakarta.

- Gowelding. 2002. *"The Metallurgy Of Carbon Steel"*.
<http://www.gowelding.com/met/carbon.htm>, akses: 17
februari 2007.
- Groover, Mikell P. 1996. *"Fundamentals of Modern Manufacturing"*.
Prentice - Hall. USA.
- Sack, Raymond J. 1997. *"Welding: Principles and Prantices"*. Mc Graw
Hill. USA.
- Schaffer, James P. 1999. *"The Science and Design of Engineering
Materials"*. Mc Graw Hill. USA.
- Smallman, R.E. 1991. *"Metalurgi Fisik Modern - Edisi Keempat"*. PT
Gramedia. Jakarta.
- Wiryosumarto, H dan Okumura, T. 1996. *"Teknologi Pengelasan
Logam"*. Paradnya Paramita. Jakarta.
- _____, 1997. *"ASM Handbook (Welding, Brazing, and Soldering -
Volume 6)"*. ASM International. USA.

PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI KELAPA SAWIT UNTUK BAHAN BAKU KOMPOSIT PARTIKEL

TARKONO

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unila

ABSTRAK

Tempurung kelapa sawit sebagai salah satu limbah agroindustri, biasanya hanya dibuang begitu saja di sekitar sarana transportasi pabrik (sebagai pengeras jalan). Untuk memberikan nilai tambah (*added value*) pada tempurung tersebut, maka tempurung kelapa sawit diolah dengan mencampurkannya dengan resin poliester sehingga menghasilkan material baru.

Komposit adalah gabungan antara bahan matriks dan penguat. Limbah tempurung kelapa sawit digunakan sebagai bahan penguat dan resin sebagai matriks. Perbandingan volume resin dan tempurung kelapa sawit adalah 60 : 40. Tempurung kelapa sawit dipecahkan dan disaring menjadi 5 variasi ukuran partikel, yaitu < 0,15 mm; 0,15 mm-0,3 mm; 0,3 mm-0,6 mm; 0,6 mm-1,18mm; dan 1,18 mm-2,36 mm. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik mekanik dari lima jenis variasi ukuran partikel tempurung kelapa sawit pada komposit berdasarkan dua jenis pengujian yaitu, uji tarik dan uji kekerasan.

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan bahwa ukuran partikel tempurung kelapa sawit yang semakin kecil dapat meningkatkan nilai karakteristik mekaniknya. Kekuatan tarik tertinggi yaitu 21,28 N/mm² pada komposit dengan ukuran partikel terkecil (< 0,15mm). Dengan demikian ukuran partikel < 0,15mm merupakan ukuran partikel terbaik.

Kata kunci: limbah kelapa sawit, komposit, ukuran partikel, kekuatan tarik

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Kelapa sawit adalah salah satu komoditi andalan Indonesia yang perkembangannya demikian pesat. Selain produksi minyak kelapa sawit yang tinggi, tentu saja produk samping atau limbah pabrik kelapa sawit juga tinggi. Secara umum limbah dari pabrik kelapa sawit terdiri atas dua macam yaitu limbah cair dan padat. Pada umumnya limbah cair industri kelapa sawit mengandung bahan organik yang tinggi sehingga potensial mencemari air tanah. Sedangkan limbah padat pabrik kelapa sawit dikelompokkan menjadi dua yaitu limbah yang berasal dari pengolahan dan yang berasal dari basis pengolahan limbah cair. Limbah padat yang berasal dari proses pengolahan berupa cangkang atau tempurung, serabut atau serat, dan bungkil. Limbah padat yang berasal dari pengolahan limbah cair berupa lumpur aktif yang terbawa oleh hasil pengolahan air limbah (Rohmadi, 2006).

Secara nasional terdapat sekitar 205 Pabrik Kelapa Sawit di Indonesia dimana sekitar 86 persen berada di luar Jawa. Produksi tandan buah segar tahun 2004 mencapai 53,8 juta ton dan limbah padat organik sebesar 12,4 juta. Setiap hektar kebun kelapa sawit rata-rata menghasilkan 2-5 ton tempurung per tahun. Sampai saat ini tempurung kelapa sawit hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk boiler dan bahan pengeras jalan sebagai pengganti sirtu (campuran pasir dan batu), padahal masih tersisa banyak dan belum termanfaatkan secara optimal. Alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk mengolah tempurung sebagai limbah padat kelapa sawit yang paling sederhana adalah menjadikannya briket arang sehingga dapat digunakan secara luas. Caranya dengan pemadatan melalui pembriketan, pengeringan, dan pengarangan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit telah berhasil merancang bangun paket teknologi untuk produksi briket arang ini. Keunggulan produk arang ini antara lain permukaannya yang halus dan tidak meninggalkan warna hitam bila dipegang (Goenadi, 2006).

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah padat kelapa sawit sebagai material penguat komposit telah dilakukan, hanya saja bahan bakunya berupa serat dari daging buah dan tandan kelapa sawit (BATAN, 2003). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan tempurung kelapa sawit dalam bentuk partikel sebagai bahan penguat komposit. Dan diharapkan hasil akhir penelitian ini dapat menjadi material alternatif yang baru dan bermanfaat.

2. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh ukuran partikel terhadap sifat mekanik komposit yang diperkuat partikel tempurung kelapa sawit.
2. Mendapatkan ukuran partikel terbaik pada komposit partikel tempurung kelapa sawit-resin poliester.

3. Tinjauan Pustaka

Kelapa sawit termasuk tumbuhan pohon. Bunga dan buahnya berupa tandan, bercabang banyak. Gambar 1 menunjukkan penampang melintang buah kelapa sawit. Daging dan kulit buahnya mengandung minyak. Minyaknya itu digunakan sebagai bahan baku dalam industri minyak goreng, sabun, dan lilin. Ampas yang disebut bungkil itu digunakan sebagai salah satu bahan pembuatan makanan ayam. Tempurungnya seringkali digunakan sebagai bahan bakar dan arang aktif. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan di PTP II Sumatra Utara menunjukkan limbah ini mampu membangkitkan listrik sebesar 2000 – 5000 kW (Satyawibawa, 1992).

Tempurung kelapa sawit memiliki kekerasan yang baik karena memiliki kadar karbon yang tinggi. Biasanya jalur transportasi di

sekitar industri kelapa sawit menggunakan tempurung tersebut sebagai bahan pengeras jalan.



Gambar 1. Penampang melintang buah kelapa sawit

Secara umum definisi daripada komposit adalah bahan yang terbuat dari bagian-bagian atau material yang berbeda. Komposit terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan utama membentuk matrik dimana bahan penguat ditanamkan di dalamnya. Bahan penguat dapat berbentuk serat, partikel, serpihan atau juga dapat berbentuk yang lain (Gürdal, 1999).

Berdasarkan bahan matriknya komposit dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis (Groover, 1996) yaitu :

1. *Metal Matrix Composites* (MMCs).
2. *Ceramic Matrix Composites* (CMCs).
3. *Polymer Matrix Composites* (PMCs).

Dari bentuk terjadinya, komposit dapat dikelompokkan menjadi 4 bagian (Gürdal, 1999), lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2, yaitu :

1. Komposit Partikel
2. Komposit Serpihan (*Flake Composites*)
3. Komposit Serat (*Fibrous Composites*)
4. Komposit Laminat

Dalam pembuatan komposit partikel sangat penting untuk menghilangkan unsur udara dan air karena partikel yang berongga atau yang memiliki lubang udara kurang baik jika digunakan dalam campuran komposit. Adanya udara dan air pada sela-sela partikel dapat mengurangi kekuatan dan mengurangi ketahanan retak bahan (Surdia, 1999).

Dalam pembuatan sebuah komposit, matriks berfungsi sebagai pengikat bahan penguat, dan juga sebagai pelindung partikel dari kerusakan oleh faktor lingkungan. Beberapa bahan matriks dapat memberikan sifat-sifat yang diperlukan sebagai keliatan, dan ketangguhan. Pada penelitian ini matrik yang digunakan adalah

polimer termoset dengan jenis resin poliester tak jenuh (*unsaturated polyester resins*) komersil.

Sifat-sifat dari bahan resin poliester tak jenuh (Hyer, 1997), antara lain :

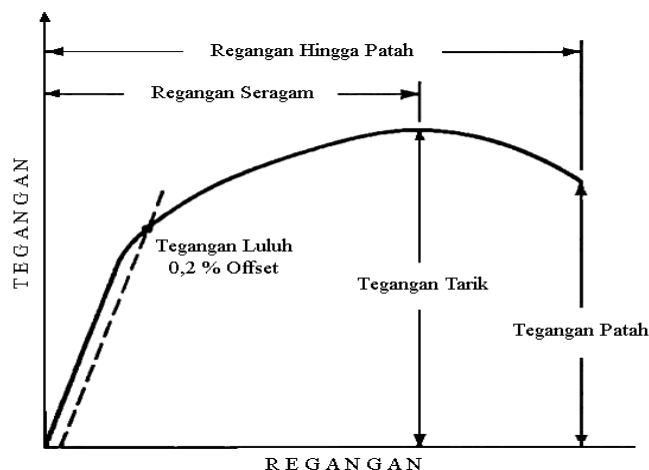
1. Penyusutan sedikit (saat *curing*).
2. Kuat *tensile*, tempaan dan puntir baik.
3. Tahan terhadap korosi.
4. Kemampuan terhadap cuaca baik (ketahanan dingin baik, tahan terhadap kelembaban dan sinar *UV*).
5. Bila dicelupkan air mendidih untuk waktu yang lama (300 jam), bahan akan retak atau pecah.

Ikatan antara matriks dengan bahan penguat sangat penting, karena beban yang diberikan pada komposit diteruskan ke bahan penguat. Oleh karena itu modulus elastisitas bahan penguat harus lebih tinggi daripada modulus elastisitas bahan matriksnya karena bahan penguat memikul beban komposit yang diteruskan dalam matriks (Vlack, 1991).

Pada umumnya bentuk bahan penguat dibedakan menjadi tiga macam (Groover, 1996), yaitu :

1. Serat
2. Partikel
3. Serpihan

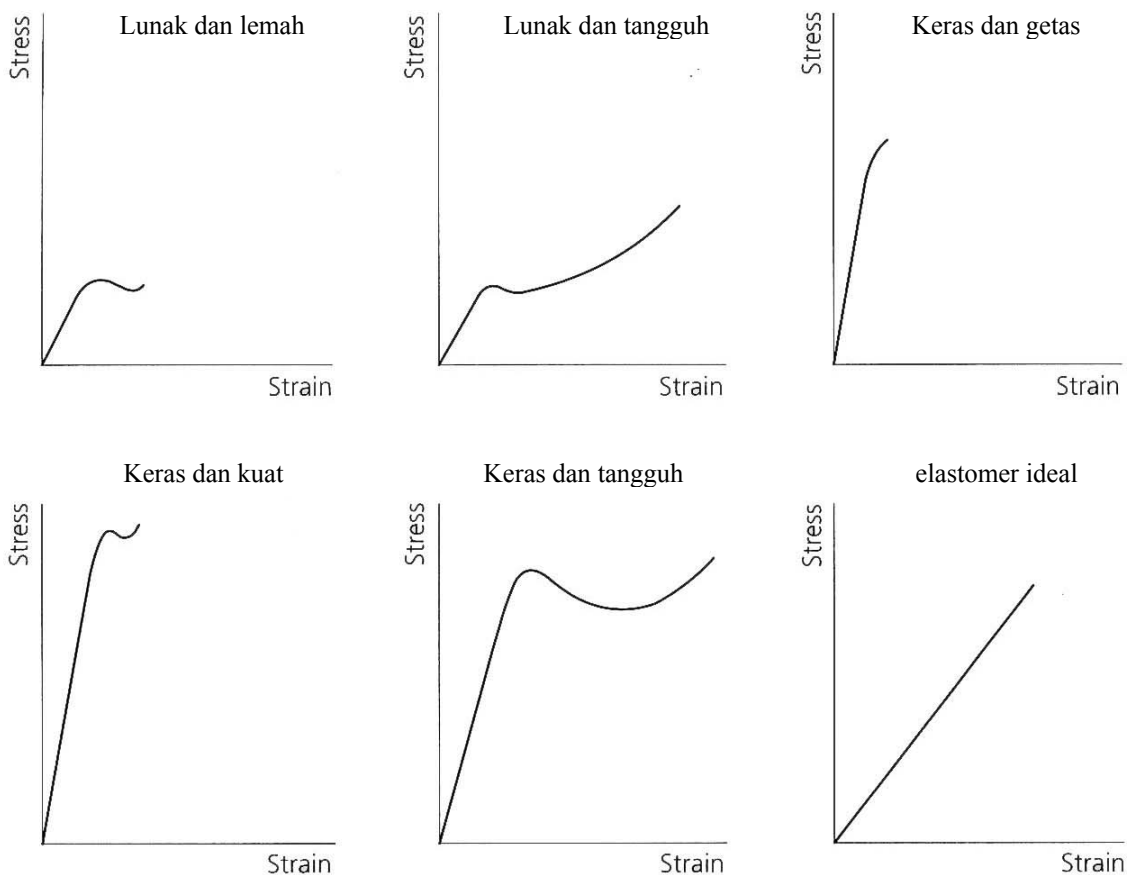
Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji. Secara skematik hasil pengujian tarik dapat digambarkan dalam kurva tegangan-regangan seperti pada gambar 2. Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan spesimen uji adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas (Timings, 1998).



Gambar 2. Kurva tegangan-regangan rekayasa.

Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastis menjadi plastik yang berlangsung sedikit demi sedikit, di mana titik awal saat terjadinya deformasi plastik sukar ditentukan secara teliti. Tegangan luluh, biasanya didefinisikan sebagai tegangan luluh offset, adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Tegangan luluh offset ditentukan dengan mengukur perpotongan antara kurva tegangan-regangan dengan garis sejajar dengan elastis offset regangan tertentu, pada umumnya garis offset diambil sebesar 0,2 % atau 0,1 % (Timings, 1998).

Pada umumnya sifat-sifat komposit dapat dilihat dari kurva tegangan-regangan yang dihasilkan, seperti dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sifat komposit pada uji tarik

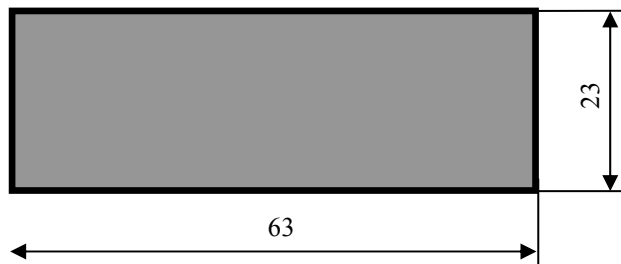
Kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk bertahan dari proses abrasi (gesekan) atau tekanan ke dalam (indentasi) oleh benda keras lain (Timings, 1998).

METODOLOGI

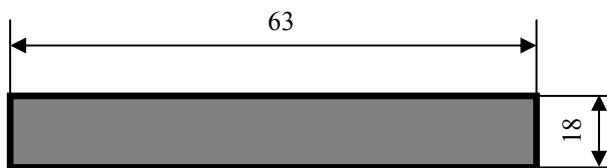
Bahan yang digunakan untuk cetakan ini adalah pelat seng, hal tersebut dikarenakan hasil cetakan tidak melekat pada pelat serta

kemudahan dalam proses pembentukannya. Cetakan spesimen dibuat satu persatu sebanyak 25 buah, dengan perincian 20 buah untuk uji tarik dan 5 buah untuk uji kekerasan. Geometri fisik untuk spesimen uji tarik (sesuai standar DIN 50125) adalah 160x30x5mm (panjang,lebar,tebal) dan untuk uji kekerasan 60x20x15mm.

Agar tidak terjadi kesalahan dalam pembuatan spesimen maka ukuran cetakan dibuat sedikit lebih besar yaitu sekitar 1-3 mm. Desain cetakan untuk uji kekerasan ditunjukkan pada gambar 4 dan untuk uji tarik ditunjukkan pada gambar 5.

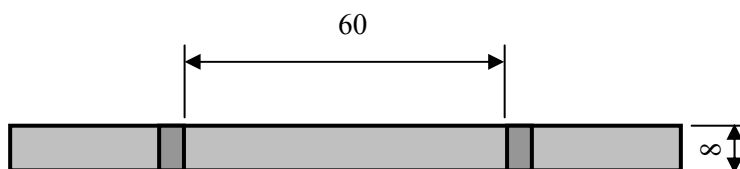


(a) Tampak Atas

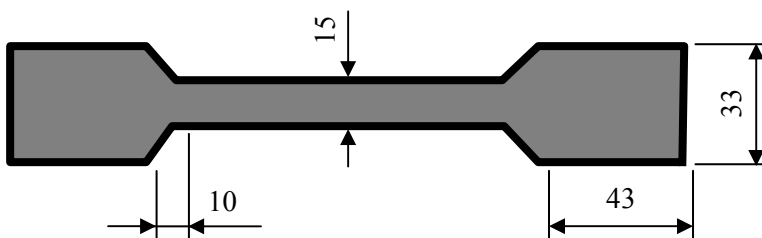


(b) Tampak Depan

Gambar 7. Cetakan spesimen uji kekerasan.



(a) Tampak Atas



(b) Tampak Depan

Gambar 4. Cetakan spesimen uji tarik.

Pembuatan komposit

a. Persiapan matriks

Untuk pembuatan matriks dilakukan dengan mencampurkan resin poliester tak jenuh dan katalis dengan komposisi perbandingan 50 : 1.

b. Persiapan Bahan Penguat

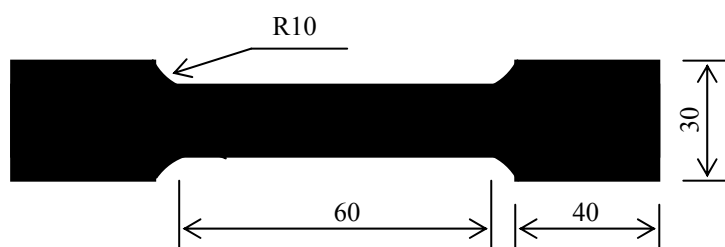
Bahan penguat yang digunakan adalah tempurung kelapa sawit limbah dari pemecahan buah kelapa sawit. Tempurung tersebut sebelumnya dihancurkan dengan palu dan tabung cetakan beton hingga menjadi partikel kecil. Kemudian partikel tersebut dihaluskan dengan menggunakan *blender*. Untuk mendapatkan partikel dengan ukuran tertentu maka tempurung yang telah dihancurkan kemudian diayak menggunakan ayakan/*mesh*.

Tabel 1. Ukuran partikel tempurung kelapa sawit

UKURAN partikel TEMPURUNG KELAPA SAWIT
2,36-4,75 milimeter (mm)
1,18-2,36 milimeter (mm)
0,6-1,18 milimeter (mm)
300-600 mikronmeter (μm)
150-300 mikronmeter (μm)
< 150 mikronmeter (μm)

Pembuatan spesimen

Setelah didapatkan variasi ukuran partikel *powder*, maka masing-masing *powder* dan resin dimasukkan ke dalam gelas ukur untuk mengukur perbandingan volumenya. Adapun nilai perbandingan volume campuran antara matriks dan bahan penguat pada penelitian ini adalah 60 : 40. Spesimen untuk uji tarik menggunakan standar DIN 50125, seperti ditunjukkan pada gambar 5.



(a) Tampak Depan



(b) Tampak Atas

Gambar 5. Spesimen uji tarik standar DIN 50125.

- c. Empat buah spesimen masing-masing untuk uji tarik.

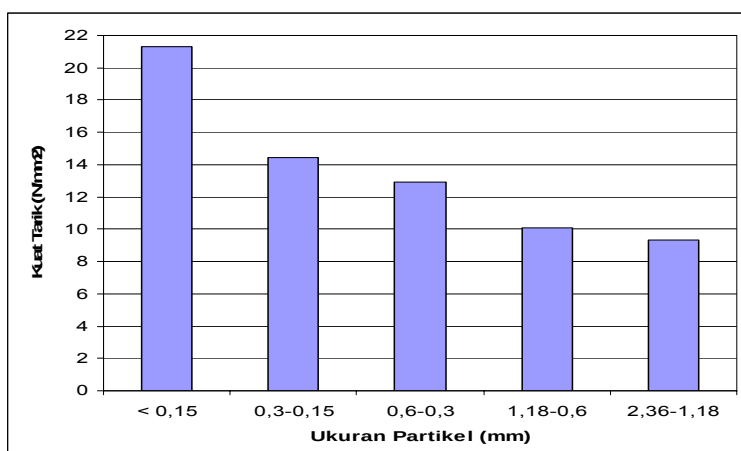
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian untuk masing-masing ukuran partikel termuat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji tarik dan perpanjangan

Ukuran Partikel (mm)	Rata-rata (N/mm ²)	Rata-rata (mm)
< 0,15	21,28	2,11
0,3-0,15	14,41	1,83
0,6-0,3	12,95	1,87
1,18-0,6	10,10	1,71
2,36-1,18	9,33	1,71

Untuk mempermudah dalam membandingkan kekuatan tarik pada setiap ukuran partikel dibuat grafik hubungan antara rata-rata kekuatan tarik dengan ukuran partikel dan untuk membandingkan perpanjangan pada setiap ukuran partikel dibuat grafik hubungan antara rata-rata perpanjangan dengan ukuran partikel.

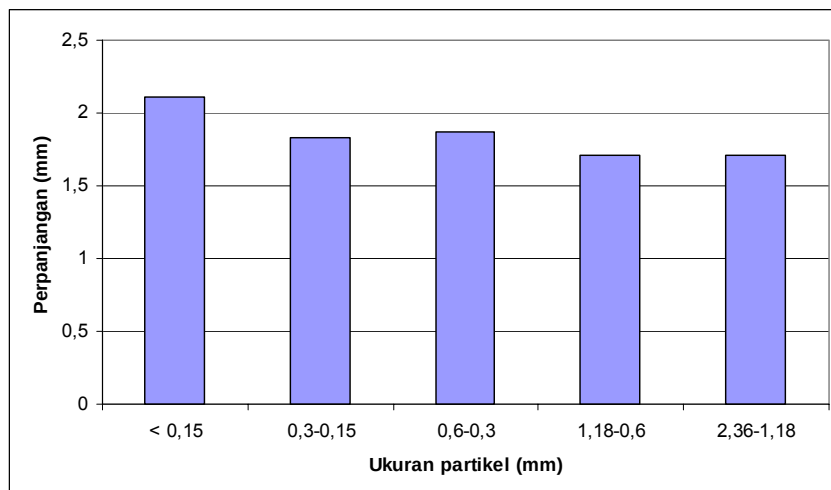


Gambar 6. Grafik hubungan antara kekuatan tarik dan ukuran partikel.

Pada gambar 6 dapat dilihat kekuatan tarik untuk ukuran partikel 2,36-1,18mm sebesar 9,33 N/mm². Untuk ukuran partikel 1,18-0,6mm kekuatan tariknya mengalami peningkatan, yakni sebesar 8,25% (menjadi 10,10 N/mm²). Peningkatan kekuatan tarik juga dialami komposit dengan variasi ukuran partikel selanjutnya hingga terakhir dengan kisaran nilai 11,24% - 47,67%. Kekuatan tarik tertinggi diantara kelima variasi ukuran partikel tersebut dimiliki oleh ukuran partikel yang terkecil (< 0,15 mm), yakni sebesar 21,28 N/mm². Sedangkan kekuatan tarik terkecilnya dimiliki ukuran partikel 2,36-1,18mm.

Grafik pada gambar 6 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel yang digunakan dalam membuat komposit, akan meningkatkan kekuatan tariknya. Distribusi beban yang terjadi pada komposit dengan ukuran partikel yang kecil lebih besar, sehingga dapat mengurangi nilai pembebanan yang terjadi pada tiap partikel. Selain itu, dengan semakin kecilnya ukuran partikel, maka dapat memperkecil porositas pada partikel itu sendiri.

Pada komposit yang menggunakan ukuran partikel terbesar, jumlah partikel didalamnya rendah dan distribusi bebannya kecil. Inilah yang menyebabkan nilai kekuatan tariknya rendah. Selain itu ukuran partikel yang besar juga dapat memperbesar kemungkinan terdapatnya rongga pada partikel dan terjadinya porositas pada komposit.



Gambar 7. Grafik hubungan antara perpanjangan dan ukuran partikel.

Pada gambar 7 nilai perpanjangan yang terkecil diantara kelima variasi ukuran partikel adalah 1,71mm. Nilai tersebut dimiliki oleh komposit dengan 2 variasi ukuran partikel terbesar yaitu 2,36-1,18mm dan 1,18-0,6mm. Untuk ukuran partikel 0,3-0,15mm, nilai perpanjangan yang terjadi adalah sebesar 1,83mm. Nilai tersebut tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan perpanjangan yang dialami oleh komposit dengan ukuran partikel 0,6-0,3mm, yakni

sebesar 1,87mm. Dan untuk ukuran partikel terkecil, nilai perpanjangannya sebesar 2,11mm.

Bila dibandingkan antara kelima variasi ukuran partikel tersebut, maka komposit dengan ukuran partikel yang terkecil memiliki kekuatan tarik yang besar dan tingkat keuletan yang lebih besar.

KESIMPULAN dan SARAN

Kekuatan tarik tertinggi yaitu 21,28 N/mm², dimiliki oleh komposit dengan ukuran partikel terkecil (<0,15mm). Dengan demikian ukuran partikel <0,15mm merupakan ukuran partikel terbaik. Jika dilihat dari ukuran partikel maka semakin kecil ukuran partikel pada suatu komposit maka akan meningkatkan kekuatan tariknya.

Dalam pembuatan komposit hendaknya sangat hati-hati agar supaya tidak terjadi void dalam komposit. Sebab void yang terjadi akan menurunkan kekuatan komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- Batan. *Pembuatan komposit marmer-serat tandan sawit*. 15 November 2006.
[Http://www.batan.go.id/patir_prb_industrib_industri.html](http://www.batan.go.id/patir_prb_industrib_industri.html)
- Feldman, Dorel, Hartomo A.J. 1995. *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*. PT. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Ginting, M. Hendra S., ST. *Pengendalian Bahan Komposit*, Universitas Sumatera Utara, 12 November 2006.
<http://library.usu.ac.id/modules.php?op=modload&name=Downloads&file=index&req=getit&lid=310#search=%22sifat-sifat%20komposit%22>
- Gurdal, Zafer. 1999. *Design and optimization of laminated composite materials*. John Wiley & Sons. Inc: Canada
- Hadjar Goenadi, Didiek. *Berburu Energi di Kebun Sawit*. 25 Februari 2006. Republika Online. 15 November 2006.
http://www.republika.co.id/Koran_detail.asp?id=236880&kat_id=16&kat_id1=&kat_id2=
- Hyer W. M. 1997. *Stress Analysys of Fibre Reinforced Composite Material*. Mc Graw Hill: New York.
- Ridlo, Rohmadi. *Pembakaran Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Batubara Menggunakan Circulating Fluidized Bed (CFB) Di Kalimantan Timur*. BPPT dan Ristek. 12 November 2006.
<http://www.iptek.net.id/ind/?ch=jsti&id=214>
- Satyawibawa, I. 1992. *Kelapa Sawit*. Penebar Swadaya: Jakarta.

PENENTUAN LOKASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV BERDASARKAN PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT

DIKPRIDE DESPA

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNILA

Hp. 0816413256 email : despa@unila.ac.id

ABSTRACT

The 20kV primary distribution feeder often suffer from short circuit, therefore it must have good protection system. The OCR and GFR are one of short circuit relay protection that can identifies fault type and value. Eventually, this relay can not determine the fault location. On this paper the short circuit location on 20kV primary distribution feeder determined by using short circuit calculation. The simulation using MATLAB version 6.5. From this study we can conclude that short circuit current refers from short circuit location.

Key Word : Protektion Relay, Short Circuit Fault, Distribution line

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Saluran distribusi primer 20 Kv adalah merupakan bagian penting yang ada dalam suatu Sistem Tenaga Listrik. yang harus selalu diupayakan dalam keadaan baik dan jika terjadi gangguan harus dapat dengan segera diperbaiki supaya kontinuitas daya tidak terganggu. Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Current (GFR) adalah yang digunakan sebagai peralatan proteksi pada sistem ini.. Jika terjadi gangguan, relai-relai ini dapat mengidentifikasi jenis gangguan dan besarnya arus gangguan hubung singkat, tetapi tidak dapat menentukan lokasi terjadinya gangguan. Hal ini yang sering menyebabkan lamanya pemadaman tenaga listrik/ terganggunya kontinuitas pelayanan ke konsumen dikarenakan sulitnya mencari lokasi gangguan hubung singkat. Untuk itu diperlukan suatu studi/penelitian untuk mempermudah penentuan lokasi terjadinya gangguan sehingga keandalan sistem tenaga listrik dapat ditingkatkan. Hasil penelitian ini akan dapat menentukan besarnya gangguan dan tepat lokasi terjadinya gangguan tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Gangguan pada Sistem Distribusi

Semua keadaan yang menyebabkan terhentinya penyaluran energi listrik ke konsumen, baik disebabkan oleh faktor alam maupun oleh manusia dikatakan sebagai gangguan sistem tenaga listrik.

Pada umumnya gangguan hubung singkat adalah gangguan tidak simetris. Karena setiap gangguan yang tidak simetris menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam saluran. Rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan arus hubung singkat sesuai dengan hukum Ohm, yaitu :

$$Z = Z_s + Z_T + (Z_p \times r) \quad (\Omega / \text{Km})$$

Impedansi jalur gangguan sebanding dengan panjang saluran distribusi (r), semakin panjang saluran distribusi maka impedansinya juga akan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Arus yang ditimbulkan oleh gangguan pada setiap saluran akan tergantung pada lokasi gangguan tersebut, dan karena impedansi jalur gangguan akan bertambah sesuai dengan jarak generator ke gangguan tersebut, arus gangguannya akan berbanding terbalik dengan jarak

Komponen Simetri

Komponen simetri adalah suatu metode analisa untuk kondisi tak seimbang pada jaringan listrik, dengan sarana pendekatan yang berhubungan dengan pengoperasian seimbang yang menggunakan komponen urutan fasa simetris dari arus dan tegangan.

Menurut teorema Fortescue, tiga fasor yang tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasor seimbang (gambar.1), himpunan seimbang komponen itu yaitu

- komponen urutan positif (*positif sequence component*).
- komponen urutan negatif (*negatif sequence component*).
- komponen urutan nol (*zero sequence component*).

Karena setiap fasor yang tidak seimbang merupakan penjumlahan vektor dari komponen-komponennya, maka fasor-fasor aslinya dapat dinyatakan komponennya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \\ V_b &= V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \\ V_c &= V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \end{aligned}$$

Sistem Per-Unit

Suatu metode untuk mempermudah dalam analisa, dimana semua nilai besaran dinyatakan terhadap besaran dasar (dalam dimensi

yang sama) dinamakan sistem per-unit^[1]. Dengan menentukan besaran dasar maka besaran persatuan dapat dihitung.

$$\text{Harga per-unit} = \frac{\text{harga sebenarnya}}{\text{harga dasar}}$$

Daya dalam kVA dan tegangan dalam kV dipilih sebagai dasar yang ditentukan.

METODE PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian .

Penelitian ini dilakukan dilaboratorium Sistem Tenaga Elektrik Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik UNILA, data yang digunakan adalah data industri sistem distribusi PT. Gunung Madu Plation yang dimodelkan seperti gambar 2

2. Metode yang digunakan :

Metode Perhitungan Arus Hubung Singkat dan Penentuan Lokasi Gangguan.

Data Data yang diperlukan ;

- Impedansi Sumber (Z_s)

$$Z_s = \frac{MVA \text{ dasar}}{MVA \text{ hubung singkat}} = \frac{4}{700} = 0.0057 \quad ==.>$$

$$Z_s = 0 + j0.0057 \text{ pu}$$

- Impedansi Trafo (Z_T) : $Z_T = 7\% = j0.07 \text{ pu}$

- Impedansi Saluran

Impedansi saluran urutan positif = $0,2162 + j 0,3305$

Impedansi saluran urutan negatif sama dengan impedansi saluran urutan positif

Impedansi saluran urutan nol = $0,5640 + j 1,0604$
impedansi dalam bentuk pu adalah :

$$Z_b = \frac{(\text{Tegangan dasar, } kV_{LL})^2}{MVA \text{ dasar}} = \frac{(20)^2}{4} = 100\Omega$$

Impedansi saluran urutan positif = $0.0022 + j0.0033 \text{ pu}$

Impedansi saluran urutan negatif sama dengan impedansi saluran urutan positif

Impedansi saluran urutan nol = $0.0056 + j0.0106 \text{ pu}$

- Impedansi Gangguan (Z_f)

Untuk perhitungan arus hubung singkat ini dipakai asumsi bahwa gangguan adalah "*bolted* atau *solid*" ($Z_f = 0$)

- Panjang Saluran Distribusi

Terdapat dua jalur saluran distribusi primer 20 kV, satu ke arah barat dengan panjang saluran 10 km dan satu lagi ke arah timur dengan panjang saluran 25 km.

3. Perhitungan Arus Hubung Singkat.

Perhitungan arus hubung singkat dilakukan pada tiap tipe gangguan (satu fasa ke tanah, dua fasa, dan tiga fasa). Pada ketiga gangguan ini dilakukan perhitungan arus hubung singkat untuk tiap kenaikan panjang saluran distribusi **1 km** seperti terlihat pada gambar 2 yang merupakan saluran distribusi primer 20 kV

Besar arus hubung singkat adalah :

$$I_b = \frac{kVA \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, } kV_{LL}} \quad \text{dan} \quad I_b = \frac{4000}{\sqrt{3} \times 20} = 115.47 A$$

4. Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat

Pada proses penentuan lokasi gangguan hubung singkat dilakukan pengidentifikasian nilai arus gangguan sesuai dengan jenis gangguan dan panjang saluran distribusinya. Tampilan untuk program penentuan lokasi gangguan hubung singkat adalah sbb:



Gambar 1.

Untuk dapat menjalankan program, data yang perlu dimasukkan berupa data arus hubung singkat dan jenis gangguan hubung singkat yang terbaca pada relai proteksi.

5. Diagram Alir Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat dan Penentuan Lokasi Gangguan

Prosen Perhitungan arus gangguan dapat dilihat pada gambar 3

HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat adalah sebagai berikut :

Arus untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)	Arus untuk gangguan hubung singkat dua fasa (A)	Arus untuk gangguan hubung singkat tiga fasa (A)	Lokasi / Jarak Gangguan (km)
> 1428	> 1245	> 1438	<1
1327 – 1428	1193 – 1245	1378 – 1438	1-2
1239 – 1327	1144 – 1193	1321 – 1378	2-3
1160 – 1239	1098 – 1144	1268 – 1321	3-4
1091 – 1160	1057 – 1098	1220 – 1268	4-5
1028 – 1091	1016 – 1057	1174 – 1220	5-6
972 – 1028	979 – 1016	1130 – 1174	6-7
922 – 972	945 – 979	1091 – 1130	7-8
876 – 922	912 – 945	1053 – 1091	8-9
834 – 876	881 – 912	1018 – 1053	9-10
796 – 834	852 – 881	984 – 1018	10-11
761 – 796	825 – 852	952 – 984	11-12
729 – 761	799 – 825	923 – 952	12-13
700 – 729	776 – 799	896 – 923	13-14
672 – 700	752 – 776	869 – 896	14-15
647 – 672	731 – 752	844 – 869	15-16
624 – 647	711 – 731	821 – 844	16-17
601 – 624	691 – 711	798 – 821	17-18
581 – 601	672 – 691	776 – 798	18-19
562 – 581	655 – 672	756 – 776	19-20
544 – 562	639 – 655	737 – 756	20-21
527 – 544	623 – 639	719 – 737	21-22
511 – 527	608 – 623	702 – 719	22-23
497 – 511	594 – 608	686 – 702	23-24
483 – 497	580 – 594	670 – 686	24-25

Dari hasil penelitian diperoleh harga besarnya arus gangguan berbanding terbalik dengan jarak atau lokasi terjadinya gangguan. Karena besarnya arus gangguan dipengaruhi oleh impedansi saluran (Z) dan panjang saluran itu sendiri. Pada jarak kurang dari 1 km dari trafo daya besarnya gangguan hubung singkat satu fasa besar dari 1428 A, gangguan hubung singkat dua fasa besar dari 1245 A, gangguan hubung singkat tiga fasa besar dari 1438 A.

Sedangkan pada lokasi terjauh dari gangguan dengan jarak 25 km dari trafo daya diperoleh harga yang terkecil yaitu untuk gangguan hubung singkat satu fasa = 483 – 497 A, gangguan hubung singkat dua fasa = 580 -594 A dan gangguan hubung singkat tiga fasa = 670 -686 A

Operator akan segera tahu daerah terjadinya gangguan dengan mengetahui besarnya gangguan hubung singkat dan jenis gangguan yang terjadi. Maka perbaikan akan sistem yang mengalami gangguan dapat cepat diperbaiki.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis perhitungan arus hubung singkat dan penentuan lokasi gangguan hubung singkat pada jaringan sistem distribusi primer 20 kV pada PT.Gunung Madu Plantations, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari ketiga jenis gangguan (satu fasa ke tanah, dua fasa, tiga fasa), yang menghasilkan nilai arus hubung singkat terbesar adalah gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar > 1428 A pada jarak kurang dari 1 Km dari Trafo daya (Gardu)
2. Besarnya arus gangguan akan berbanding terbalik dengan panjang saluran, artinya semakin kecil arus gangguan maka semakin jauh lokasinya dari trafo atau sebaliknya

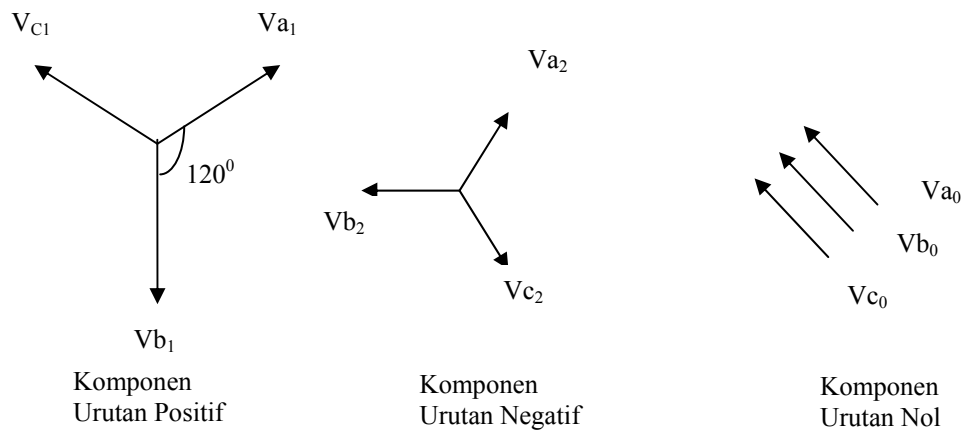
DAFTAR PUSTAKA

- Despa Dikpride, Studi Koordinasi Relay Proteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi Pabrik Indarung V P.T. Semen Padang, 2000, Thesis S2
- Despa Dikpride, Studi Koordinasi Relay Proteksi Arus Lebih pada Jaringan Distribusi Primer 20 Kv antara Gardu Induk Padang Luat dan Gardu Hubung Hubung Tanjung Alam....., 1996, skripsi S1
- Stevenson, William D, Jr, 1983, *Analisis Sistem Tenaga Listrik-Edisi Keempat*, Erlangga, Jakarta.
- Hanselman Duane, dan Bruce Littlefield , 2001, *Matlab-Bahasa Komputasi Teknis*, Andi, Yogyakarta.
- Gonen Turan, 1986, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Saadat Hadi, 1998, *Power System Analysis*, McGraw-Hill International Editions Electrical Engineering Series, New York.
- Kadarisman Pribadi, dan Wahyudi Sarimun, N. 2003. *Keandalan Sistem Distribusi Primer 20 kV dengan Cara Penyetelan OCR dan GFR pada Incoming dan Outgoing Feeder Mempergunakan Program Sederhana Excel*. <http://www.plnkc.or.id/seminar/agenda.asp?khg=48-30k.Supplemental> Result. 25 Mei 2005.
- Komari, Kadarisman Pribadi. 2001. *"Kegagalan Proteksi Distribusi 20 kV (Pengalaman dalam Operasi)*. PT. PLN (Persero). http://www.plnkc.or.id/artikel/library_detail.asp?library_id=4287-32k-Supplemental Result. 25 Mei 2005.

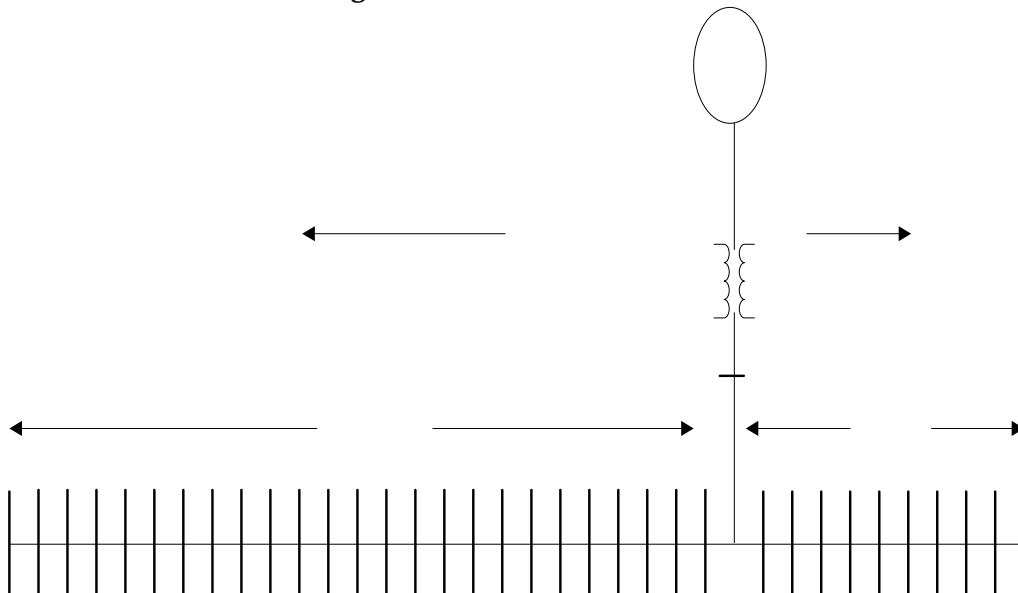
"Proteksi Sistem Distribusi: Formula perhitungan Arus Hubung Singkat". PT. PLN Udiklat Makasar. [http:// www . plnkc .or.id / qa / download / download_perhitungan %20 praktis %20 arus%20 hubung %20 singkat.com-Supplemental Result](http://www.plnkc.or.id/qa/download/download_perhitungan%20praktis%20 arus%20 hubung%20 singkat.com-Supplemental Result). 2 September 2005.

Kadarisman Pribadi, Muchtar Kartawan, Sarimun Wahyudi. 20 Juli 2003. "Masalah Pentanahan Netral Sistem Tegangan Menengah 20 kV Dipasok dari PLTD berskala kecil". PT. PLN (Persero). [http:// www. Plnkc.or.id/ library/ download/ attach_seminar %20 proteksi %2025 %20 juli %202003.doc-Supplemental Result](http://www.Plnkc.or.id/library/download/attach_seminar%20proteksi%2025%20juli%202003.doc-Supplemental Result). 2 September 2005.

GAMBAR

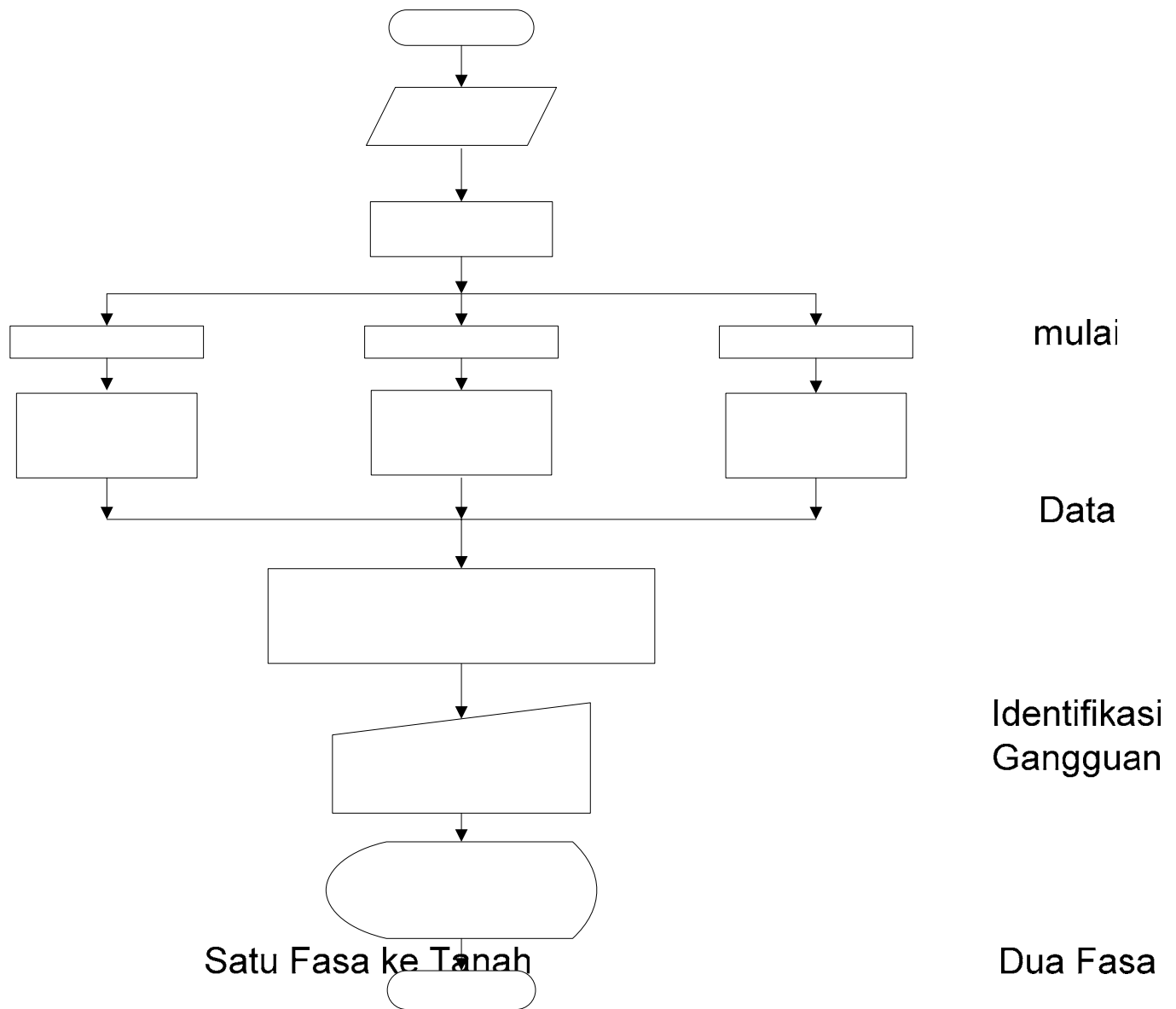


Gambar 1. Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tak-seimbang.



Gambar 2. Saluran Distribusi Primer 20kV (saluran distribusi primer dibagi per 1 km)

Keterangan : 1 = bus trafo daya 4 MVA, 3.3 / 20 kV
 2 – 26 = bus saluran distribusi primer 20 kV tiap kenaikan 1 km



Gambar 3. Diagram Alir Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat dan Penentuan Lokasi Gangguan

Perhitungan
 Arus Gangguan
 Hubung Singkat

Perhitungan
 Arus Gangguan
 Hubung Singkat

METODE GRAVITASI UNTUK MENENTUKAN PENYEBARAN DAN KEDALAMAN CEKUNGAN (SINKLIN) DI DAERAH MENGGALA

NANDI HAERUDIN, SUHARNO dan ATIK HASNAH SHOLIHAH

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

email: nandithea@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan studi awal untuk mengetahui penyebaran dan kedalaman cekungan di daerah Menggala berdasarkan data gayaberat. Daerah penelitian terletak pada koordinat $4^{\circ}00' - 5^{\circ}00'$ LS dan $105^{\circ}00' - 106^{\circ}00'$ BT.

Data anomali Bouguer direduksi ke bidang datar dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa. Untuk Pemisahan anomali lokal dan regional digunakan metode pencocokan polinomial 2 dimensi, selanjutnya untuk proses pemodelan dua dimensi pada anomali lokal dilakukan dengan menggunakan program *Grav2dc*.

Interpretasi kualitatif menghasilkan beberapa cekungan di dalam dan di luar cekungan besar (basin) Sumatera bagian selatan. Secara kuantitatif pemodelan dilakukan terhadap tiga cekungan yang berada di dalam cekungan besar Sumatera bagian selatan. Lintasan AA' melewati Formasi Muaraenim dengan lebar cekungan 42 km dan kedalaman mencapai 5 km. lintasan BB' melewati Formasi Terbanggi dengan lebar cekungan ± 24 km dan kedalaman mencapai 6 km. lintasan CC' melewati Formasi Kasai dengan lebar cekungan 33 km dan kedalaman 5 km. Cekungan pada setiap lintasan berisi endapan sedimen yang didominasi oleh batupasir dan batulempung. *Basement* pada setiap lintasan berisi andesit.

Kata Kunci: Data gayaberat, Anomali residual, pemodelan kuantitatif, Cekungan

PENDAHULUAN

Di Indonesia pencarian minyak dilakukan mula-mula oleh B.P.M. (*Bataafsche Petroleum Maatschappij*) yang pada waktu itu namanya *koninklijke*. Metode yang pertama kali digunakan B.P.M. adalah metode gayaberat dan kemudian metode seismik. Metode gayaberat ini pertama kali digunakan di Indonesia pada tahun 1924 setelah berhasil dengan baik di Amerika Serikat (Koesoemadinata, 1978).

Metode gayaberat digunakan untuk menggambarkan bentuk/struktur geologi bawah permukaan berdasarkan variasi medan gayaberat bumi yang ditimbulkan oleh perbedaan densitas (rapat massa) antar batuan. Pada prinsipnya, metode ini di gunakan karena kemampuannya membedakan densitas dari satu sumber anomali terhadap densitas lingkungan sekitarnya. Pada penelitian ini metode gayaberat digunakan untuk mencari cekungan (sinklin).

Cekungan tersebut pada umumnya diindikasikan dengan adanya endapan-endapan sedimen yang terperangkap di dalamnya, sehingga lokasi penyebaran cekungan pada daerah penelitian dapat diketahui.

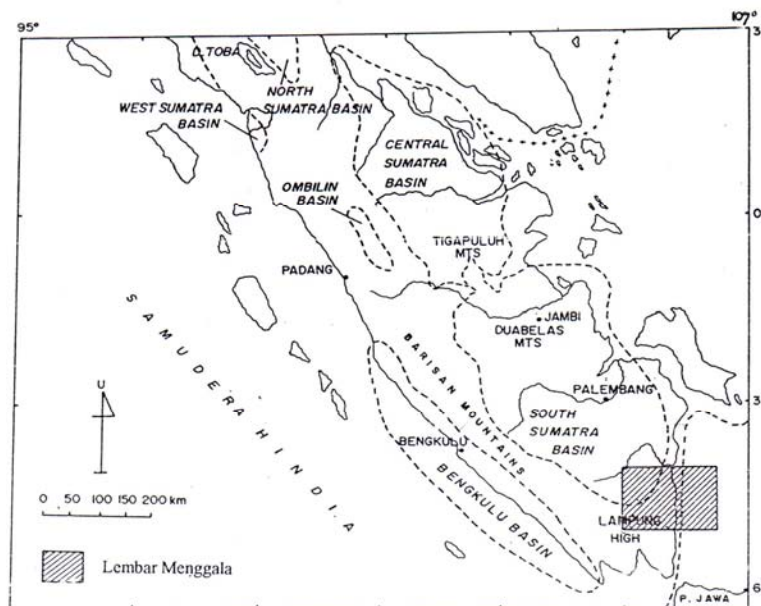
Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan penyebaran dan kedalaman cekungan-cekungan di daerah Menggala berdasarkan data gayabarat.

TINJAUAN PUSTAKA

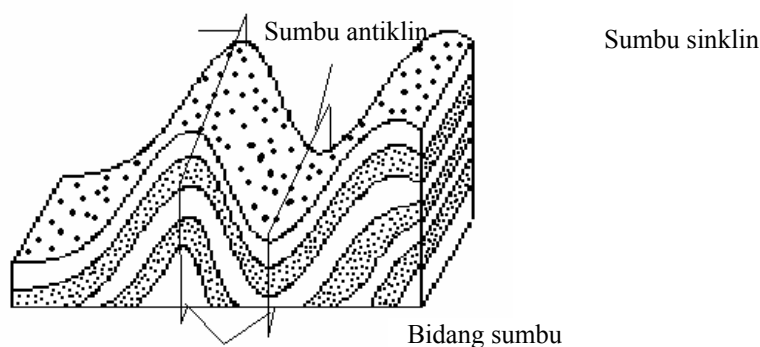
Sejarah geologi Lembar Menggala (daerah penelitian) dimulai pada perioda akhir pembentukan Cekungan besar (basin) Sumatera Selatan. Cekungan besar ini mulai terbentuk sebagai akibat peregangan batuan alas di daerah busur belakang pada awal Tersier, mungkin juga pada Eosen Tengah sampai Oligosen Awal. Lembar Menggala yang terletak di sudut tenggara Sumatera meliputi daerah seluas $\pm 10.000 \text{ km}^2$, dan dibatasi oleh koordinat $4^{\circ}00' - 5^{\circ}00' \text{ LS}$ dan $105^{\circ}00' - 106^{\circ}00' \text{ BT}$. Berdasarkan peta geologi, daerah penelitian ini berada pada posisi timur Sumatera yang diharapkan mempunyai potensii untuk survei minyak bumi.

Cekungan

Secara geologi cekungan merupakan bagian dari struktur lipatan yang disebut *sinklin* (Gambar 2). Cekungan tersebut terbentuk karena adanya pergerakan lempeng yang saling mendekati (*konvergen*). Pergerakan lempeng juga mempengaruhi terbentuknya pegunungan dengan urutan batuannya. Seorang ahli geologi Amerika, James Hall (1811 – 1898) mengamati bahwa urutan-urutan batuan pada semua daerah umumnya diendapkan dalam lingkungan laut dangkal. Dicurikan oleh fosil - fosil laut dangkal dan sisipan - sisipan batubara. James juga menyimpulkan bahwa deretan pegunungan semula adalah bagian kerak yang turun (*subsided*) secara bertahap, cekungan. Penurunan bertahap ini memungkinkan terakumulasinya sedimen laut dangkal yang sangat tebal. Kecepatan pengendapannya lebih kurang sama dengan kecepatan penurunan cekungan. Cekungan memanjang yang menurun secara bertahap ini dinamakan *geosyncline* (Magetsari, 2002).



Gambar 1 . Batas Cekungan Sedimen Sumatera Bagian Selatan (Burhan, dkk. 1993)

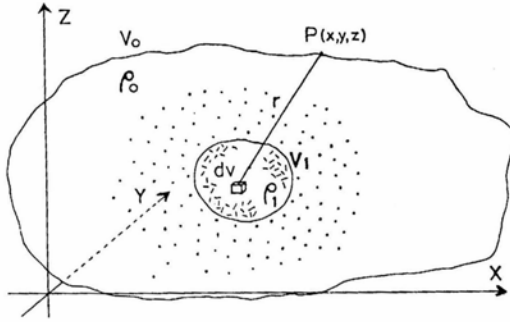


Gambar 2. Lipatan sederhana dengan bagian-bagiannya

TEORI DASAR

Konsep Pengukuran Gravitasi

Metode Gravitasi merupakan salah satu metode penyelidikan bawah permukaan bumi yang didasarkan pada Hukum Newton. Prinsip dasar Metode Gravitasi adalah mengukur perbedaan gravitasi yang disebabkan oleh massa batuan yang tidak merata. Penyelidikan anomali gravitasi di lapangan didasarkan atas konsep kontras densitas (kontras rapat massa). Dengan mengetahui perbedaan rapat massa ini, maka dapat diperkirakan geometri tatanan bawah permukaan secara global termasuk densitas dan kedalamannya.



Gambar 3. Model kontras densitas 2 jenis batuan

$$UP_1(x,y,z) = G(\rho_1 - \rho_0) \int_{V_1} \frac{dV}{r} \quad (1)$$

Parameter $\rho_1 - \rho_0$ inilah yang disebut **kontras densitas**.

Potensial Gayaberat

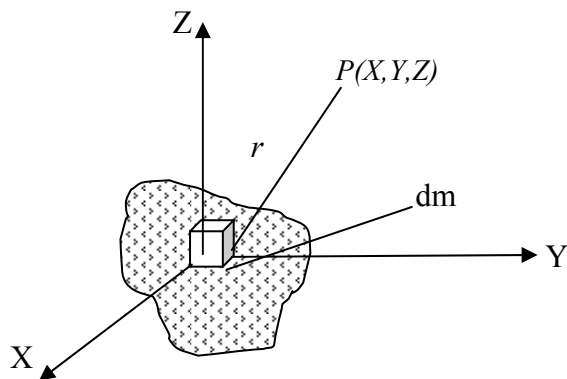
Potensial gayaberat dapat dinyatakan sebagai fungsi potensial skalar $U(r)$ yaitu:

$$\vec{E}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r}) \quad (2)$$

dengan $U(r)$ merupakan potensial medan gayaberat dan potensial total gayaberat di suatu titik dapat didefinisikan sebagai:

$$U(\vec{r}) = \int_{\infty}^r g dr = -Gm_1 \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = G \frac{m_1}{r} \quad (3)$$

potensial total gayaberat bersifat penjumlahan sedangkan potensial gayaberat oleh distribusi massa yang kontinyu atau benda berdimensi yaitu dalam ruang bervolume V dengan rapat massa yang konstan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Potensial dan Kuat Medan Massa Tiga Dimensi

Gambar 4 menunjukkan sebuah masa tiga dimensi dengan bentuk sembarang, dimana potensial dan kuat medan gayaberat di titik P dapat dihitung dengan jalan membagi massa m menjadi elemen-elemen kecil dan kemudian diintegrasikan untuk memperoleh efek totalnya. Besarnya potensial gayaberat pada sembarang titik P di luar benda bervolume V adalah potensial dari elemen massa dm berjarak r dari titik P , yaitu:

$$dU = G \frac{dm}{r} = \frac{G\rho dx dy dz}{r} \quad (4)$$

dimana:

$$\rho = \text{densitas} \quad r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

potensial di titik P karena pengaruh massa total m adalah:

$$U = G\rho \iiint \frac{1}{r} dx dy dz \quad (5)$$

dari persamaan tersebut, medan gayaberat g dipermukaan bumi mempunyai nilai yang bervariasi tergantung pada distribusi massa di bawah permukaan seperti yang dinyatakan dalam fungsi densitas dan batas integrasi yang berupa volume (Telford dkk, 1976).

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan pada bulan Desember 2005 hingga Juli 2006 dan bertempat di Laboratorium Geofisika Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Peta anomali Bouguer Lembar Menggala skala 1:250.000
2. Peta Geologi dan Topografis Lembar Menggala skala 1:250.000
3. Peta Topografi Lembar Menggala skala 1:250.000
4. Satu set perangkat komputer dengan software: *Ms. Excel*, *Surfer 7.0*, *Matlab 6*, dan *Grav2dc*.

C. Pengolahan Data

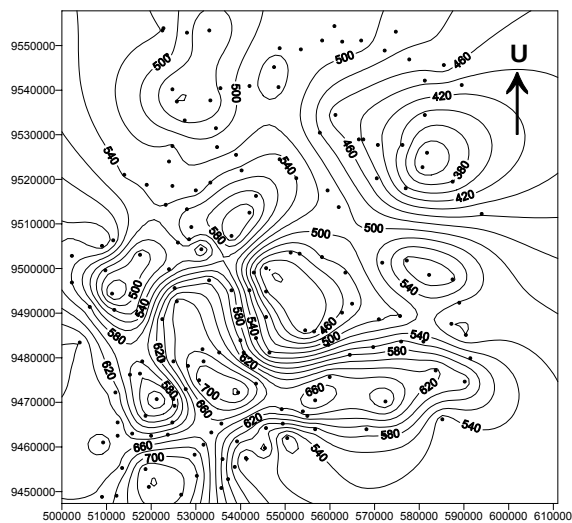
Data gayaberat diperoleh dari hasil pengambilan data yang dilakukan oleh Tim Geofisika Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung. Data-data tersebut kemudian direduksi ke bidang datar dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney, 1969). Untuk Pemisahan anomali lokal dan regional

digunakan metode pencocokan polinomial 2 dimensi (Abdelrahman, 1985), selanjutnya untuk proses pemodelan dua dimensi pada anomali lokal dilakukan dengan menggunakan program *Grav2dc*. Model yang dihasilkan kemudian dianalisis.

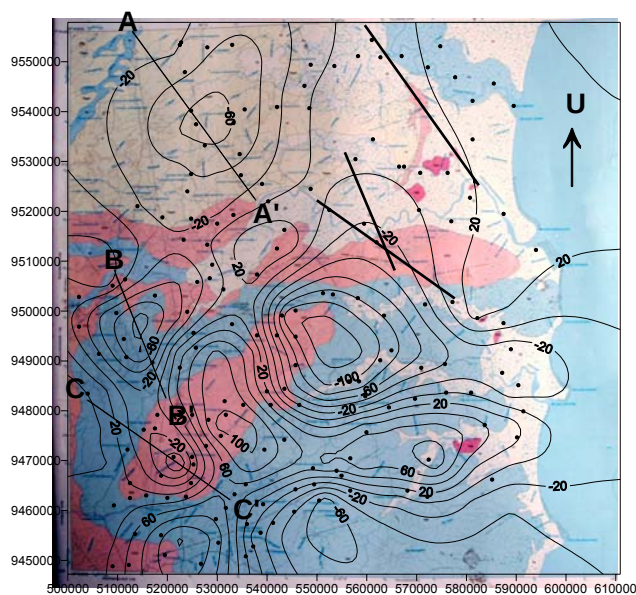
HASIL dan ANALISIS

A. Hasil

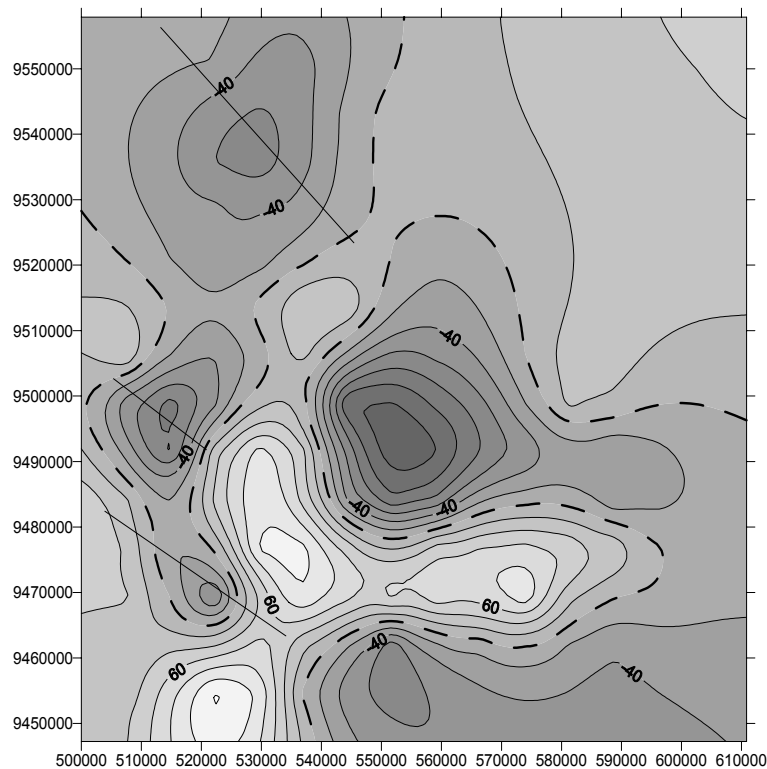
Gambar 13 menunjukkan peta anomali Bouguer dengan rapat massa Bouguer 2670 kg m^{-3} . Secara umum nilai anomali di daerah penelitian memiliki nilai positif yaitu $340 - 740 \mu\text{m s}^{-2}$.



Gambar 5. Peta anomali Bouguer dengan interval kontur $20 \mu\text{m s}^{-2}$



Gambar 6. Penampang lintasan AA', BB', dan CC' pada peta anomali lokal

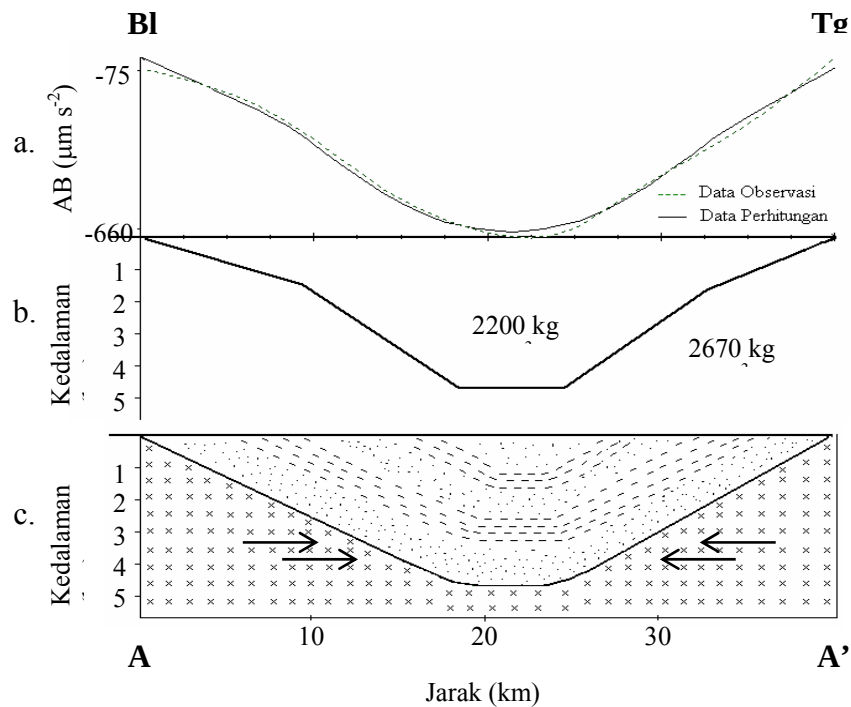


Gambar 7. Penyebaran cekungan (gelap) dan antiklin (terang) pada daerah penelitian

B. Analisis

Penentuan kedalaman cekungan pada daerah penelitian dilakukan dengan membuat beberapa penampang lintasan yang berada di dalam cekungan dasar Sumatera selatan. Lintasan-lintasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 dengan nama lintasan AA', BB' dan CC'.

1. Model geologi pada lintasan AA' dengan arah baratlaut-tenggara ini menunjukkan adanya suatu struktur lipatan yang arahnya kebawah atau membentuk cekungan dan disebut *sinklin* dengan batuan dasar yang berisi andesit dengan rapatmassa 2670 kg m^{-3} . Cekungan inii berada pada Formasi Muaraenim dan didominasi oleh batulempung dan batulempung pasir dengan rapatmassa 2200 kg m^{-3} . Lebar cekungan mencapai 42 km dan kedalamannya mencapai 5 km.

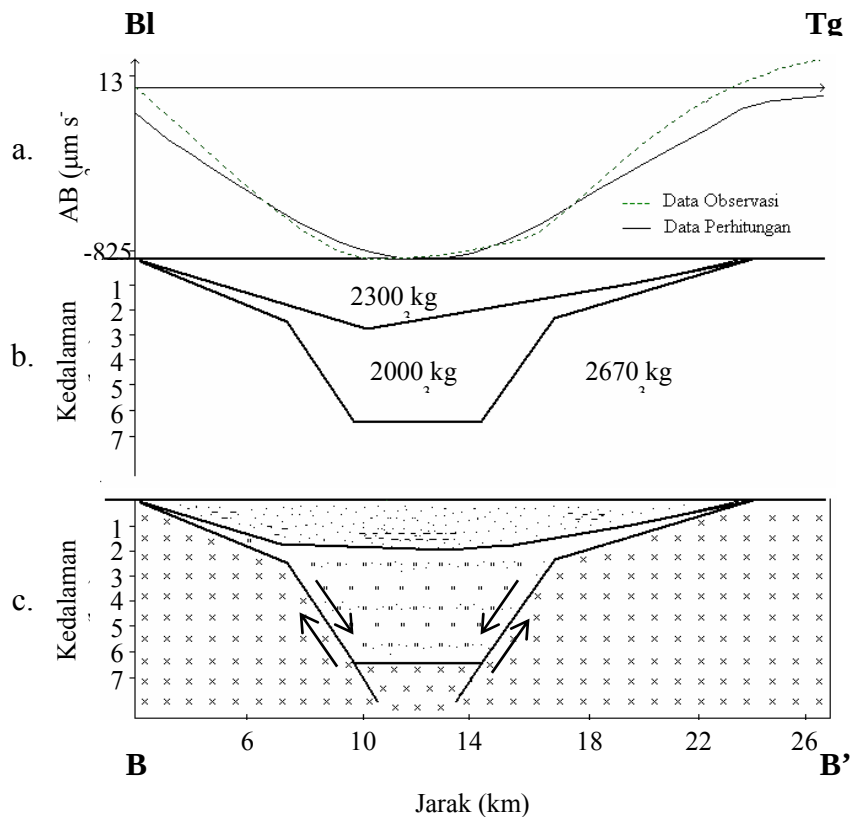


Keterangan

- | | |
|--|---|
| | Perselingan batulempung, batulempung pasir pada Formasi Muaraenim Rapatmassa 2200 kg m^{-3} |
| | Andesit
Rapat massa 2670 kg m^{-3} |

Gambar 8. a. Profil anomali gayaberat, b. Model geofisika dan c. Model geologi penampang lintasan AA'

- Model geologi lintasan BB' melalui Formasi Terbanggi dengan arah baratlaut-tenggara. Formasi ini terdiri dari batupasir dengan sisipan batulempung, Lintasan BB' menunjukkan adanya suatu struktur sesar/patahan yang berupa dua buah sesar normal dengan jurus sejajar dan kemiringan berlawanan membentuk segmen tinggian dan amblesan. Bagian yang turun pada sesar didominasi oleh endapan tuf batuapung dan batupasir tufan dengan rapatmassa 2000 kg m^{-3} pada kedalaman 6 km. Endapan tersebut kemudian ditutup oleh batupasir dengan sisipan batulempung pada Formasi Terbanggi dengan rapatmassa 2300 kg m^{-3} pada kedalaman $\pm 2 \text{ km}$. Kedua endapan tersebut mempunyai lebar $\pm 24 \text{ km}$. Batuan dasar yang mengalasi lintasan ini berisi andesit dengan rapatmassa 2670 kg m^{-3} .

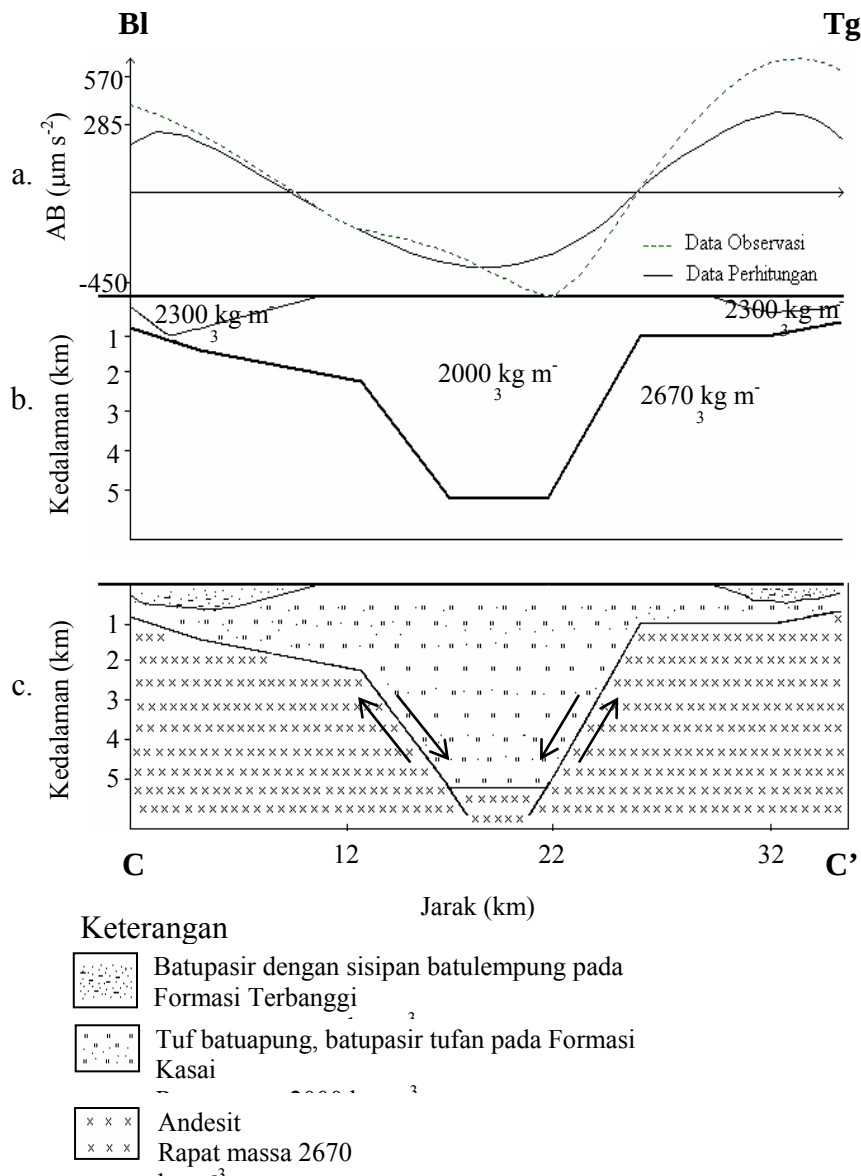


Keterangan

-  Batupasir dengan sisipan batulempung pada Formasi Terbanggi
-  Tuf batuapung, batupasir tufan pada Formasi Kasai
Rapatmassa 2000 kg m^{-3}
-  Andesit
Rapat massa 2670 kg m^{-3}

Gambar 9. a. Profil anomali gayaberat, b. Model geofisika dan c. Model geologi penampang lintasan BB'

3. Model geologi lintasan CC' melewati dua formasi yaitu Formasi Terbanggi dan Formasi Kasai. Panjang lintasan ini $\pm 33 \text{ km}$ dengan arah barat-laut-tenggara. Cekungan yang terbentuk pada lintasan ini berada pada Formasi Kasai dengan kedalaman $\pm 5 \text{ km}$ didominasi oleh tuf batuapung dan batupasir tufan dan mempunyai rapatmassa batuan 2000 kg m^{-3} . Formasi ini mempunyai ciri unsur tufan, yang mencerminkan adanya kegiatan gunung api di Busur Barisan. Bagian atas formasi tersebut terdapat Formasi Terbanggi yang berisi batupasir dengan sisipan batulempung mempunyai rapatmassa 2300 kg m^{-3} pada kedalaman $\pm 1 \text{ km}$.



Gambar 10. a. Profil anomali gayaberat, b. Model geofisika dan c. Model geologi penampang lintasan CC'

SIMPULAN dan SARAN

1. Pada Daerah penelitian ditemukan beberapa cekungan yang berada di dalam dan di luar cekungan besar Sumatera bagian selatan. Model yang diperoleh pada lintasan AA', BB', dan CC' berupa cekungan yang tersebar melewati beberapa formasi yaitu: Formasi Muaraenim dengan rapatmassa 2200 kg m^{-3} , Formasi Terbanggi dengan rapatmassa 2300 kg m^{-3} dan Formasi Kasai dengan rapatmassa 2000 kg m^{-3} .
2. Kedalaman pada lintasan AA' dan CC' mencapai 5 km sedangkan pada lintasan BB' mencapai 6 km. Basement setiap lintasan berisi Andesit dengan rapatmassa 2670 kg m^{-3} .

3. Untuk analisis cekungan hidrokarbon sebaiknya menggunakan metode seismik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, E.M., Riad, S., dan Amin, Y. 1985. *On the Least Square Residual Anomali Determination*, Geophysics v.50, no. 3. hlm.473-480.
- Blakely, R.J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press. USA.
- Burhan, G., Gunawan, W., dan Noya, Y. 1993. *Geologi Lembar Menggala, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Dampney, C.N.G. 1969. *The Equivalent Source Technique*, Geophysics v.34, no. 1. hlm.39-53.
- De Coster, G.L. 1974. *The Geology of the Central Sumatera Basin. Proceedings of the Indonesian Association of Geologists. 3rd Annual Convention*. hlm.77-110.
- Harsa, A.E. 1974. Some of the factors which influence oil occurrence in the South and Central Sumatera Basins. *Proceedings of the Regional Conference on the Geology and Mineral Resources of Southeast Asia*. Jakarta. hlm.151-183.
- Koesoemadinata, R.P. 1978. *Geologi Minyak dan Gasbumi*. Penerbit ITB. Bandung. hlm. 18-19.
- Musper, K.A.F.R. 1937. Geologische kaart van Sumatera, schaal 1 : 200.000. Toelichting bij Blad 16 (Lahat). *Dienst Mijne Wezen Nederlandsch-Indie*.
- Magetsari, N. 2002. *Geologi Fisik*. Penerbit ITB. Bandung. hlm. 59, 103 - 104.
- Telford, M. W., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. dan Keys, D.A. 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Verstappen. H.P. 1973. *A Geomorphological Reconnaissance of Sumatera and Adjacent Islands (Indonesia)*. Wolters-Noordhoff Publishing Groningen.

DETEKSI PERGESERAN DERAJAT ARAH MATA ANGIN DENGAN METODE PEMBAGIAN SETENGAH LINGKARAN PADA KOMPAS PLAT MENGGUNAKAN SENSOR OPTIK

GURUM AHMAD PAUZI

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung
Email : gurum@unila.ac.id

ABSTRAK

Telah dibuat system deteksi pergeseran derajat arah mata angin dengan metode pembagian setengah lingkaran pada kompas plat menggunakan sensor optik. System ini bekerja dengan meletakkan reflector pada salah satu bagian plat yang akan bergerak sesuai dengan perubahan arah putar kompas. Reflector ini berfungsi untuk memantul cahaya inframerah dari trasmitter ke fotodioda yang berfungsi sebagai receiver. Pembagian daerah deteksi dengan metode setengah lingkaran bertujuan untuk menghindari terjadinya pendeteksian titik yang berbeda namun hasil yang sama dikarenakan jarak yang sama dari titik dimana reflector ditempatkan. Hasil pengukuran didapatkan kurva berbentuk grafik kuadrat yang memerlukan linerarisasi lebih lanjut.

Kata kunci : *penentuan arah, kompas digital, sensor derajat mata angin, fotodioda.*

PENDAHULUAN

Dalam bidang navigasi atau penjelajahan, pemanfaat kompas sangat dibutuhkan sebagai penunjuk arah perjalanan berdasarkan arah mata angin. Selain itu pula, kompas juga dimanfaatkan untuk merunut kembali perjalanan yang telah dilalui berdasarkan data arah dan jarak tempuh pengguna kompas.

Sebuah kompas bekerja berdasarkan adanya interaksi magnet permanen yang berinteraksi dengan arah fluks medan kemagnetan bumi yang menyebabkan magnet kompas akan selalu menunjuk ke arah utara dan selatan. Kecepatan penunjukan arah utara dan selatan ini ditentukan pula oleh derajat kebebasan magnet tersebut. Metode pembacaan penunjuk pergeseran arah dilakukan secara manual yaitu dengan memperhatikan sejauh mana pergeseran jarum penunjuk pada skala yang diterakan pada system kompas.

Dengan semakin berkembangnya ilmu pengukuran dan otomatisasi maka keberadaan kompas yang dapat dibaca secara langsung akan sangat bermanfaat untuk memudahkan dalam memperoleh data secara cepat dan efisien (Setiawan,. 2003). Selain itu juga, perubahan pengukuran secara manual ke system elektrik akan membuka

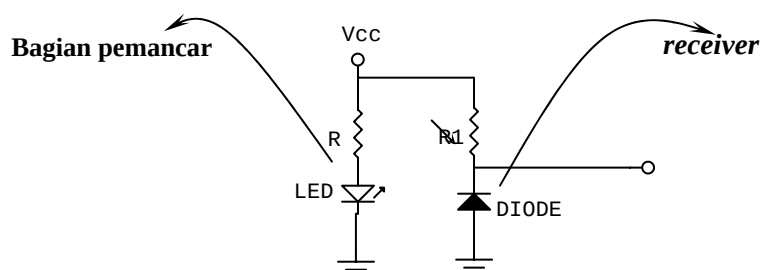
peluang untuk modifikasi dan pemanfaatan kompas sebagai kendali otomatis bagi peralatan-peralatan yang memerlukan adanya data arah mata angin, misalnya pada system robotik yang mampu bergerak sesuai dengan derajat tertentu dari arah mata angin, penentuan arah kiblat secara otomatis, dan lain sebagainya.

Pada penelitian ini telah dilakukan upaya untuk mengukur perubahan posisi derajat arah jarum pada kompas dari metode data manual ke data elektrik dengan menggunakan pembagian daerah pengukuran setengah lingkaran dengan menggunakan sensor optik. Metode ini bertujuan untuk menghindari terjadinya pencatatan data elektrik yang sama untuk derajat arah kompas yang berbeda. Selain itu pula pemanfaatan sensor optik bertujuan untuk menghindari terjadinya pembebanan pada kebebasan gerak kompas.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Fotodioda

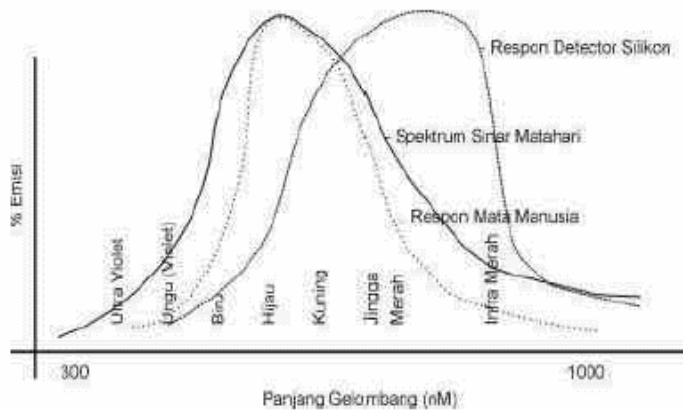
Fotodioda merupakan salah satu sensor optik yang banyak digunakan sebagai deteksi perubahan besarnya intensitas cahaya pada suatu system. Sensor merupakan alat yang mampu merubah efek nonelektrik menjadi sinyal listrik. Satu atau lebih langkah transformasi sinyal diperlukan untuk menghasilkan sinyal output elektrik. Dalam langkah-langkah tersebut, terdapat bagian yang harus mampu merubah tipe-tipe energi yang akhirnya akan menghasilkan sinyal elektrik (Fraden, 1996). Efek nonelektrik tersebut diantaranya *physical*, *chemical* dan *biological*. Sensor fotodioda merupakan sensor yang bekerja dengan menggunakan perubahan cahaya sebagai pendeteksi terjadi perubahan variabel fisika pada sebuah obyek. Sensor optik dengan fotodioda ini secara umum terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian *transmitter* (pemancar) dan bagian *receiver* (penerima) (Hasan. 1998). Bagian transmitter merupakan komponen yang dapat memancarkan cahaya, pemancar yang umum digunakan adalah led dengan berbagai spesifikasi cahaya yang dapat dipancarkan (inframerah, ultraviolet, cahaya tampak dan sebagainya). Cahaya yang dipancarkan akan langsung diterima oleh bagian receiver (fotodioda, fototransistor, dan LDR). Bila terdapat sebuah obyek yang mengalami perubahan posisi melalui gerakan, maka secara otomatis akan mempengaruhi besarnya intensitas penerimaan cahaya pada bagian *receiver* (Fraden, 1994).



Gambar 1. Sensor fotodioda

2. Sinar Inframerah

Sinar inframerah dihasilkan oleh getaran atom pada suatu bahan *light emitting dioda* (LED). Frekuensi sinar inframerah antara $3 \cdot 10^{11}$ - $3,9 \cdot 10^{14}$ Hz atau panjang gelombang $7,7 \cdot 10^{-7}$ - 10^{-3} m. sinar inframerah ini tidak banyak dihamburkan oleh partikel atmosfer sehingga dapat digunakan untuk memotret permukaan bumi dari pesawat terbang yang tinggi atau satelit yang tidak diperoleh oleh cahaya tampak (Maharta, 1996).



Gambar 2. Spektrum Cahaya dan Respon Manusia (Singh, 1995)

Dalam aplikasi sensor, agar jangkauan sinar inframerah dapat menjangkau jarak yang cukup jauh, digunakan gelombang *carrier* (pembawa) berupa frekuensi dengan nilai tertentu. Sinar inframerah dihasilkan oleh unsur Si dan $HgCdTe$ (Singh, 1995).

Pemanfaatan sinar inframerah lebih disebabkan pada kepekaan sensor fotodioda yang digunakan lebih sensitif pada sinar merah dan lebih ke atas lagi sinar inframerah. Namun walaupun demikian, pemanfaatan sinar inframerah memiliki berbagai keuntungan, hal ini disebabkan sifat-sifat sinar inframerah antara lain:

- Tidak tampak manusia
- Tidak dapat menembus materi yang tak tembus pandang
- Dapat ditimbulkan oleh komponen yang menghasilkan panas (centrin.net.id/delta.com, 2007).

Pemanfaatan sinar inframerah dalam suatu system pengukuran memerlukan metode pengisolasian system dari masuknya sinar inframerah dari luar system yang tentunya akan mempengaruhi stabilitas hasil pengukuran.

3. Kompas

Penggunaan gugusan bintang sebagai penuntun navigasi secara sederhana telah dipakai oleh para nelayan di Nusantara, dan secara tradisional tampaknya ilmu ini tidak dikembangkan secara sempurna. Tentunya sebagai langkah awal diperlukan pemahaman

cara cara penghitungan posisi benda langit tersebut (Prasetyo, 2001). Dengan ditemukannya kompas, maka kegiatan navigasi menjadi lebih mudah tanpa harus tergantung pada gugusan bintang.

Kompas merupakan alat yang banyak digunakan dalam bidang navigasi ataupun pelayaran. Alat ini bekerja berdasarkan medan magnet bumi. Medan magnet ini merupakan hasil dari proses internal pada bumi akibat adanya rotasi. Banyak ilmuwan mengadopsi konsep dinamo kembar untuk menjelaskan fenomena terbentuknya medan magnet bumi. Medan magnet bumi ini memiliki arah utara-selatan, sehingga akan mempengaruhi benda yang memiliki kebebasan besar untuk selalu mengarah pada utara selatan.

Kompas dirancang dengan kebebasan besar sehingga dapat mengarah pada kutub medan magnet bumi. Setiap perubahan arah poros maka akan diikuti oleh perubahan posisi jarum penunjuk kompas. Nilai pergeseran akan terlihat dari nilai yang tertera dan ditunjukkan oleh jarum kompas.

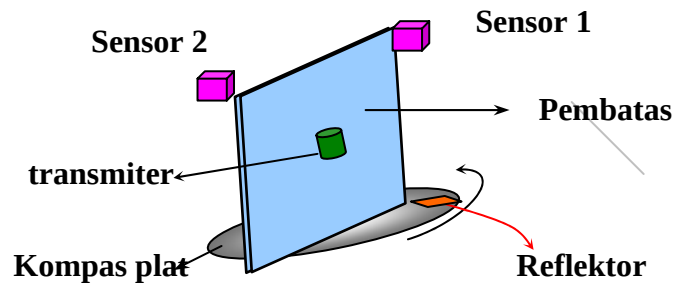
Bentuk fisik penunjuk arah pada kompas tidak harus selalu berbentuk jarum namun dapat juga berbentuk piringan, bola dan sebagainya, dengan tetap menempatkan plat magnet pada diameter bidang lingkaranya.

METODE PENELITIAN

1. Modifikasi Media Kompas Plat

Perancangan alat ini dilakukan dengan membagi area diteksi plat lingkaran kompas menjadi masing-masing setengah lingkaran hal ini bertujuan untuk menghindari adanya data yang sama dari dua buah titik derajat pengukuran. Metode ini dilakukan dengan menempatkan pembatas agar cahaya dari transimitter atau dari pantulan reflector tidak mempengaruhi sinyal yang diterima oleh sensor lain. Pergeseran reflector akan mengakibatkan perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh receiver fotodioda. Perubahan intensitas cahaya ini kemudian akan terlihat pada perubahan nilai tegangan yang dioutputkan oleh receiver.

Pada piringan kompas meskipun telah dipasang media yang berfungsi sebagai reflector cahaya yang berasal dari transmitter, perancangan media reflector ini dilakukan dengan memperhitungkan keseimbangan semua sisi kompas agar tidak mempengaruhi posisi horizontal dan derajat kebebasan gerak kompas.

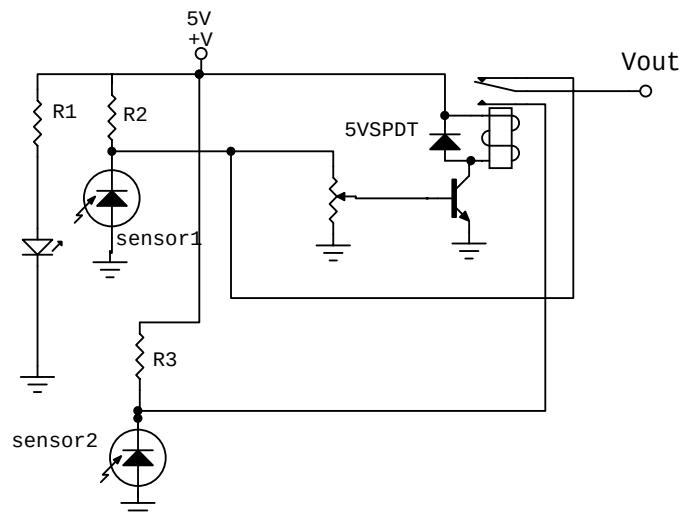


Gambar 3. Rancangan Posisi Sensor

Perancangan tabung yang berfungsi sebagai rangka penopang posisi transmitter dan receiver. Selain itu juga dilakukan pengisolasian media (reflector, receiver dan transmitter) dari pengaruh adanya cahaya dari luar system dengan menggunakan alumunium foil. Hal ini dikarenakan detector berupa fotodiode yang sensitive pada cahaya inframerah yang mampu menembus bahan tertentu.

2. Rangkaian Elektronik Sensor

Pengukuran tegangan secara manual dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan output sensor. Pada penelitian ini dirancang rangkaian elektronik akuisisi dengan tujuan untuk masukan ke ADC (Analog to digital Converter) dengan tipe satu masukan. Masing-masing sensor akan mengukur perubahan derajat dari 0° - 180° (sensor 1) dan 181° - 360° (sensor 2).



Gambar 4. Rangkaian sensor dengan satu output

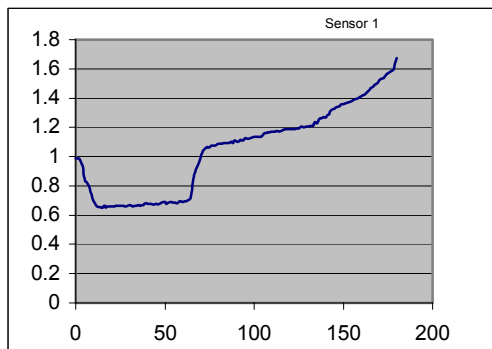


Gambar 5. Rancangan Media Sensor

HASIL PENGUKURAN dan PEMBAHASAN

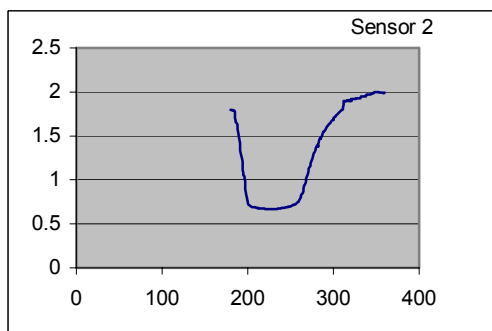
Adapun data yang telah diperoleh dari pengukuran persatu derajat disajikan dalam bentuk grafik adalah sebagai berikut dimana sumbu X untuk derajat arah dan Y untuk output tegangan.

Sensor 1



Gambar 6.grafik sensor 1 (0° sampai 180°)

Sensor 2



Gambar 7. Grafik sensor 2 (180° sampai 360°).

Pada grafik diatas tampak bahwa pola tegangan yang dihasilkan merupakan grafik skuensial. Hal ini sesuai dengan pola pergeseran reflector pada piringan kompas plat yang berbentuk lingkaran. Data ini merupakan data besarnya intensitas cahaya yang diterima oleh fotodioda. Pada grafik sensor 1 dan 2 secara umum memiliki kesamaan dalam bentuk grafik yaitu berbentuk parabola (grafik kuadrat).

Hanya saja kedua grafik tidak persis sama hal ini disebabkan oleh beberapa hal:

1. Perbedaan penempatan posisi sensor dalam system, dan perbedaan intensitas cahaya dalam keadaan normal yang tidak sama.
2. Adanya pengaruh pantulan cahaya dari bahan lain yang menyebabkan cahaya yang diterima oleh sensor tidak sepenuhnya hanya berasal dari reflector.
3. Piringan kompas plat yang belum betul-betul stabil, serta masih berosilasi secara vertical ketika terdapat sedikit guncangan. Hal ini akan menyebabkan data yang diterima oleh fotodioda tidak sepenuhnya berupa garis lurus, namun ikut berosilasi.

Terdapat beberapa langkah perbaikan yang akan dilakukan agar data yang diperoleh dapat lebih baik antara lain:

1. merancangan system kompas plat yang memiliki stabilitas tinggi terhadap guncangan sehingga data yang diperoleh tidak berosilasi.
2. membagi daerah pengukuran menjadi empat masing-masing mengukur rentang nilai 45° .
3. menggunakan rangkaian yang berfungsi sebagai alat untuk linearisasi data yang berbentuk skuensial.

KESIMPULAN

Kompas plat dapat dirancang sebagai sensor untuk keperluan penentuan arah pergeseran melalui memadukannya dengan sensor optik dan reflector, meskipun data yang diperoleh masih belum linear dan perlu penyempurnaan lebih lanjut dari segi mekanis dan elektrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2007, _____, www.centrin.net.id/delta.com
- Fraden J. 1996. *Modern Sensor. Concept and Application*. Prentice Hall.
- Hasan. 1998. *Pembuatan Sistem Pemantau Arah Angin Berbasis Komputer*. Elektro Indonesia. Edisi ke Lima Belas, Bulan Nopember 1998.

- Maharta N, 1996, *Belajar Fisika Sistematis*, Concepts Science Bandung, Bandung
- Prasetyo, H. 2001. *Program Perhitungan Benda Langit Untuk Navigasi Laut*. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia, V3. n7, Oktober 2001, hal. 15-25 /Humas-BPPT.
- Setiawan D,P,. 2003, *Belajar Sistem Cepat Elektronika*, Absolut, Yogyakarta.
- Singh J, 1995. *Semiconductor Optoelectronics, Physician Technology*. The McGraw-Hill Companies.Inc. Avenue of America New York.

ANALISIS SISTEM PENTANAHAN GRID ROD GARDU INDUK TEGANGAN TINGGI 150 KV DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM MS VISUAL BASIC

HENRY B.H. SITORUS (*), HERMAN H. SINAGA (*), HENDRI ALBERT
NOPAER SIMANJUNTAK (**)

(*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro FT Unila

(**) Alumni Jurusan Teknik Elektro FT Unila

Jurusan Teknik Elektro UNILA

E-Mail: hbh_sitorus@unila.ac.id, HP: 081369031080

ABSTRACT

Phase to ground fault on 150 kV high voltage substation will caused current fault flows from apparatus part to grounding terminal. This will caused dangerous voltage gradien for human safety around that substation area. To prevent this problem its needed an excellent grounding system. The main issue on this research is how to resolve the good grounding system, which has resistance, step voltage and mesh voltage that match to IEEE/ANSI Std 80-1986 standard. The result shown for gravel soil the deeper the conductor burried the larger ground resistance and mesh voltage and for step voltage its smaller. But for farming and wet sand soil ground resistance, mesh voltage and step voltage will smaller. The larger the grounding area and number of mesh , the smaller grounding resistance, mesh voltage and step voltage.

Key Words: Grounding resistance, mesh voltage, step voltage

PENDAHULUAN

Dalam suatu gardu induk dibutuhkan suatu sistem pentanahan yang handal. Hal ini dimaksudkan agar ketika terjadi gangguan fasa ke tanah pada Gardu Induk Tegangan Tinggi (GITT)150 kV tidak akan membahayakan keselamatan manusia, sebab arus gangguan akan mengalir pada bagian peralatan dan ke piranti pentanahan. Hal ini akan menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan gradien tegangan pada permukaan tanah yang berbahaya bagi manusia dan peralatan yang berada di area gardu induk. Oleh sebab itu diperlukan sistem pentanahan yang baik dan efektif meratakan gradien tegangan yang timbul.

Sistem pentanahan peralatan gardu induk yang umum digunakan saat ini adalah sistem pentanahan *Driven Rod, Counterpoise*, menggunakan kisi (Grid) dan gabungan antara sistem pentanahan *Grid* dan Rod. Dari ketiga model sistem pentanahan ini sistem kisi (Grid) dan Rod paling sering digunakan untuk Gardu Induk Tegangan Tinggi 150 kV. Untuk jenis tanah di Lampung yang

dikelompokkan dalam 3 jenis tanah yakni jenis tanah bebatuan, jenis tanah berpasir dan jenis tanah pertanian memiliki tahanan jenis tanah yang berbeda-beda. Jadi dibutuhkan analisis untuk menghitung nilai tahanan pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah dengan membuat kombinasi antara jumlah mesh dan rodnya, kedalaman penanaman konduktor dengan mempertimbangkan nilai dari tahanan jenis tanah, pengaruh tahanan jenis tanah untuk beberapa jenis tanah yang berbeda dengan kedalaman yang sama serta dimensi area pentanahan yang akan digunakan sehingga menghasilkan nilai tahanan pentanahan (R), tegangan sentuh (E_m) dan tegangan langkah (E_s) yang lebih baik dan lebih aman.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan untuk menganalisis nilai dari tahanan pentanahan, tegangan sentuh, dan tegangan langkah untuk ketiga jenis tanah di Lampung dimana nilai tersebut masih memenuhi standard yang telah ditentukan dan dapat dikategorikan baik dan aman bagi manusia dan peralatan. Untuk melakukan semua perhitungan tersebut dengan cepat, maka diperlukan suatu media perhitungan melalui bantuan komputer yakni dengan menggunakan program MS Visual Basic. Melalui program ini maka akan diperoleh suatu kombinasi grid rod yang baik dan tepat dan menghasilkan nilai tahanan pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah yang aman dan sesuai dengan ketentuan *standard IEEE/ANSI Std 80-1986*.

Tugas akhir ini menggunakan data sistem pentanahan salah satu gardu induk yang ada di Lampung yakni sistem pentanahan Grid Rod Gardu Induk Tegangan Tinggi (GITT) 150 kV Sutami Lampung dan data pengukuran tahanan jenis tanah di Lampung. (A. Ilahi, 2005) sebagai data Input dan pembandingan terhadap nilai yang ditetapkan oleh *standard IEEE/ANSI Std 80-1986*.

1. Tahanan Pentanahan

Pentanahan yang ideal harus memberikan nilai tahanan pentanahan mendekati nol atau ≤ 1 ohm untuk gardu induk bertegangan tinggi (*ANSI/IEEE Std 80-1986*). Sebagai perkiraan pertama, sebuah nilai minimum dari tahanan pentanahan gardu induk pada tanah yang seragam (*uniform*) untuk lapisan pertama (permukaan tanah) saja dapat dihitung dengan persamaan :

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \dots\dots\dots(3)$$

dimana,

R_g = tahanan pentanahan (Ω)

ρ = tahanan jenis tanah (Ω -m)

A = luas area pentanahan grid (m^2)

Kemudian, pada lapisan kedua dengan adanya gabungan antara grid dan batang rod untuk tanah yang seragam, jumlah konduktor grid dan konduktor batang rod yang ditanam pada kedalaman tertentu dikombinasikan dengan persamaan 2 sehingga diperoleh persamaan seperti dibawah ini {Laurent, P. G., 1951 dan Nieman, J, 1952) :

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L} \dots\dots\dots(4)$$

dimana,

L = total dari panjang konduktor yang tertanam (m)

Untuk perhitungan nilai tahanan dari pentanahan grid yang diformulasikan oleh Nieman, J., (1952), diperoleh sebagai berikut :

$$R_g = \rho \left(\frac{1}{4r} + \frac{1}{L} \right) \text{ untuk } h = 0; \quad r = \sqrt{A/\pi} \dots\dots\dots(5)$$

Perhitungan tahanan pentanahan untuk kedalaman tertentu yakni $0 < h < 2.5$ m berdasarkan Laurent, P.G.,(1951) diperoleh

$$R_g = \rho \times \frac{1}{8r} \left(1 + \frac{r}{2.5h + r} \right) \dots\dots\dots(6)$$

Dari kedua persamaan 5 dan 6 diatas dikombinasikan oleh IEEE Std 80-1986 diperoleh persamaan untuk kedalam konduktor $0 \text{ m} < h < 2.5 \text{ m}$:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \dots\dots\dots(7)$$

dimana,

h = kedalaman penanaman konduktor (m).

Panjang total konduktor pentanahan L merupakan penjumlahan dari grid dan rod :

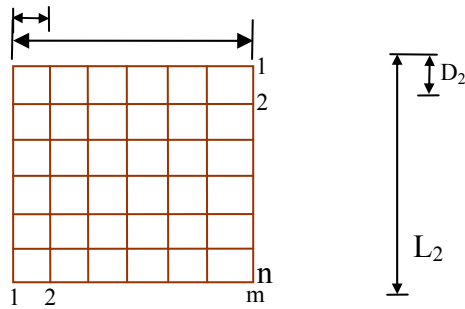
$$L = L_c + L_r \dots\dots\dots(8)$$

dengan,

L_c = panjang konduktor pentanahan grid

L_r = panjang konduktor pentanahan rod.

Untuk menentukan panjang konduktor pentanahan grid L_c dapat dirumuskan dengan mengacu pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem pentanahan grid panjang L_1 dan L_2

$$L_c = L_1 n + L_2 m \dots\dots\dots (9)$$

$$D_1 = \frac{L_1}{m-1} \dots\dots\dots (10)$$

$$D_2 = \frac{L_2}{n-1} \dots\dots\dots (11)$$

$$L_c = L_1 \left(\frac{L_2}{D_2} + 1 \right) + L_2 m \dots\dots\dots (12)$$

dimana,

L_1 = panjang konduktor (m)

L_2 = lebar konduktor (m)

n = jumlah konduktor parallel sisi panjang

m = jumlah konduktor parallel sisi lebar

D_1 = jarak antar konduktor parallel sisi panjang

D_2 = jarak antar konduktor parallel sisi lebar

2. Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah

a. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pengetanahan yang berada di bawahnya [Hutauruk, T.S., 1991].

$$E_{t70} = (1000 + 1.5 \rho_s C_s) \frac{0.157}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots (13)$$

$$E_{t50} = (1000 + 1.5 \rho_s C_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots (14)$$

dimana,

E_{t50} = tegangan sentuh untuk berat badan manusia 50 kg,

E_{t70} = tegangan sentuh untuk berat badan manusia 70 kg,

C_s = faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah

ρ_s = tahanan jenis permukaan material (lapisan batu koral), Ohm-m

t = waktu gangguan tanah (waktu kejut), detik

faktor reduksi dari nilai resistivitas permukaan tanah diformulasikan :

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{2 n h_s}{0.08} \right)^2}} \right] \dots\dots\dots(15)$$

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \dots\dots\dots(16)$$

dengan,

K = faktor refleksi

Hs = ketebalan lapisan batu koral (m)

ρ = tahanan jenis tanah (ohm-m)

ρ_s = tahanan jenis permukaan material lapisan batu koral (ohm-m)

Tabel 1. Tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan berdasarkan IEEE Std 80-1986.

Lama Gangguan (t) (detik)	Tegangan Sentuh Yang Diizinkan (Volt)
0,1	1980
0,2	1400
0,3	1140
0,4	990
0,5	890
1	626
2	443
3	362

Untuk pentanahan grid dengan model bujur sangkar maupun empat persegi panjang (*rectangular grid*) menurut IEEE Std 80-1986 mempunyai batasan :

1. Jumlah konduktor parallel dalam satu sisi kurang dari 25 ($n < 25$),
2. $0.25 < h < 2.5$ dengan h adalah kedalaman penanaman konduktor (m),
3. $d < 25$ m, d adalah diameter penghantar (m),
4. $D > 2.5$ m, D adalah jarak antar konduktor parallel (m).

a. Tegangan langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul di antara dua kaki orang yang sedang berdiri di atas tanah yang sedang dialiri oleh arus kesalahan ke tanah.

$$E_{s50} = (1000 + 6\rho_s Cs) \frac{0.116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(17)$$

$$E_{s70} = (1000 + 6\rho_s Cs) \frac{0.157}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(18)$$

dimana,

E_{s50} = tegangan langkah untuk berat badan manusia 50 kg,

E_{s70} = tegangan langkah untuk berat badan manusia 70 kg.

Tabel 2. Tegangan Langkah yang diijinkan dan lama gangguan berdasarkan IEEE Std 80-1986.

Lama Gangguan (t) (detik)	Tegangan Langkah yang Diijinkan (Volt)
0,1	7000
0,2	4950
0,3	4040
0,4	3500
0,5	3140
1	2216
2	1560
3	1280

Tegangan mesh/sentuh dan tegangan langkah sebenarnya (E_m dan E_s) yang diformulasikan oleh IEEE Std 80-1986 diperoleh sebagai berikut :

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + 1.15 L_r} \dots\dots\dots(19)$$

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L_c + 1.15 L_r} \dots\dots\dots(20)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{1}{\sqrt{1+\frac{h}{h_0}}} \ln \left(\frac{8}{\pi(2N-1)} \right) \right] \dots\dots\dots(21)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{N-2}) \right] \dots\dots\dots(22)$$

$$N = \sqrt{n.m} \dots\dots\dots(23)$$

$$K_i = 0.94 + 0.047 N \dots\dots\dots(24)$$

$$D = \sqrt{\frac{A}{N}} \dots\dots\dots(25)$$

dengan :

h_0 = kedalaman penanaman konduktor grid referensi = 1 (m),

K_i = faktor koreksi tegangan mesh untuk nilai pertambahan arus pada grid,

K_m = faktor geometrik tegangan mesh,

K_s = faktor grid tegangan langkah.

b. Arus Grid Maksimum

Arus grid maksimum adalah arus terbesar yang mengalir pada rangkaian pentanahan grid saat terjadi gangguan fasa ke tanah.

$$I_G = C_p D_f I_g \dots\dots\dots(26)$$

$$I_g = S_f I_f \dots\dots\dots(27)$$

$$I_f = 3 I_0 \dots\dots\dots(28)$$

dimana,

I_G = arus grid maksimum (A)

D_f = decrement factor, nilainya ditentukan berdasar waktu gangguan = 1 (untuk waktu gangguan 0.5 detik)

C_p = faktor proyeksi korektif yang dihitung untuk kenaikan relatif arus gangguan selama keberlangsungan sistem. Untuk sistem dengan pertumbuhan nol $C_p = 1$

I_g = arus grid simetris (A)

I_f = nilai rms dari arus gangguan tanah (A)

S_f = faktor pembagi arus gangguan, = 0.7 (untuk gardu induk yang berkawat tanah)

I_0 = arus gangguan urutan nol.

c. Bahan dan Metode

Program ini menggunakan data acuan yang digunakan sebagai input untuk program perhitungan nilai tahanan pentanahan (R), tegangan mesh (Em), tegangan langkah (Es) dan kriteria tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diijinkan untuk sebuah gardu induk.

Adapun data acuan yang digunakan sebagai berikut :

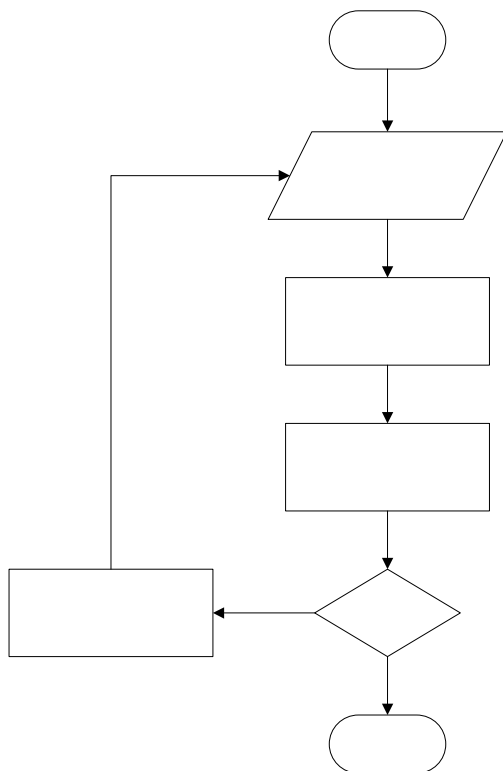
Tegangan sistem	= 150 kV
Tahanan jenis permukaan batu koral (Rho's)	= 3000 Ohm-m
Arus gangguan maksimum (If)	= 31,5 kA
Waktu gangguan (tf)	= 0,5 detik
Panjang grounding rod (S)	= 3,5 m
Ketebalan lapisan koral (hs)	= 0,1 m
Jenis Konduktor	= Std Soft Cu Wire
Diameter konduktor	= 0,0157 m

Nilai dari tahanan jenis tanah yang digunakan diperoleh dari hasil pengukuran tahanan jenis tanah yang ada di Lampung untuk beberapa kondisi tanah yang berbeda yakni kondisi tanah bebatuan, tanah pasir basah, dan tanah pertanian (A. Ilahi, 2005). Nilai tahanan

jenis tanah ditentukan berdasarkan kedalaman penanaman konduktor yang ditetapkan yakni 0.3 m, 0.8 m, dan 1.5 m (dapat dilihat pada lampiran yakni data nilai tahanan jenis tanah oleh Ilahi, A., 2005) Dengan dasar bahwa *IEEE standard 80* merekomendasikan kedalaman penanaman 0.25 m sampai 2.5 m.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. membangun program aplikasi perhitungan nilai tahanan pentanahan (R), tegangan langkah (E_L), dan tegangan sentuh (E_S) dengan mengikuti diagram alir seperti gambar 2.
2. memasukkan data-data masukan ke program aplikasi.
3. menjalankan program (*running program*)
4. Analisis hasil



Gambar 2. Diagram alir aplikasi perhitungan nilai tahanan pentanahan (R), tegangan langkah (E_L), dan tegangan sentuh (E_S)

Mulai

HASIL dan PEMBAHASAN

1. Pengaruh luas area pentanahan

Hasil perhitungan (seperti ditunjukkan dalam gambar 3, gambar 4 dan gambar 5) menunjukkan bahwa semakin luas area pentanahan maka tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah semakin kecil. Penurunan nilai-nilai sedemikian terjadi sampai $m, D1, D2, d, N$

luas 40.000 m^2 , sedangkan kenaikan di atas 40.000 m^2 tidak begitu signifikan. Apabila ketiga jenis tanah diperbandingkan terlihat bahwa tanah pertanian mempunyai tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah yang lebih kecil dibandingkan dengan tanah pasir dan tanah bebatuan. Hal ini sangat wajar karena tahanan jenis tanah pertanian lebih kecil dari kedua jenis tanah lainnya.

2. Pengaruh Jumlah mesh

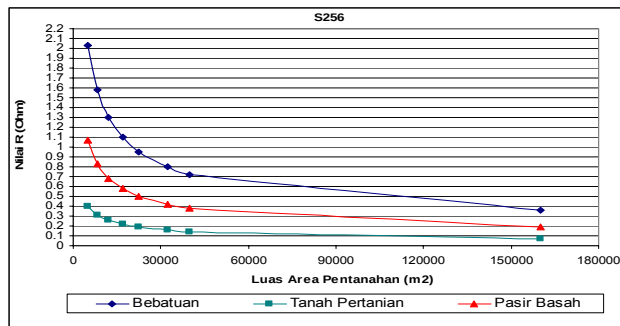
Semakin banyak jumlah mesh maka nilai tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah semakin kecil. Penurunan nilai tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah akibat pengaruh pertambahan jumlah mesh terlihat signifikan hanya mulai dari jumlah mesh antara 1 mesh sampai dengan 64 mesh. Diatas 64 mesh pertambahan jumlah mesh tidak begitu berpengaruh terhadap penurunan nilai tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah (ditunjukkan pada gambar 6, gambar 7 dan gambar 8).

3. Pengaruh kedalaman penanaman konduktor

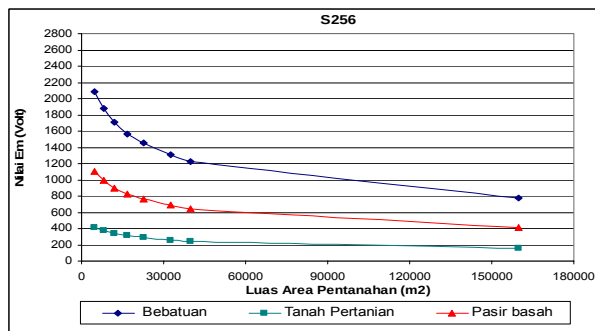
Berdasarkan hasil perhitungan oleh program, pengaruh pertambahan kedalaman penanaman konduktor terhadap tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah untuk ketiga jenis tanah baik pada grid dengan bentuk bujur sangkar maupun persegi panjang (ditunjukkan pada gambar 9, gambar 10 dan gambar 11) adalah sebagai berikut :

- a. Untuk Tanah Bebatuan semakin dalam penanaman konduktor, nilai tahanan pentanahan dan tegangan mesh semakin besar sedangkan nilai tegangan langkahnya semakin kecil.
- b. Untuk tanah pasir basah nilai dari tahanan pentanahan, tegangan mesh dan tegangan langkahnya semakin kecil dengan penanaman konduktor yang semakin dalam.
- c. Untuk Tanah Pertanian semakin dalam penanaman konduktor, nilai dari tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkahnya

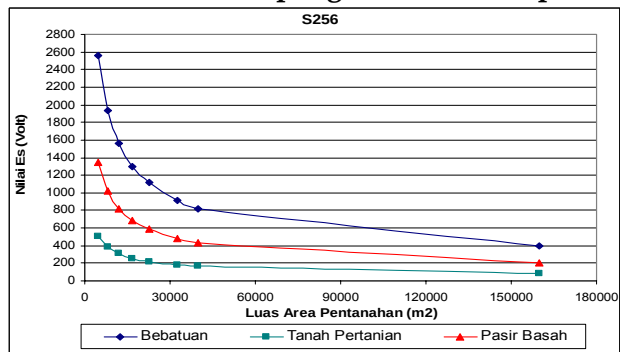
Nilai tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah berdasarkan hasil perhitungan program MS Visual Basic dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



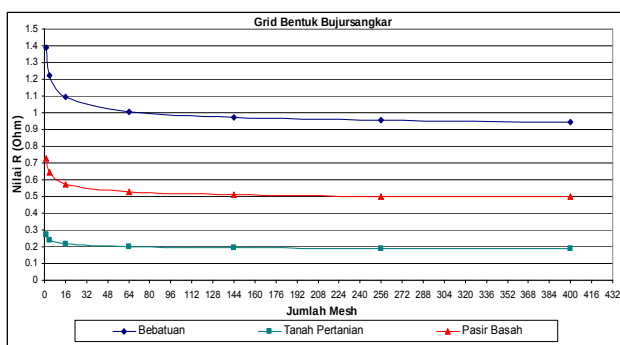
Gambar 3. Grafik pengaruh luas area pentanahan terhadap tahanan pentanahan



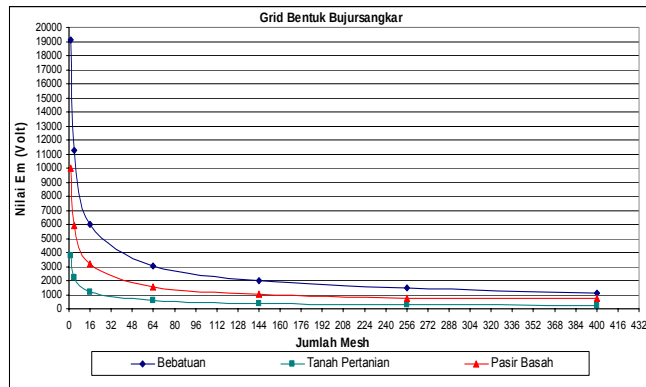
Gambar 4. Grafik pengaruh luas area pentanahan terhadap tegangan mesh



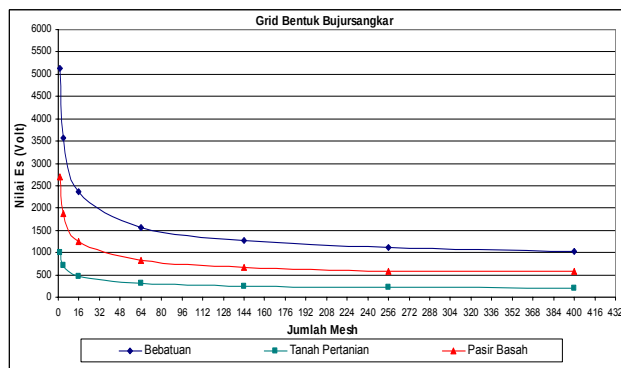
Gambar 5. Grafik pengaruh luas area pentanahan terhadap tegangan langkah



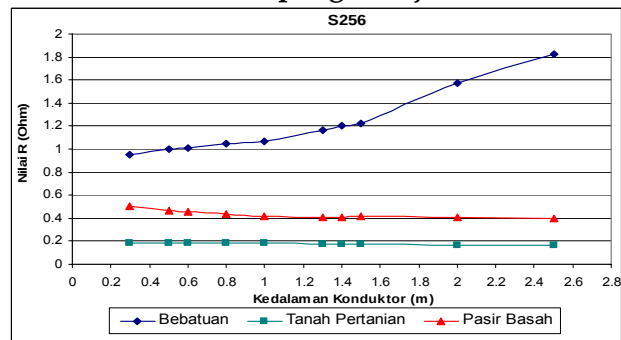
Gambar 6. Grafik pengaruh jumlah mesh terhadap tahanan pentanahan



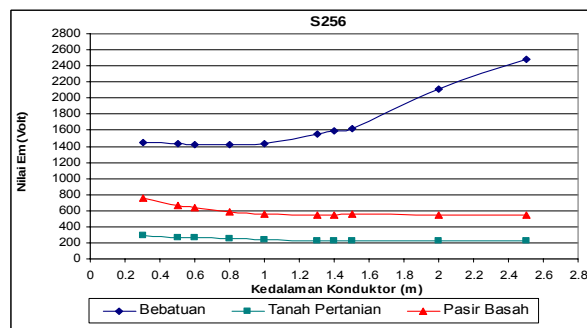
Gambar 7. Grafik pengaruh jumlah mesh terhadap tegangan mesh



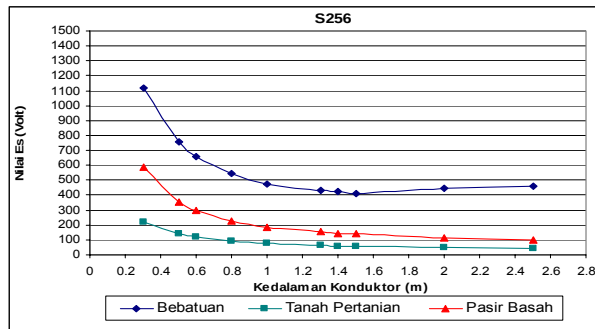
Gambar 8. Grafik pengaruh jumlah mesh terhadap tegangan langkah



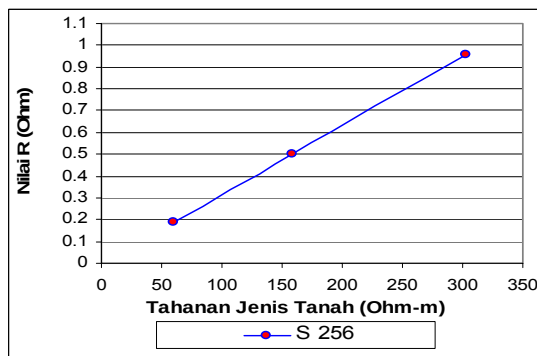
Gambar 9. Pengaruh kedalaman penanaman konduktor terhadap tahanan pentanahan



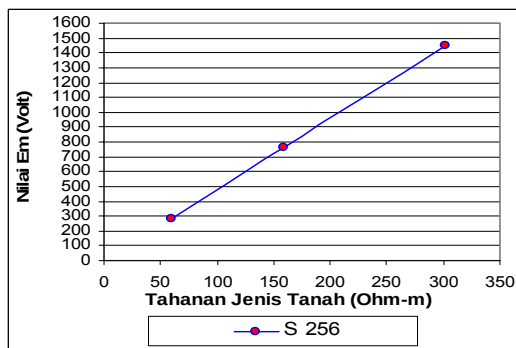
Gambar 10. Pengaruh kedalaman penanaman konduktor terhadap tegangan mesh pentanahan



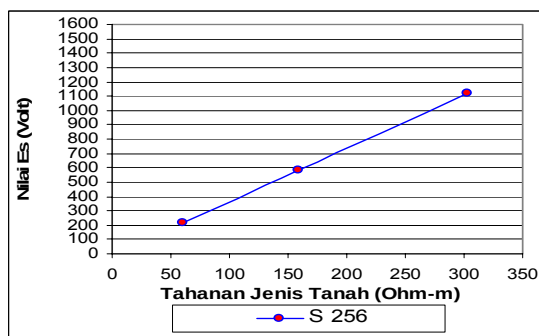
Gambar 11. Pengaruh kedalaman penanaman konduktor terhadap tegangan langkah pentanahan



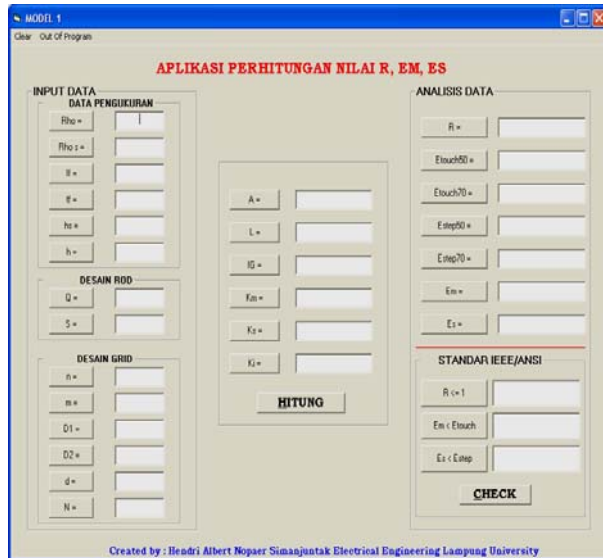
Gambar 12. Pengaruh tahanan jenis tanah terhadap nilai tahanan pentanahan



Gambar 13. Pengaruh tahanan jenis tanah terhadap nilai tegangan mesh



Gambar 14. Pengaruh tahanan jenis tanah terhadap nilai tegangan langkah



Gambar 15. tampilan *Graphical User Interface* (GUI) dengan menggunakan Visual Basic

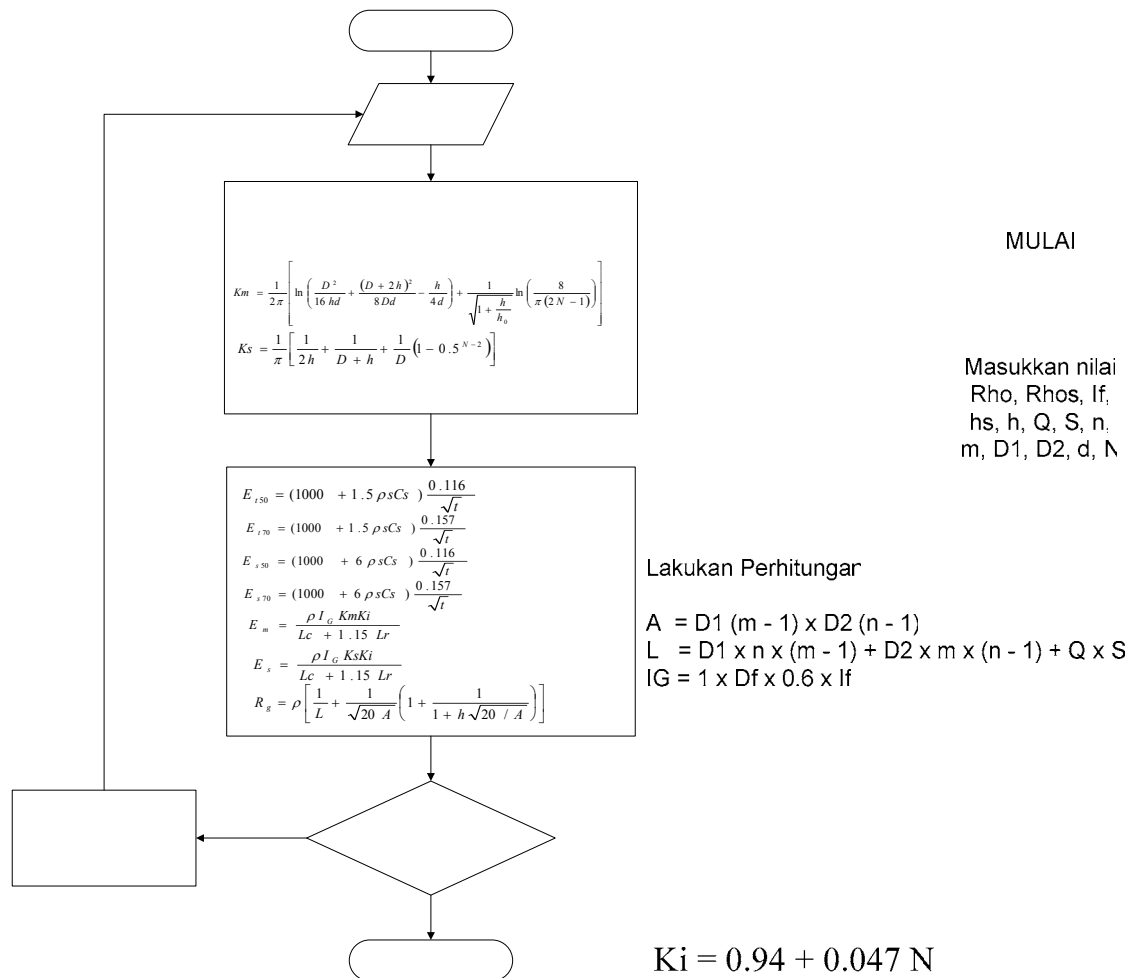
KESIMPULAN

1. Pertambahan luas area pentanahan pada sistem pentanahan grid rod menjadikan panjang total konduktor bertambah sehingga nilai dari tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah semakin kecil.
2. Penurunan nilai tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah akibat pengaruh pertambahan jumlah mesh terlihat signifikan hanya mulai dari jumlah mesh antara 1 mesh sampai dengan 64 mesh. Diatas 64 mesh pertambahan jumlah mesh tidak begitu berpengaruh terhadap penurunan nilai tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah.
3. Berdasarkan hasil perhitungan oleh program, pengaruh pertambahan kedalaman penanaman konduktor terhadap tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah untuk ketiga jenis tanah baik pada grid dengan bentuk bujur sangkar maupun persegi panjang adalah sebagai berikut :
 - a. Untuk Tanah Bebatuan semakin dalam penanaman konduktor, nilai tahanan pentanahan dan tegangan mesh semakin besar sedangkan nilai tegangan langkahnya semakin kecil.
 - b. Untuk tanah pasir basah nilai dari tahanan pentanahan, tegangan mesh dan tegangan langkahnya semakin kecil dengan penanaman konduktor yang semakin dalam.
 - c. Untuk Tanah Pertanian semakin dalam penanaman konduktor, nilai dari tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkahnya.

4. Nilai tahanan pentanahan, tegangan mesh, dan tegangan langkah semakin besar seiring dengan tahanan jenis tanah yang semakin besar untuk ketiga jenis tanah yang berbeda yaitu tanah pertanian, pasir basah, dan tanah bebatuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Gonnos, I.F., et al., 1999, "Transient Impedance of Grounding Rods", ISH'99
- Laurent, P. G., Les Bases Generales de la Technique des Mises a la Terre dans les installations Electriques. Bulletin de la Societe francaise des electriciens, Vol. 1, ser 7, July 1951, pp 368-402 (English Translation available in Appendix I.
- Nieman, J., Unstellung von Hochstspannungs-Erdungsalagen Aufden Betrieb Mit Starr Geerdetem Sternpunkt. Electrotechnische Zeitschrift, Vol 73, No. 10, May 1952, pp 333-337.
- Verma, R., 1984 dan Mukhedkar, D., 1984, "Fundamental Consideration and Impuls Impedance of Grounding Grid", IEEE Vol. PAS-100 No.3, pp1023-1030.
- Halvorson, Michael. 2003. Step by Step. Microsoft Visual Basic 6.0. Elex Media komputindo.
- Hutahuruk, T.S., 1991, "Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan", Penerbit Erlangga. Bandung.
- IEEE, 1986, "IEEE Guide For Safety In AC Substation Grounding". American National Standards Institute / IEEE Standards 80-1986, IEEE Power Engineering Society.
- Ilahi, A., 2005, "Studi Sistem Pembumian Batang Tunggal Dengan Menganalisis Resistansi Jenis Tanah (Sistem Driven Rod)", Tugas Akhir. Bandar Lampung.
- Haddin, M., 2002, Tumiran, 2002 dan Haryono, T., 2002, "Evaluasi Sistem Pentanahan Grid Rod Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV", Proceedings SNWT V 2002/D-3. Yogyakarta.



Tabel 1. Tahanan Jenis Tanah Untuk Tanah Pertanian

Kedalaman (m)	Tahanan Jenis Tanah (Ohm-m)
0,1	61,19
0,2	60,33
0,3	59,73
0,4	58,99
0,5	59,93
0,6	59,63
0,7	59,27
0,8	58,47
0,9	57,45
1	57,5
1,1	57,22
1,2	56,42
1,3	55,67
1,4	54,97
1,5	55,45
2	54,98
2,5	54,65

Sumber : Ilahi, A., Hasil Pengukuran.

CLEAR

TIDAK

R <= 1
Em <= Etouch
Es <= Estep

Tabel 2. Tahanan Jenis Tanah Untuk Tanah Pasir Basah

Kedalaman (m)	Tahanan Jenis Tanah (Ohm-m)
0,1	156,48
0,2	157,39
0,3	158,87
0,4	152,72
0,5	148,38
0,6	143,99
0,7	140,25
0,8	137,86
0,9	135,87
1	133,43
1,1	131,24
1,2	130,03
1,3	132,45
1,4	131,3
1,5	133,63
2	132,1
2.5	131,01

Sumber : Ilahi, A., Hasil Pengukuran.

Tabel 3. Tahanan Jenis Tanah Untuk Tanah Bebatuan

Kedalaman (m)	Tahanan Jenis Tanah (Ohm-m)
0,1	296,78
0,2	301,87
0,3	302,44
0,4	307,485
0,5	317,72
0,6	321,46
0,7	331,57
0,8	333,18
0,9	338,75
1	341,09
1,1	350,86
1,2	360,965
1,3	375,367
1,4	386,072
1,5	392,527
2	511,04
2.5	595,13

Sumber : Ilahi, A., Hasil Pengukuran.

ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA BELITAN TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN WAVELET DISKRIT

Herman Halomoan Sinaga*, Henry Binsar Hamonangan Sitorus*, Rizky**

*) Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro

**) Alumni Jurusan Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung

e-mail : herman_hs@unila.ac.id

ABSTRACT

Short-circuit fault on transformer turn was one of the most disruptive for electrical service. This cause of needed of detection of short-circuit on transformer. In this paper discussed short-circuit fault on 220/500 volt, 250 VA transformers. Experiment done for normal condition and fault on both primary and secondary turn. Analysis done using Haar discrete wavelet transforms. Analysis result shows the difference between normal and fault condition. When fault occur, analysis result shows that spike occur on wavelet signal decomposition. Spike occurs specially on secondary side. This will lead us to put measurement instrument just on secondary side to detect of occurrence of short-circuit on transformer turn.

Keywords : *transformer, short-crcit fault, wavelet transformer*

PENDAHULUAN

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada sebuah transformator dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi transformator sehingga dapat berpotensi terjadinya kerusakan pada transformator. Hal ini disebabkan karena arus yang mengalir pada belitan transformator saat terjadi hubung singkat sangat besar. Untuk itu perlu diketahui perbedaan antara keadaan transformator dalam keadaan normal dan keadaan transformator saat terhubung singkat.

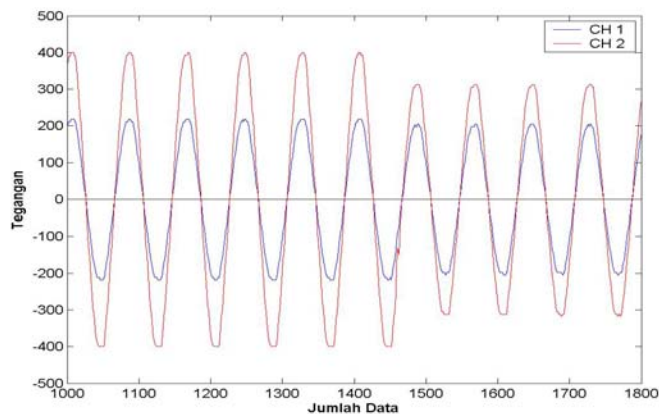
Metode yang digunakan untuk menganalisis data dari kedua keadaan tersebut adalah metode transformasi wavelet dengan bantuan program Matlab. Hal ini dilakukan karena transformasi wavelet memberikan analisis keadaan yang lebih jelas yang tak terlihat hanya dengan menggunakan osiloskop saja. Analisis transformasi wavelet dilakukan untuk mendapatkan karakterisasi gangguan hubung singkat dan gangguan pensaklaran perubahan beban.

1. Hubung Singkat Pada Transformator

Dari evaluasi kerusakan trafo tenaga yang terjadi di PT. PLN (se-Jawa) dalam kurun waktu 1988 - 1994 terjadi kerusakan Trafo

Tenaga sebanyak 753 unit. Sebagian besar (46 %) disebabkan oleh ketidak mampuan menahan arus gangguan hubung singkat. Hubung singkat yang terjadi dapat berdampak rusaknya transformator. Jika gangguan hubung singkat tidak diatasi secara dini maka akan menimbulkan panas pada belitan transformator sehingga memungkinkan transformator akan breakdown dan tidak dapat digunakan untuk selamanya.

Penyebab terjadinya hubung singkat pada transformator biasanya adalah meningkatnya arus akibat beban lebih atau telah terjadi hubung singkat akibat *switching* antar belitan transformator. Berikut ini adalah contoh tegangan hubung singkat transformator :



Gambar 1. Contoh Tegangan Hubung Singkat pada Transformator

Dampak terjadinya hubung singkat pada transformator adalah sebagai berikut :

- 1) Hubung singkat mengakibatkan panas dimana panas yang ditimbulkan tersebut adalah energi yang hilang atau disebut P.R.
- 2) Hubung singkat pada trafo menimbulkan kelebihan arus yang tinggi mengakibatkan panas dan merusak kadar daya tahan isolasi minyak trafo semakin lemah dan merusak kawat.

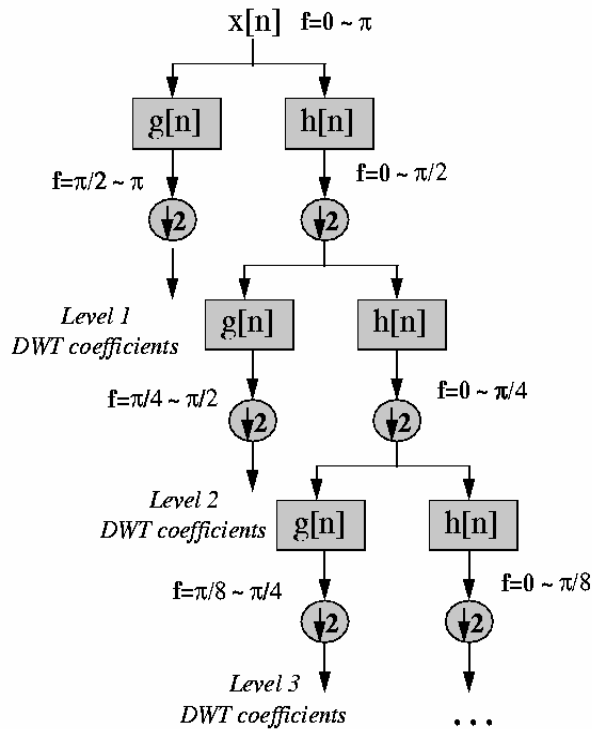
2. Transformasi Wavelet Diskrit / DWT

DWT mempunyai 2 fungsi yaitu fungsi penskalaan dan fungsi wavelet dimana ini merupakan penyatuan antara filter frekuensi rendah dan filter frekuensi tinggi. Sinyal asli $x[n]$ dilewatkan melalui filter setengah frekuensi tinggi $g[n]$ dan setengah frekuensi rendah $h[n]$. Setelah itu sinyal menjadi 2 bagian yaitu sinyal frekuensi rendah dengan frekuensi $0 \sim \pi/2$ dan sinyal frekuensi tinggi dengan frekuensi $\pi/2 \sim \pi$. Ini adalah tingkat pertama dari analisis DWT. Proses matematika adalah sebagai berikut :

$$y_{high} = [k] = \sum x[n].g[2k - n] \quad (1)$$

$$y_{low}[k] = \sum_n x[n] \cdot h[2k - n] \quad (2)$$

dimana $y_{high}[k]$ dan $y_{low}[k]$ adalah keluaran dari filter frekuensi tinggi dan filter frekuensi rendah.



Gambar 2 Algoritma Pengkodean Setengah

Misalkan $x[n]$ dengan frekuensi 0 sampai π rad/s mempunyai 512 titik contoh. Dekomposisi pada tingkat pertama sinyal dilepaskan melewati filter frekuensi tinggi dan rendah yaitu melewati 2 buah sampling. Menghasilkan keluaran dari filter frekuensi tinggi sebanyak 256 titik (menghasilkan $\frac{1}{2}$ resolusi waktu) dengan frekuensi $\pi/2$ hingga π rad/s (menghasilkan 2 kali resolusi frekuensi). Ini adalah 256 contoh titik yang didapatkan pada koefisien DWT tingkat pertama. Keluaran dari filter frekuensi rendah juga mempunyai 256 titik tapi ini akan menjadi $\frac{1}{2}$ frekuensi anakan (dengan frekuensi 0 hingga $\pi/2$ rad/s) sampai dengan untuk diproses selanjutnya di tingkat 2. sinyal ini kemudian dilepaskan melewati filter frekuensi rendah dan filter frekuensi tinggi yang sama untuk proses dekomposisi berikutnya. Keluaran kedua dari filter frekuensi rendah oleh subsampling adalah 128 contoh dengan frekuensi 0 sampai dengan $\pi/4$ rad/s dan keluaran kedua dari filter frekuensi tinggi oleh subsampling juga sebanyak 128 contoh dengan frekuensi mulai dari $\pi/4$ hingga $\pi/2$ rad/s. Sinyal keluaran kedua dari filter frekuensi tinggi merupakan koefisien DWT tingkat kedua. Sinyal ini merupakan $\frac{1}{2}$ resolusi waktu tapi 2 kali resolusi frekuensi dari sinyal tingkat pertama. Resolusi waktu semakin kecil pada tingkat 4 dan resolusi frekuensi semakin naik dari sinyal yang asli. Keluaran dari

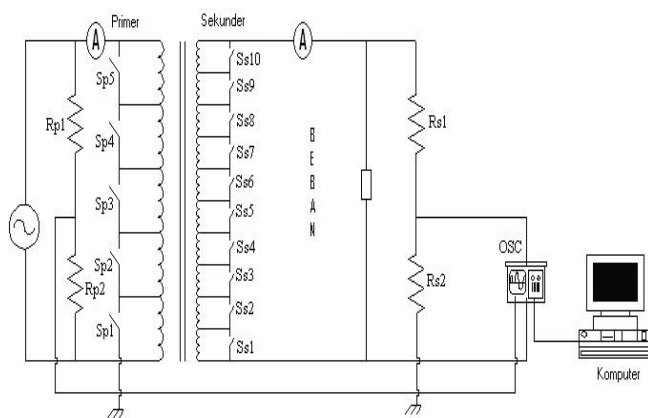
filter frekuensi rendah kemudian difilter sekali lagi untuk proses dekomposisi berikutnya. Dekomposisi dapat dilakukan hingga 8 tingkat dan banyaknya contoh setiap tingkat adalah $\frac{1}{2}$ dari tingkat berikutnya.

BAHAN dan METODE PENELITIAN

Transformator yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah transformator 1 phasa 220/500 volt dengan daya maksimum 250 VA.

1. Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Rangkaian Pengujian Transformator

Keterangan rangkaian pengujian transformator :

1. Rp1 dan Rp2 : resistor pada *divider* sisi primer transformator.
2. Rs1 dan Rs2 adalah resistor pada *divider* sisi sekunder transformator.
3. Rsh terpasang adalah 1 ohm dimana dimaksudkan untuk menganalisis besarnya arus hubung singkat pada sisi sekunder transformator yang menuju ke beban dan pengaruh gangguan arus pada sisi primer.
4. Sp1, Sp2, Sp3, Sp4 dan Sp5 adalah saklar untuk hubung singkat pada belitan primer transformator. Besarnya tegangan yang dihubung singkat pada Sp1, Sp2, Sp3, Sp4 dan Sp5 adalah sama yaitu sebesar 44 V.
5. Ss1, Ss2, Ss3, Ss4, Ss5, Ss6, Ss7, Ss8, Ss9 dan Ss10 adalah saklar untuk hubung singkat pada belitan sekunder transformator. Besarnya tegangan yang dihubung singkat pada Ss1 75 V, Ss2 75 V, Ss3 75 V, Ss4 75 V, Ss5 10 V, Ss6 90 V, Ss7 50 V, Ss8 25 V, Ss9 15 V, Ss10 10 V.
6. Amperemeter digunakan untuk mengukur arus hubung singkat pada sisi sekunder menuju ke beban dan arus pada sisi primer.
8. Beban normal 100% sebesar 250 VA.

9. Osiloskop yang digunakan adalah osiloskop digital untuk mencuplik bentuk gelombang pada setiap keadaan yang diujikan pada transformator.
10. Komputer digunakan untuk analisis data dari hasil pencuplikan bentuk gelombang, metode analisis dengan transformasi wavelet diskrit menggunakan perangkat lunak MATLAB.

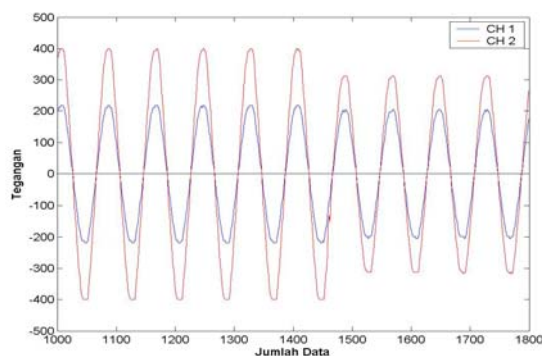
2. Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan beberapa prosedur pengujian. Adapun prosedur dalam pengambilan data yaitu :

1. Setelah rangkaian pengujian dibuat maka transformator diberikan tegangan masukan sebesar 220 volt.
2. Osiloskop dihidupkan dan tegangan terukur dicuplik pada kedua belitan primer dan sekunder transformator saat kondisi normal.
3. Saklar untuk proses hubung singkat dilakukan satu persatu yaitu jika saklar S_{S1} ditutup maka posisi saklar yang lain terbuka. Saat S_{S2} ditutup maka posisi saklar S_{S1} dan saklar yang lain dibuka.
4. Saklar pada proses hubung singkat untuk variasi beban dilakukan secara bergantian. Kondisi awal transformator terpasang beban 250 watt sebagai untuk beban 100%.
5. Tegangan diukur sampai semua kombinasi saklar yang telah ditetapkan dilakukan.

3. Metode Analisis Data.

Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu mengambil data hasil pengukuran yang berupa data digital dari osiloskop. Data dari osiloskop didapat dengan cara mencuplik tegangan hasil pengukuran yang berupa 2 jenis data yaitu data dalam format mes dan tab. Data dalam format mes hanya dapat dibuka dengan program osiloskop karena data ini hanya menampilkan bentuk gelombang tegangan yang telah dicuplik sedangkan data dalam format tab dapat dibuka dengan program excel. Dibawah ini contoh tipikal sinyal pada osiloskop yakni sinyal tegangan.



Gambar 4. Tampilan Sinyal Pada Osiloskop

Kedua data tersebut disimpan sebagai data pengukuran pertama dan demikian seterusnya untuk hasil pengukuran dengan semua kombinasi saklar. Kemudian data ini disimpan untuk dianalisis menggunakan program Matlab. Analsi dilakukan dengan menggunakan transformasi wavelet diskrit Haar.

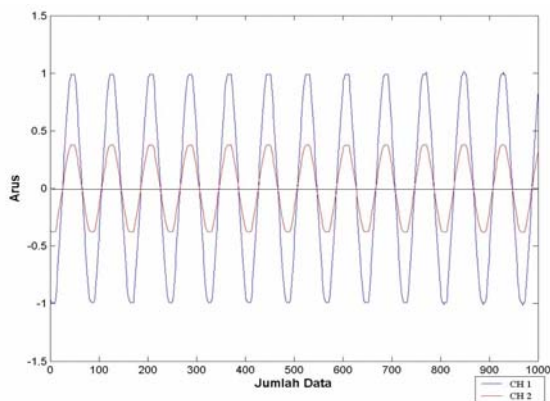
HASIL dan PEMBAHASAN

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan dalam dua bagian, yakni pengujian pada belitan primer dan belitan sekunder. Saat pengujian hubung singkat dilakukan pada bagian belitan primer, maka belitan sekunder dipertahankan dalam keadaan tetap, dan sebaliknya. Semua pengujian dilakukan dengan menggunakan beban nominal 250 VA.

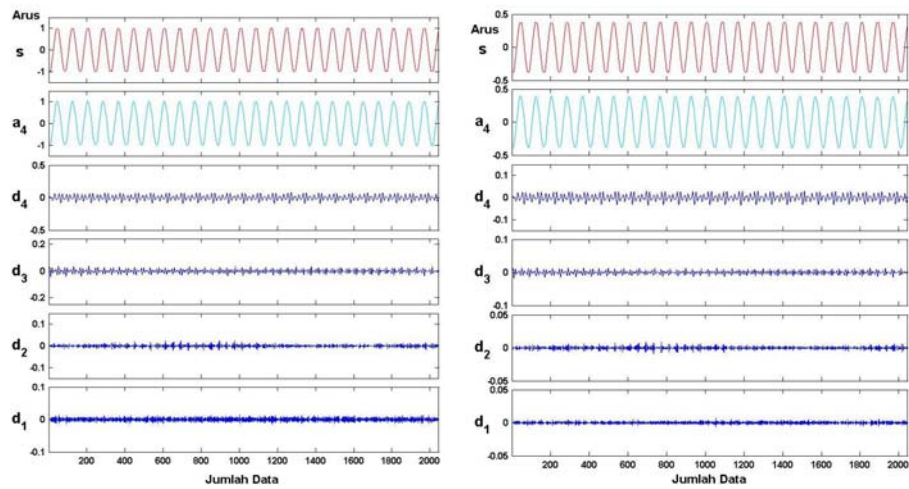
1. Kondisi Normal

Pengujian kondisi normal digunakan sebagai acuan analisis yang akan membedakan dengan kondisi terjadinya gangguan hubung singkat antar belitan dalam transformator.

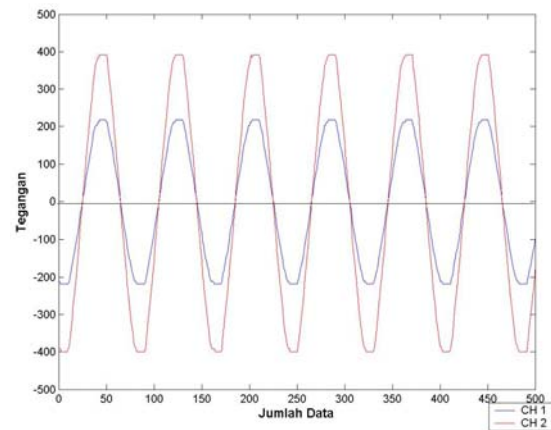
Berikut gambar pengujian pada kondisi normal, pengukuran dilakukan untuk mendapatkan arus dan tegangan pada belitan primer dan sekunder.



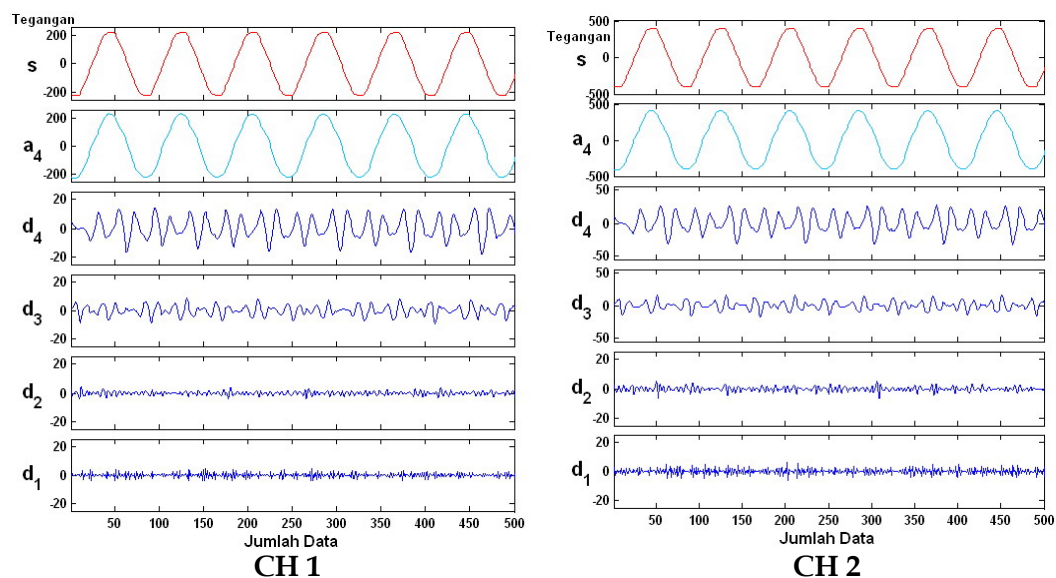
Gambar 5.a. Arus Normal pada Belitan Primer



Gambar 5.b. Analisis Arus Normal pada Belitan Primer



Gambar 6.a. Tegangan Normal pada Belitan Primer



Gambar 6.b. Analisis Tegangan pada Belitan Primer

Pada gambar 5.b dan 6.b, CH 1 dan CH 2 melewati beberapa tahap dekomposisi. Tahapan analisis wavelet dimulai dengan

menampilkan sinyal asli yang akan dianalisis yang mana sinyal asli tersebut diberi kode S sebagai inisial dari *source* atau sumber. Sinyal asli diberi warna yang berbeda untuk membedakan sinyal asli dengan sinyal hasil dekomposisi (sinyal asli berwarna merah). Kemudian sinyal asli melewati filter frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Pada kondisi ini sinyal asli melewati tahap resolusi untuk memisahkan sinyal yang baik dan sinyal yang mengalami gangguan. Setelah melewati filter frekuensi tinggi dan frekuensi rendah sinyal menjadi dua bagian yaitu sinyal a_4 dan d_4 .

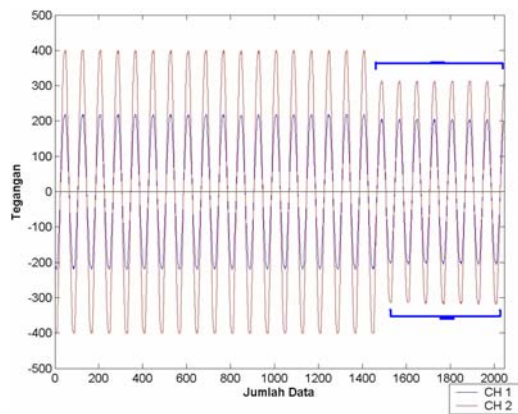
Sinyal hasil dekomposisi pertama berada pada level 1 dari tahap analisis sinyal wavelet. Sinyal yang berada pada level 1 yaitu a_4 dan d_4 . Sinyal d_4 akan melewati tahap dekomposisi pada level 2. Pada level 2 sinyal akan diperjelas dengan cara memperkecil frekuensi sinyal menjadi setengah kali frekuensi sinyal d_4 . Sinyal hasil dekomposisi pada level 2 diberi kode d_3 . Kemudian sinyal d_3 akan difilter kembali pada level 3 dimana frekuensi sinyal d_2 adalah setengah kali frekuensi sinyal d_3 . Seterusnya sinyal d_3 kembali melewati filter dan hasilnya frekuensi sinyal level 4 adalah setengah frekuensi sinyal d_3 . Sinyal hasil dekomposisi level 4 diberi kode d_1 . Sinyal dekomposisi hanya sampai level 4 karena analisis sinyal yang dipilih hanya sampai level ke-4. Dengan kata lain sinyal dapat melewati tahap dekomposisi diatas level 4 yaitu dapat melewati tahap dekomposisi hingga level 10. Semua tahap filter dari dekomposisi sinyal diatas berlaku pada setiap sinyal asli baik pada CH 1 maupun CH 2 untuk analisis sinyal hingga level 4. Dari analisis wavelet diskrit terlihat dekomposisi sinyal d_1 - d_4 memperlihatkan sinyal yang merata pada setiap waktunya.

2. Pengujian pada Belitan Primer

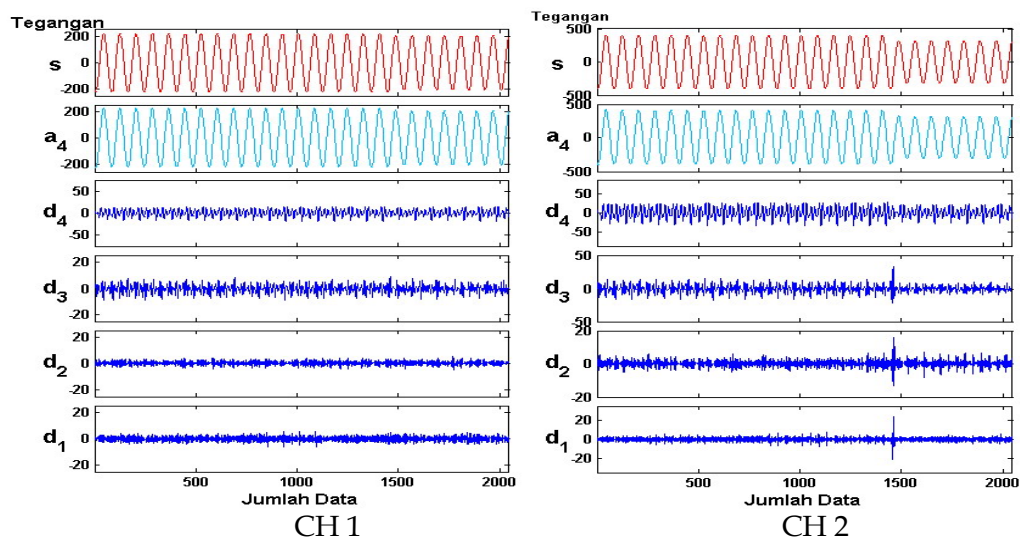
Data hasil pengujian ini merupakan data hasil pengujian gangguan hubung singkat yang terjadi pada belitan primer antara belitan pertama dan kedua dengan beban nominal.

Hasil pengujian pada belitan primer diperlihatkan pada gambar 7. Dari analisis wavelet (gambar 7.b) memperlihatkan sinyal yang telah didekomposisi.

Data yang dicuplik dengan menggunakan osiloskop dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Berikut ini merupakan beberapa data dan analisis gangguan hubung singkat pada belitan primer yang dapat menjelaskan pengaruh besarnya tegangan hubung singkat terhadap efek gangguan yang akan ditimbulkannya:



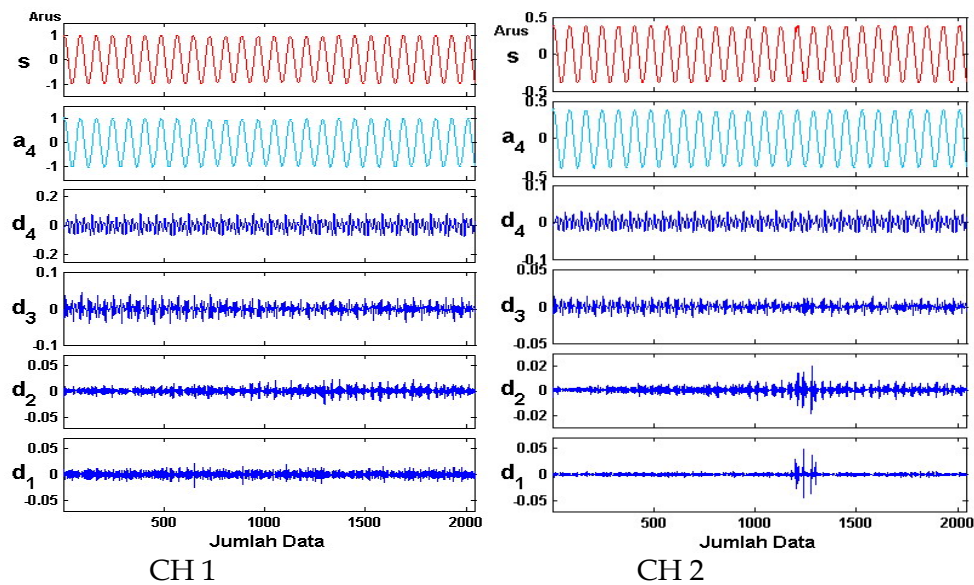
Gambar 7.a. Tegangan Hubung Singkat pada Sp2



Gambar 7.b. Keadaan Tegangan Hubung Singkat pada Sp2

Berdasarkan gambar 7 memperlihatkan bahwa hubung singkat pada belitan transformator akan menghasilkan gangguan yang akan dirasakan secara bersama pada sisi primer dan sekunder transformator. Analisis wavelet memperlihatkan dekomposisi d_1 - d_3 menghasilkan dekomposisi dengan ciri khas spike timbul saat terjadinya gangguan.

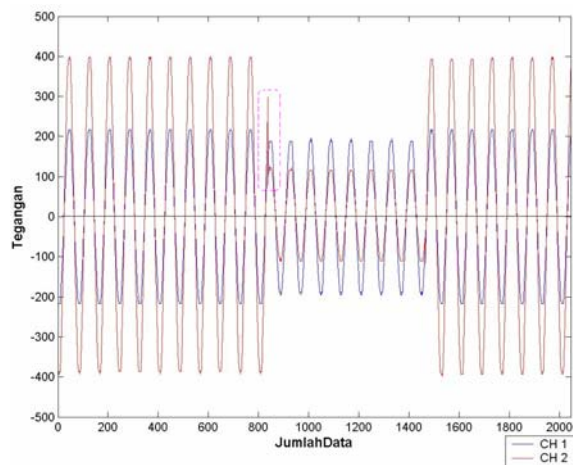
Spike yang terjadi dominan diperlihatkan pada sisi sekunder walaupun gangguan hubung singkat terjadi pada sisi primer. Hal ini dapat terjadi karena sisi belitan sekunder menghasilkan tegangan yang lebih besar dibandingkan pada sisi primer. Sehingga perubahan tegangan jauh lebih besar pada sisi sekunder transformator. Hal yang sama diperlihatkan pada pengukuran arus saat terjadinya gangguan hubung singkat (gambar 8).



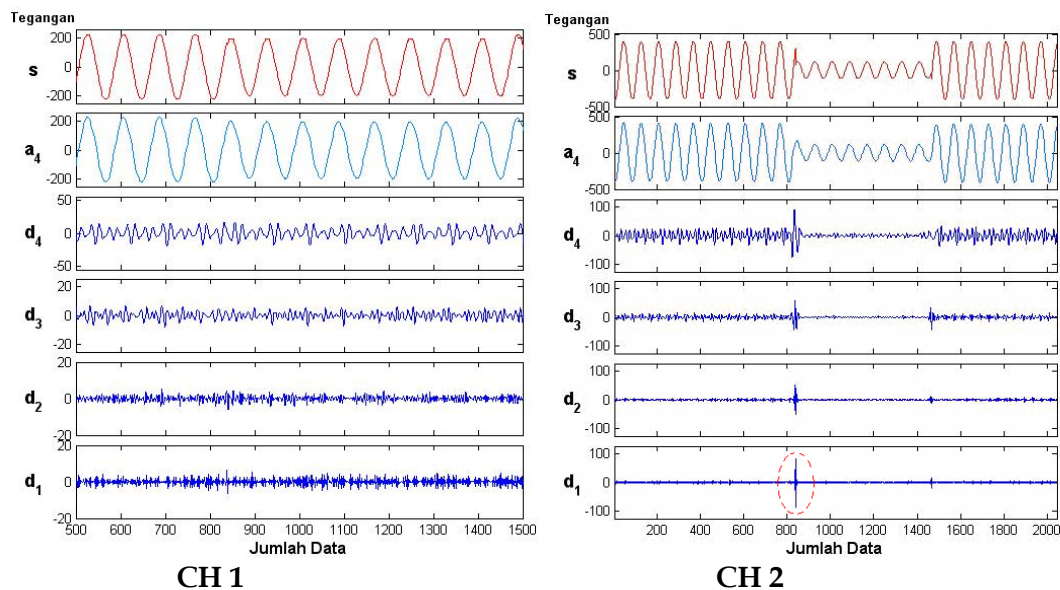
Gambar 8. Sinyal Gangguan Akibat Hubung Singkat pada Sp2

3. Pengujian pada Belitan Sekunder

Berikut ini adalah gambar sinyal tegangan hubung singkat pada transformator:



Gambar 9.a. Tegangan Hubung Singkat pada Belitan Sekunder Ss4



Gambar 9.b. Analisis Tegangan Hubung Singkat pada Belitan Sekunder Ss4

Dari gambar 9.a diatas sinyal tegangan turun pada data ke-800 dan kemudian tegangan kembali naik pada data ke 1500. Penurunan tegangan pada data ke-800 terjadi ketika transformator mengalami gangguan hubung singkat sedangkan pada data ke-1500 adalah perubahan kondisi gangguan hubung singkat ke kondisi normal. Gangguan hubung singkat pada Gambar 9.a sangat terlihat jelas khususnya pada CH 2 (sinyal tegangan sekunder) sedangkan sinyal tegangan pada CH 1 tampak hampir tidak terpengaruh.

Berdasarkan sinyal dekomposisi d_1 , hubung singkat yang terjadi pada belitan sekunder menimbulkan gangguan pada transformator. Terbukti pada CH 2 muncul *spike* antara data ke 800 dan 1000. Karena hubung singkat terdeteksi pada CH 2 berarti gangguan terjadi pada sisi beban transformator.

Hasil pengujian pada tap yang lain juga memperlihatkan hasil yang mendekati sama, perbedaan yang terjadi umumnya hanya pada besar magnitude hasil dekomposisi sinyal. Magnitude dekomposisi sinyal tentu saja sangat bergantung pada besar perubahan tegangan atau arus yang terjadi. Jika tegangan atau arus yang berubah semakin besar, maka magnitude sinyal dekomposisi akan semakin besar pula.

Dari hasil pengujian saat normal, gangguan hubung singkat belitan primer dan gangguan hubung singkat belitan sekunder menghasilkan dekomposisi yang dapat dibedakan dalam beberapa hal. Pada saat normal tidak akan dijumpai adanya *spike* pada sinyal dekomposisi wavelet. Sedangkan pada saat gangguan baik pada belitan primer maupun sekunder, *spike* dapat terjadi. Hal ini dapat menjadi penanda akan adanya gangguan pada belitan transformator. *Spike* umumnya lebih terlihat pada sisi sekunder transformator, baik saat gangguan pada sisi belitan primer maupun pada sisi belitan

sekunder. Sehingga pendeteksian adanya gangguan hubung singkat lebih baik dilakukan pada sisi belitan sekunder.

SIMPULAN

1. Analisis wavelet diskrit dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi adanya gangguan hubung-singkat pada belitan transformator.
2. Sinyal dekomposisi wavelet Haar dengan dekomposisi sampai 4 tingkat dapat memperlihatkan perbedaan tegangan dan arus saat normal dan saat terjadinya gangguan hubung singkat antar belitan pada transformator.
3. Gangguan pada belitan transformator diperlihatkan pada munculnya spike pada sinyal dekomposisi wavelet.
4. Spike saat terjadinya gangguan hubung singkat, baik saat gangguan terjadi pada belitan primer maupun sekunder lebih dominan terlihat pada pengukuran pada sisi sekunder.
5. Pendeteksian gangguan hubung-singkat pada transformator dapat dilakukan dengan mengukur sinyal tegangan dan arus pada sisi sekunder transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- Karen L. Butler-Purry, dan Mustafa Bagriyanik. *Characterization of Transients in Transformers Using Discrete Wavelet Transforms*. IEEE Transactions On Power System, Vol.18, No. 2, Mei 2003.
- Karen L. Butler-Purry, dan Mustafa Bagriyanik. *Identifying Transformer Incipient Events for Maintaining Distribution System Reliability*. Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03), 2002.
- Hang Wang, dan Karen L. Butler. *Modeling Transformer With Internal Incipient Faults*. IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 17, No. 2, April 2002.
- Karen L, Butler dan Adedayo Kuforiji. *Experimental Results from Short-Circuit Faults on a Distribution Transformer*. IEEE. 2001
- Polikar, Robby. *The Wavelet Tutorial. Part III Multiresolution Analysis & The Continuous Wavelet Transform*. Dept. of Electrical and Computer Engineering, Rowan University. 1996.
- Polikar, Robby. *The Wavelet Tutorial. Part IV Multiresolution Analysis The Discrete Wavelet Transform*. Dept. of Electrical and Computer Engineering, Rowan University. 1996.

PEMBANDINGAN EMPIRIS TIGA METODE REGRESI ROBUST (AN EMPIRICAL COMPARISON OF THREE ROBUST REGRESSION METHODS)

KHOIRIN NISA

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung
Email : adenisa@telkom.net

ABSTRACT

Regression analysis is a statistical technique that serves as a basis for drawing inferences about relationship among variables (Myers, 1990). When data contains outlier, a robust technique on regression is urgently needed. In this paper we aim to compare three robust regressions methods: Least Trimmed Square (LTS), Least Median Square (LMS) and Least Absolute Value (LAV). We set a Monte Carlo simulation using 1000 random samples on every sample size we considered: $n = 30, 60, 100$, and 200 . We contaminated the data with 10%, 20%, 30% and 40% outliers. The effect of outliers on regression coefficient is studied by comparing the bias, the mean square error (MSE), and the standard error (SE) resulted by LTS, LMS and LAV in presence of outliers. The result shows that the LMS and LTS yield almost the same bias, MSE and SE. And each of the two methods performs better than LAV.

Keywords: *Robust Regression*, LTS, LMS, LAV.

PENDAHULUAN

Analisis regresi linier merupakan salah satu analisis statistika yang dapat digunakan untuk menyelidiki atau membangun model hubungan linier antara beberapa variabel. Berbagai metode pendugaan model regresi telah dikembangkan baik dengan pendekatan parametrik maupun nonparametrik. Metode kuadrat terkecil atau OLS (*Ordinary Least Square*) dikenal sebagai metode penduga terbaik dalam analisis regresi, namun metode ini sangat peka terhadap adanya penyimpangan asumsi pada data. Jika data tidak memenuhi salah satu asumsi regresi maka penduga OLS dapat menjadi bias dan tidak lagi efisien (Yaffee, 2002).

Salah satu asumsi penting dalam analisis regresi yang berkaitan dengan inferensia model adalah asumsi sebaran normal (normalitas). Asumsi normalitas seringkali tidak terpenuhi saat data mengandung pencilan (*outlier*). Karena jika terdapat pencilan dalam data, maka bentuk sebaran data tidak lagi simetrik tetapi cenderung menjulur ke arah pencilan sehingga melanggar asumsi normalitas. Kadang untuk mengatasi hal ini seorang peneliti melakukan transformasi terhadap

data dengan maksud agar asumsi normalitas dapat terpenuhi, namun seringkali transformasi yang dilakukan tidak dapat memperkecil nilai *laverage* pencilan yang pada akhirnya membiaskan pendugaan. Bahkan hanya satu pencilan dengan nilai *laverage* yang besar dapat memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap dugaan OLS (Olive, 2005).

Untuk meningkatkan akurasi pendugaan model regresi dari data yang mengandung pencilan diperlukan suatu metode yang tegar terhadap pencilan yaitu metode *robust*. Dalam tulisan ini kami membandingkan tiga metode regresi *robust* yang sering digunakan dalam berbagai bidang. Metode pertama yaitu metode *Least Trimmed Square* (LTS) yang diperkenalkan pertama kali oleh Rousseeuw & Leroy pada tahun 1987 (Hubert dkk, 2004). Metode LTS menduga koefisien regresi dengan melakukan analisis regresi kuadrat terkecil ($\min \sum e_i^2$) terhadap sebaran data yang sudah terpotong (*trimmed*) atau sebaran terwinsorkan (*winsorized distribution*). Metode kedua adalah metode *Least Median Square* (LMS) yang diperkenalkan oleh Rousseeuw pada tahun 1984 (Hubert dkk, 2004). Metode LMS menduga koefisien regresi dengan meminimumkan median dari kuadrat galatnya ($\min \text{median}\{e_i^2\}$). Dan metode terakhir adalah metode *Least Absolute Value* (LAV) yang diperkenalkan oleh Armstrong & Frome pada tahun 1976 (Frome, 2003). Metode LAV menduga koefisien regresi dari data yang mengandung pencilan dengan meminimumkan jumlah nilai mutlak galatnya ($\min \sum |e_i|$).

Dalam tulisan ini kami membandingkan tingkat ketegaran (resistensi) metode LTS, LMS dan LAV terhadap pengaruh pencilan dengan menggunakan nilai bias, MSE dan SE ($S_{\hat{\beta}}$), dan melihat konsistensinya terhadap ukuran sampel sehingga dapat ditentukan metode mana yang cocok untuk kasus tertentu.

Metode *Least Trimmed Square* (LTS)

Metode LTS menduga koefisien regresi dengan menggunakan dugaan OLS terhadap subhimpunan data berukuran h , yaitu :

$$\hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \left(\sum_{i=1}^h e_i^2 \right) = \arg \min_{\beta} \left(\sum_{i=1}^h (y_i - \hat{y}_i)^2 \right) ,$$

$$\frac{(3n + p + 1)}{4} \leq h \leq n .$$

Solusi $\hat{\beta}$ pada persamaan di atas dapat diperoleh dengan menggunakan turunan (differensial) seperti pada penyelesaian pada metode OLS, hanya pada LTS persamaan tersebut dihitung pada subhimpunan data terbaik (disimbolkan dengan H) yang berukuran h . Penentuan subhimpunan H terbaik dilakukan dengan

menggunakan algoritma resampling dari seluruh kemungkinan subhimpunan yang didapat dibentuk yaitu sebanyak $\binom{n}{h}$.

Algoritma resampling secara lengkap dapat dilihat pada Nisa (2006). Subhimpunan H yang diperoleh merupakan sebaran data yang sudah terpankas (*trimmed distribution*) (Chen, 2002).

Metode *Least Median Square* (LMS)

Metode LMS menduga koefisien regresi dengan meminimumkan median dari kuadrat galatnya, yaitu :

$$\hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \text{median}(e_i^2) = \arg \min_{\beta} \text{median}(y_i - \hat{y}_i)^2, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Solusi persamaan di atas dari dugaan LMS juga dapat diperoleh dengan menggunakan pemrograman linier (Chen, 2002)

Metode *Least Absolute Value* (LAV)

Metode LAV dikenal juga dengan nama *Least Absolute Deviation* (LAD) dan regresi L-1. Metode LAV menduga koefisien regresi dari data yang mengandung pencilan dengan meminimumkan jumlah nilai mutlak galatnya, yaitu :

$$\hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \left(\sum_{i=1}^n |e_i| \right) = \arg \min_{\beta} \left(\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \right)$$

Solusi persamaan di atas dari dugaan LAV dapat diperoleh dengan menggunakan pemrograman linier (Frome, 2003).

METODE PENELITIAN

Pembandingan sifat penduga metode-metode LTS, LMS dan LAV dilakukan dengan menggunakan nilai bias, MSE dan galat baku gabungan dari dugaan parameter yang dihasilkan dan menyelidiki kekonsistenan penduga terhadap beberapa ukuran sampel. Nilai bias, MSE dan galat baku gabungan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Bias} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |\beta - \hat{\beta}_i|$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\beta - \hat{\beta}_i)^2$$

$$SE(\text{gabungan}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - 1) S_{\hat{\beta}(i)}^2}{\sum_{i=1}^m (n_i - 1)}}, \quad S_{\hat{\beta}(i)} = \text{galat baku dari } \hat{\beta}$$

untuk replikasi ke (i), dengan m adalah banyaknya sampel (replikasi) dalam simulasi, dalam penelitian ini kami gunakan sebanyak $m = 1000$ replikasi. Semakin kecil nilai bias, MSE dan SE menunjukkan bahwa suatu metode semakin baik, yaitu tak bias dan efisien. Sedangkan untuk mengetahui konsistensi penduga dilakukan simulasi *monte carlo* dengan ukuran sampel $n = 30, 60, 100$, dan 200 .

Simulasi Monte Carlo dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAS/IML versi 9. Dalam simulasi ini kami membangkitkan data populasi sebanyak $N=10.000$. Selanjutnya dengan metode pemulihan, sampel berukuran $n=30$ diambil secara acak dari populasi tersebut sebanyak 1000 kali. Ukuran sampel lainnya yang dicobakan adalah $n = 60, 100$, dan 200 dengan replikasi yang sama yaitu masing-masing sebanyak 1000 sampel. Tahapan-tahapan simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membangkitkan vektor galat populasi (ϵ) dari sebaran normal baku ($N(0,1)$) berukuran 10.000×1 .
2. Menetapkan vektor x dari bilangan bulat secara acak (*random integer*) antara 1 sampai 100 sebanyak 10.000.
3. Dengan menetapkan $\beta_0 = 0$ dan $\beta_1 = 1$, bangkitkan vektor y yaitu $y = x + \epsilon$. Gabungkan x dan y sebagai himpunan data populasi (Q)
4. Mengambil sampel acak $H = \{ (x_i, y_i) \}$ berukuran $n=30$ dari Q , nilai-nilai x_i dan y_i yang diperoleh merupakan elemen-elemen vektor x_h dan $y_h^{(0)}$.
5. Membangkitkan vektor pencilan (**out**^(s)) berukuran $n \times 1$ yang elemennya adalah nol kecuali beberapa elemen yang dijadikan pencilan. Elemen pencilan dibangkitkan dari sebaran normal dengan $\mu=10$ dan $\sigma=1$ yaitu $N(10,1)$. Pencilan yang diberikan adalah sebanyak 10%, 20%, 30% dan 40%.
6. Menambahkan vektor **out**^(s) pada vektor $y_h^{(0)}$ dalam H sehingga diperoleh vektor y yang sudah terkontaminasi pencilan, yaitu: $y_h^{(s)} = y_h^{(0)} + \text{out}^{(s)}$
7. Menduga koefisien regresi berdasarkan model $y = \beta x + \epsilon$ x_h dan $y_h^{(s)}$ terhadap data sampel H dengan menggunakan metode OLS, LTS, LMS dan LAV. Simpan nilai $\hat{\beta}$ yang diperoleh dari masing-masing metode.
8. Ulangi langkah 5 sampai 7 sebanyak 1000 kali.

9. Menghitung nilai bias, MSE dan galat baku gabungan dari β_1 masing-masing metode.
10. Ulangi langkah 5 sampai 9 untuk $n = 60, 100$ dan 200 .

HASIL dan PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, kami menyelidiki dua kasus pencilan, pertama adalah kasus pencilan yang menyebar di sepanjang garis regresi, dan kedua adalah kasus pencilan yang mengelompok pada salah satu ujung garis regresi. Kedua kasus ini akan memberikan dampak yang berbeda pada dugaan garis regresi, untuk kasus pertama berdampak pada titik potong (*intercept*) sedangkan kasus kedua berdampak pada kemiringan garis (*slope*). Sebagai ilustrasi, pada Gambar 1 diberikan suatu contoh penyimpangan garis regresi yang diakibatkan oleh adanya pencilan dalam data untuk kedua kasus di atas.

Hasil analisis regresi menggunakan metode OLS, LTS, LMS dan LAV

Setelah melakukan simulasi dengan menggunakan 1000 sampel diperoleh nilai dugaan koefisien regresi ($\hat{\beta}_1$) dari metode OLS, LTS, LMS dan LAV. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa nilai dugaan OLS terpengaruh oleh pencilan sehingga jauh menyimpang dari parameter yang sebenarnya yaitu $\beta_1=1$, sedangkan nilai dugaan metode robust lebih mendekati nilai yang sebenarnya, namun pada beberapa situasi metode robust LAV terpengaruh oleh pencilan. Untuk memperjelas hasil ini pada Gambar 2 dan Gambar 3 disajikan sebaran nilai dugaan koefisien regresi dari metode OLS, LTS, LMS dan LAV untuk 1000 sampel untuk $n=30$ dengan pencilan 20% dan 40%. Sedangkan Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan sebaran nilai galat baku koefisien regresinya. Pada pencilan 20% (Gambar 2) terlihat bahwa dugaan LTS, LMS dan LAV berada di sekitar nilai 1 dengan keragaman yang relatif kecil, sementara dugaan OLS untuk kasus I menyebar pada interval 1 - 1.26, sedangkan pada kasus II dugaan OLS berada di sekitar 1.25. Pada pencilan 40% (Gambar 3), dugaan LTS dan LMS masih cukup konsisten berada di sekitar 1, sedangkan dugaan LAV sudah terpengaruh oleh pencilan dan hampir sama buruknya dengan dugaan OLS, yaitu dugaannya jauh dari nilai 1 dengan ragam yang besar. Jika suatu penduga memiliki ragam yang besar, maka menunjukkan bahwa penduga ini tidak stabil.

Untuk melihat dengan lebih jelas lagi perbandingan kestabilan ketiga penduga dilakukan dengan melihat nilai galat baku koefisien regresi ($S_{\hat{\beta}}$) untuk setiap replikasi. Semakin kecil nilai $S_{\hat{\beta}}$ menunjukkan bahwa penduga tersebut semakin baik. Nilai $S_{\hat{\beta}}$ akan berpengaruh pada tingkat signifikansi dugaan koefisien regresi pada uji hipotesis. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 disajikan plot nilai-nilai $S_{\hat{\beta}}$ untuk $n=30$ dengan pencilan 20% dan 40%. Pada kedua gambar

tersebut terlihat bahwa galat baku metode LTS, LMS dan LAV lebih kecil jika dibandingkan dengan metode OLS, hal ini menunjukkan bahwa dugaan koefisien regresi metode LTS, LMS dan LAV lebih baik dibandingkan dengan dugaan koefisien regresi metode OLS. Namun terlihat pula ada beberapa dugaan LAV yang memiliki galat baku yang relatif besar, bahkan pada pencilan 40% memperlihatkan bahwa pada umumnya galat baku metode LAV lebih besar dari pada galat baku OLS. Ini menunjukkan bahwa untuk pencilan 40% metode LAV tidak tegar lagi atau terpengaruh oleh pencilan.

Pembandingan bias dan MSE metode LTS, LMS dan LAV.

Berdasarkan nilai dugaan koefisien regresi dari 1000 replikasi, diperoleh nilai bias dan MSE dari metode LTS, LMS dan LAV seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2. Pada Tabel 1 terlihat bahwa untuk $n=30$ pada kasus I, dugaan LAV memiliki nilai bias terkecil, untuk kasus II dugaan LAV memiliki nilai bias terkecil hanya pada pencilan 10% dan 20%. Dan terlihat pula bahwa penambahan ukuran sampel tidak mempengaruhi karakteristik nilai bias metode LAV. Hal ini berbeda dengan bias LTS dan LMS, di mana penambahan sampel cenderung memperkecil nilai bias keduanya. Namun secara keseluruhan untuk kasus I terlihat bahwa nilai bias ketiga metode sangat kecil yaitu rata-rata dibawah 0,01 kecuali untuk $n=30$. Sedangkan untuk kasus II nilai bias LAV untuk pencilan 30% dan 40% relative cukup besar yaitu di atas 0,2. Dan jika dilihat nilai MSE pada Tabel 2, untuk kasus I memperlihatkan bahwa nilai MSE ketiga metode sangat kecil sekali, ini menunjukkan bahwa ketiga metode hampir sama baiknya. Sedangkan untuk kasus II menunjukkan bahwa ternyata nilai MSE metode LAV bernilai relatif besar pada pencilan 30% dan 40%, artinya untuk pencilan 30% dan 40% pada setiap ukuran sampel yang dicobakan maka metode LAV memiliki performa tidak sebaik metode LTS dan LMS.

Secara keseluruhan terlihat bahwa penambahan pencilan dalam data mengakibatkan meningkatnya nilai bias dan MSE metode LAV yang berarti bahwa nilai dugaannya semakin buruk. Namun tidak demikian halnya terhadap nilai bias dan MSE metode LTS dan LMS. Nilai bias dan MSE metode LTS cenderung stabil terhadap peningkatan prosentase pencilan untuk setiap ukuran sampel $n=30$, 60, 100, dan 200. Untuk lebih memperjelas hal ini, pada Gambar 6 ditampilkan grafik bias dugaan koefisien regresi LTS, LMS dan LAV untuk $n=30$ pada kasus 1 dan kasus 2, sedangkan Gambar 7 menampilkan grafik MSE yang terkait dengannya. Pada kedua gambar tersebut terlihat bahwa nilai bias dan MSE metode LAV semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya prosentase pencilan dalam data, sementara nilai bias dan MSE metode LTS dan LMS cenderung stabil. Grafik bias dan MSE yang ditampilkan di sini hanya untuk $n=30$, sedangkan untuk ukuran sampel lainnya yaitu $n=60$, 100 dan 200 memberikan hasil yang serupa dengan $n=30$ sehingga tidak ditampilkan dalam tulisan ini.

Pembandingan nilai $S_{\hat{\beta}}$ metode LTS, LMS dan LAV.

Pada bagian sebelumnya telah dibahas hasil nilai galat baku ($S_{\hat{\beta}}$) metode OLS, LTS, LMS dan LAV dengan menggunakan plot sebaran. Pada bagian ini akan dibahas pembandingan nilai $S_{\hat{\beta}}$ dari metode robust LTS, LMS dan LAV untuk kasus II saja, karena pada kasus I nilai galat baku ketiga metode kecil sekali sehingga dapat dikatakan ketiga metode memberikan dugaan yang cukup baik. Dalam Tabel 3 disajikan nilai-nilai galat baku gabungan dari ketiga metode untuk kasus II. Pada tabel tersebut terlihat bahwa bahwa pada umumnya galat baku ketiga metode nilainya cukup rendah, hal ini menunjukkan bahwa dugaan metode LTS, LMS dan LAV cukup efisien. Namun diantara ketiga metode tersebut kami akan mencoba untuk membandingkannya untuk mengetahui performa ketiga metode pada setiap kondisi. Pada Tabel 3 terlihat bahwa nilai galat baku ketiga metode meningkat seiring dengan semakin meningkatnya prosentase pencilan pada data. Sedangkan peningkatan ukuran sampel cenderung menurunkan nilai galat baku. Namun peningkatan prosentase pencilan dan ukuran sampel pengaruhnya berbeda-beda terhadap masing-masing metode. Jika diperhatikan maka terlihat bahwa metode LTS dan LMS memiliki perilaku yang mirip dan lebih baik dibandingkan dengan metode LAV. Untuk memperjelas hal ini maka plot galat baku untuk $n=30$ dan $n=60$ ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 8 dan Gambar 9. Pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai galat baku metode LTS dan LMS hamper berhimpit dan tetap stabil untuk setiap prosentase pencilan, sementara galat baku metode LAV meningkat pesat untuk prosentase pencilan 30% ke atas.

SIMPULAN

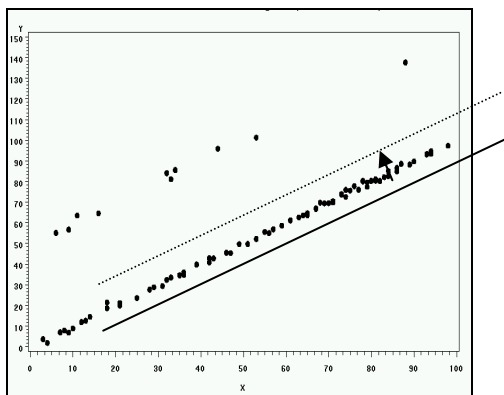
Berdasarkan uraian di atas maka dapat disimpulkan bahwa metode LTS dan LMS memberikan hasil yang sama baiknya untuk setiap ukuran sampel pada setiap prosentase pencilan, sedangkan metode LAV memberikan hasil yang baik jika pencilan sebesar 10% sampai 20%, jika pencilan lebih dari 20% maka dugaan metode LAV tidak lagi efisien. Pada kasus I dugaan metode LAV menghasilkan bias yang lebih kecil jika dibandingkan dengan metode LTS dan LMS, namun dugaan ini tidak stabil, ini ditunjukkan dari nilai MSE yang dihasilkan oleh metode LAV. Sedangkan pada kasus II metode LTS dan LMS lebih baik dari metode LAV.

DAFTAR PUSTAKA

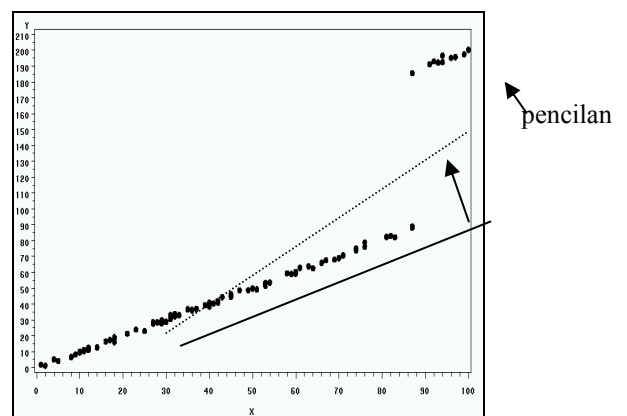
- Chen, C. (2002). Robust Regression and Outlier Detection with the ROBUSTREG procedure. *SUGI:265-27. SAS OnLineDoc.* SAS Institute : IML Robust Regression. <http://v8doc.sas.com/sas.html>

- Frome, E. (2003). Least Absolute Values (LAV) Regression. http://www.epm.ornl.gov/~frome/E_L_Frome_LAV_Regression.html
- Hubert, M., Rousseeuw, P.J., Van Aelst, S. (2004), Robustness, *Encyclopedia of Actuarial Sciences*, edited by Sundt, B. and Teugels, J., Wiley, New York, pp. 1515-1529.
- Myers, R.H., 1990. *Classical and Modern Regression With Applications*. PWS-KENT Publishing Company.
- Nisa, K. (2006). Analisis Regresi Robust Menggunakan Metode Least Trimmed Square untuk Data Mengandung Pencilan. *Jurnal Ilmiah MIPA*. Vol IX, No. 2.
- Olive, D. J. (2005). Two Simple Resistant Regression Estimators. *Computational Statistics and Data Analysis*.
- Rousseeuw, P.J. (1984). Least median of squares regression. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 79 No. 388, hal 871-880.
- Yaffee, Robert A. (2002). Robust Regression Analysis: Some Popular Statistical Package Options. *Statistics, Social Science, and Mapping Group*.

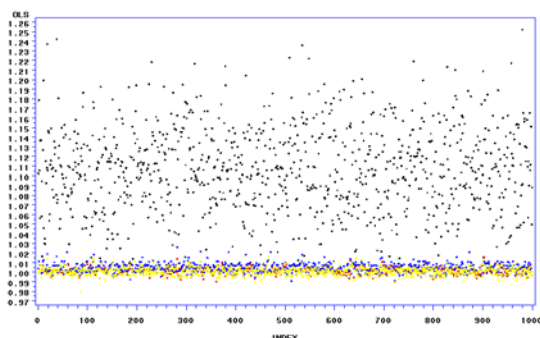
GAMBAR DAN TABEL



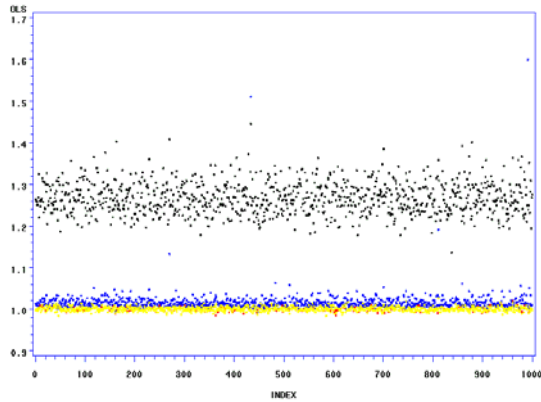
Gambar 1 (a).
Ilustrasi kasus pencilan di sepanjang garis regresi



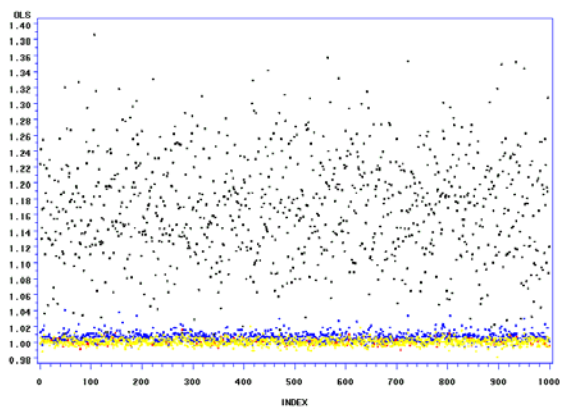
Gambar 1 (b).
Ilustrasi kasus kelompok pencilan pada ujung atas garis regresi



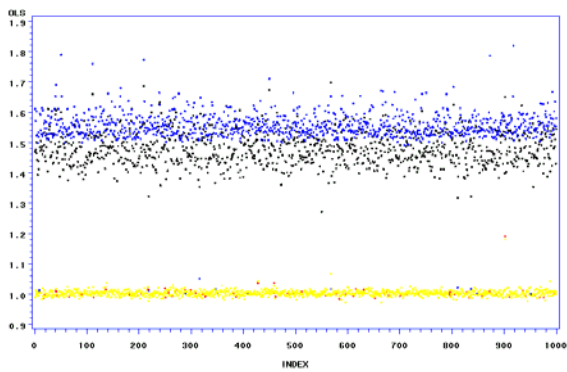
Gambar 2 (a). Plot koefisien regresi untuk kasus I dengan $n=30$ dan pencilan 20



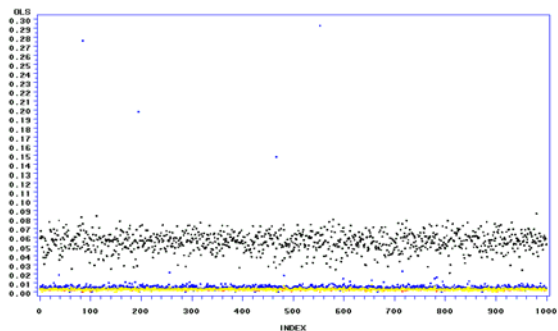
Gambar 2 (b). Plot koefisien regresi untuk kasus II dengan $n=30$ dan pencilan 20%



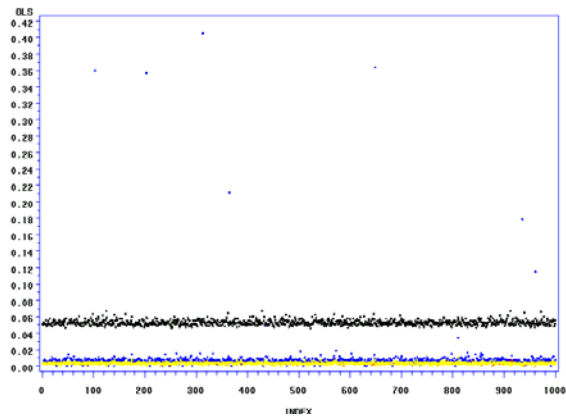
Gambar 3 (a). Plot koefisien regresi untuk kasus I dengan $n=30$ dan pencilan 40%



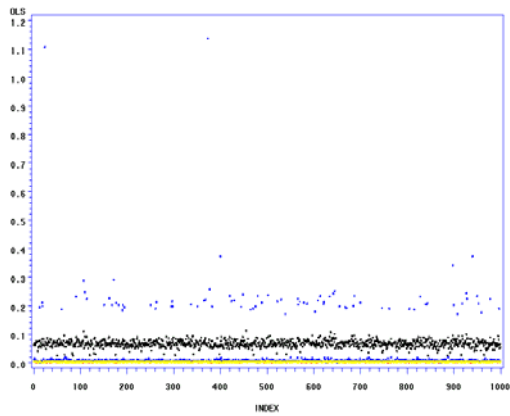
Gambar 3 (b). Plot koefisien regresi untuk kasus II dengan $n=30$ dan pencilan 40%



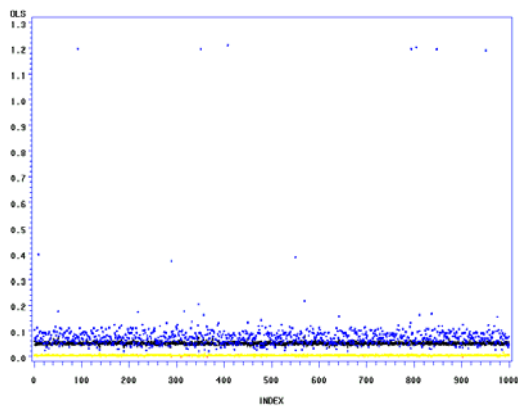
Gambar 4 (a). Plot $S_{\hat{\beta}}$ untuk kasus I dengan $n=30$ dan pencilan 20%



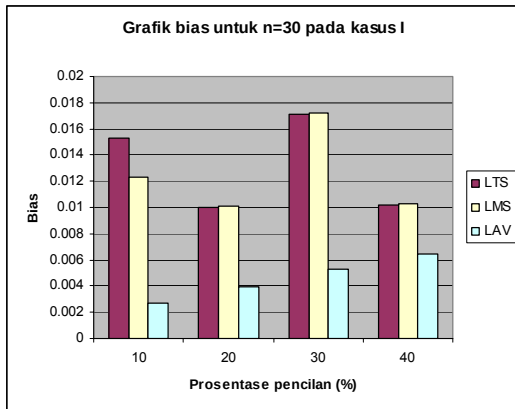
Gambar 4 (b). Plot $S_{\hat{\beta}}$ untuk kasus II dengan $n=30$ dan pencilan 20%



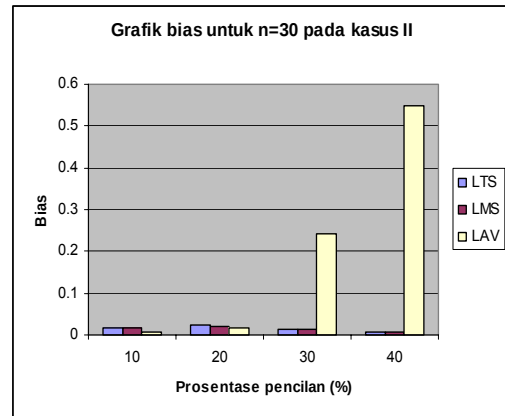
Gambar 5 (a). Plot $S_{\hat{\beta}}$ untuk kasus I dengan $n=30$ dan pencilan 40%



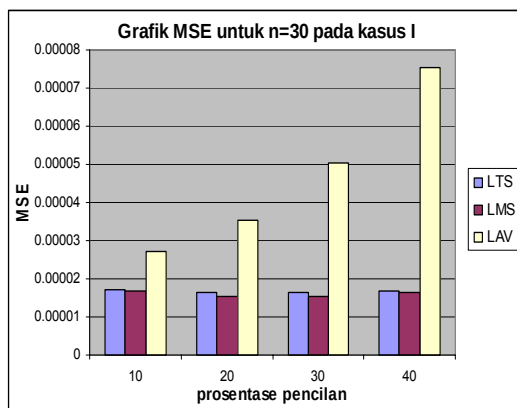
Gambar 5 (b). Plot $S_{\hat{\beta}}$ untuk kasus II dengan $n=30$ dan pencilan 40%



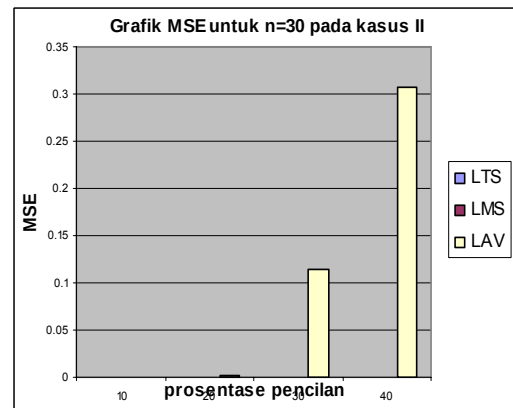
Gambar 6 (a).
Grafik bias untuk $n=30$ pada kasus I



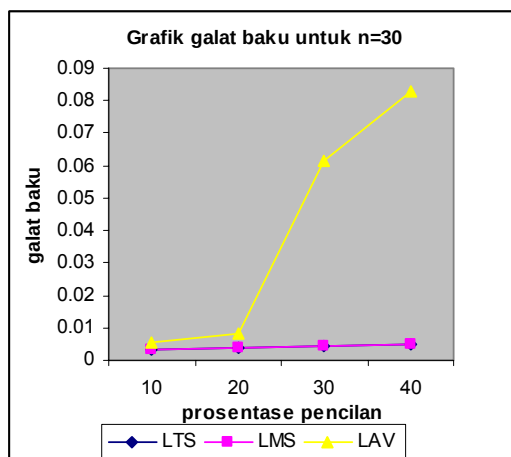
Gambar 6 (b).
Grafik bias untuk $n=30$ pada kasus II



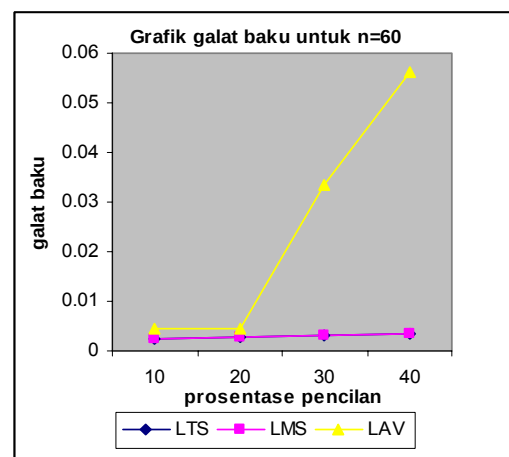
Gambar 7 (a)
Grafik MSE untuk $n=30$ pada kasus I



Gambar 7 (b)
Grafik MSE untuk $n=30$ pada kasus II



Gambar 8.
Grafik galat baku untuk $n=30$ pada kasus II



Gambar 9.
Grafik galat baku untuk $n=60$ pada kasus II

Tabel 1. Nilai Bias dugaan koefisien regresi metode LTS, LMS dan LAV untuk kasus I dan kasus II pada ukuran sampel n=30, 60, 100, dan 200 dengan pencilan 10%, 20%, 30% dan 40%.

n	Pencilan (%)	Bias					
		Kasus I			Kasus II		
		LTS	LMS	LAV	LTS	LMS	LAV
30	10	0.0153305	0.012317	0.0026979	0.0162181	0.01616422	0.0054458
	20	0.01003274	0.0100977	0.0039305	0.0240791	0.0220286	0.0166113
	30	0.01710252	0.0171954	0.0052603	0.0150433	0.01504518	0.2430211
	40	0.01022341	0.0102592	0.0064122	0.007296	0.00725938	0.5482132
60	10	0.00071635	0.0007164	0.001	0.0066816	0.00669728	0.0052867
	20	0.00363972	0.0036493	0.0031782	0.0071663	0.00720692	0.0146296
	30	0.00527201	0.0053412	0.004588	0.0030704	0.00301879	0.3261583
	40	0.00255928	0.0026119	0.0056063	0.0047435	0.00475256	0.5423057
100	10	0.00013598	0.000877	0.0016085	0.0001835	0.00591298	0.0052971
	20	0.00029515	0.0057401	0.0029341	0.0001071	0.00420465	0.0150117
	30	0.00047589	0.0066489	0.0042274	1.838E-05	0.00813393	0.3444959
	40	0.00035349	0.0007087	0.0054135	8.997E-05	0.00592381	0.5364726
200	10	0.00286634	0.0028683	0.0013176	0.0029538	0.00198623	0.0050214
	20	0.00298224	0.0030063	0.0023154	0.0041923	0.00424269	0.0145834
	30	0.001017	0.001031	0.0034267	0.0011803	0.00021598	0.3572637
	40	9.1458E-05	5.556E-05	0.004832	0.0018593	0.00190805	0.5368077

Tabel 2. Nilai MSE dugaan koefisien regresi metode LTS, LMS dan LAV untuk kasus I dan kasus II pada ukuran sampel n=30, 60, 100 dan 200 dengan pencilan 10%, 20%, 30% dan 40%.

N	Pencilan (%)	MSE					
		Kasus I			Kasus II		
		LTS	LMS	LAV	LTS	LMS	LAV
30	10	1.719E-05	1.679E-05	2.721E-05	2.031E-05	1.857E-05	5.318E-05
	20	1.656E-05	1.548E-05	3.519E-05	2.711E-05	2.604E-05	0.0009938
	30	1.632E-05	1.544E-05	5.02E-05	4.34E-05	4.468E-05	0.1145686
	40	1.693E-05	1.659E-05	7.52E-05	0.0001166	0.0001122	0.306674
60	10	5.132E-07	5.132E-07	1E-06	9.491E-06	9.319E-06	4.048E-05
	20	8.017E-06	7.721E-06	2.176E-05	1.326E-05	1.284E-05	0.000254
	30	7.985E-06	7.579E-06	3.572E-05	2.167E-05	2.128E-05	0.1536784
	40	8.19E-06	8.117E-06	7.979E-05	3.292E-05	3.27E-05	0.2967733
100	10	4.878E-06	4.731E-06	9.445E-06	6.828E-06	5.387E-06	3.609E-05
	20	5.669E-06	4.648E-06	1.672E-05	8.595E-06	7.14E-06	0.0002462
	30	6.062E-06	4.69E-06	2.766E-05	1.339E-05	1.152E-05	0.1609479
	40	5.507E-06	4.969E-06	4.127E-05	1.808E-05	1.745E-05	0.2903698

N	Pencilan (%)	MSE					
		Kasus I			Kasus II		
		LTS	LMS	LAV	LTS	LMS	LAV
200	10	2.171E-06	2.184E-06	5.372E-06	2.746E-06	2.483E-06	2.917E-05
	20	2.362E-06	2.325E-06	9.499E-06	3.456E-06	3.507E-06	0.0002222
	30	2.153E-06	2.191E-06	1.644E-05	5.321E-06	5.454E-06	0.1647461
	40	2.239E-06	2.227E-06	3.012E-05	9.271E-06	9.283E-06	0.2888492

Tabel 3. Galat Baku Gabungan metode LTS, LMS dan LAV untuk kasus II

n	% pencilan	Galat Baku Gabungan			n	% pencilan	Galat Baku Gabungan		
		LTS	LMS	LAV			LTS	LMS	LAV
30	10	0.003231	0.003296	0.005315	100	10	0.00178 9	0.00180 5	0.00260 8
	20	0.003716	0.003761	0.008296		20	0.00205	0.00205 9	0.00313 1
	30	0.004315	0.004347	0.061427		30	0.00233 8	0.00236 2	0.02801 7
	40	0.005093	0.005141	0.08304		40	0.00274 2	0.00276 3	0.04294
60	10	0.002289	0.002299	0.004352	200	10	0.00126 3	0.00126 3	0.00175 4
	20	0.002628	0.002634	0.00457		20	0.00142 7	0.00142 7	0.00207 6
	30	0.003092	0.003102	0.033607		30	0.00164 6	0.00164 5	0.02143 6
	40	0.003593	0.003609	0.056073		40	0.00190 5	0.00190 7	0.02812 6

PENENTUAN LITHOLOGI BATUAN BAWAH PERMUKAAN MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS SOUNDING DI DAERAH PROSPEK GEOTHERMAL GUNUNG RAJABASA

SYAMSURIJAL RASIMENG*, NANDI HAERUDIN*, HARMEN**

*Program Studi Geofisika Universitas Lampung

**Jurusan Mesin FT Unila

rijal@unila.ac.id

ABSTRACT

The Rajabasa is one of volcano strato with level of activity type B which located in province Lampung. Existence of fluid geothermal in north caster (Sukamandi and Kecapi), south caster (Kunjir and coast Wartawan) and south-east caster (Simpur) be form of desorption of temperature dissociation energy of diatomic pickings coming from within the mount body. The geothermal fluid comes from a source interpreted as magma chamber. Resistivity methods with configuraton schlumberger done to interpret lithology of rock around district manifestation "Belarang Kering" (Sukamandi). Based on result of analysis obtained layer controlling fluid flow geothermal is high porosity rock layer so that loaded by fluid geothermal. The sandstone layer lays in various depth of 3-14 meter from surface. Besides lithologi rock also occupied by clay-tuff, gravel, and volcano deposit as top soil. While below sandstone layer there is rock layer which more compact (andesitic-basaltic?) as basement rock.

Key words: Rajabasa, volcano, resistivity, geothermal

PENDAHULUAN

Air panas dan uap air panas (*geothermal fluids*) yang dihasilkan oleh suatu sumber geothermal dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, baik secara langsung (*direct use*) maupun secara tidak langsung (*nondirect use*). Pemanfaatan langsung berupa pemandian air panas, sterilisasi bibit tanaman, pemanas ruangan, pasteurisasi serta pengeringan hasil pertanian/perkebunan. Sedangkan *non-direct use* berupa pemanfaatan untuk pembangkit listrik tenaga geothermal (PLTG). Ketersediaan fluida geothermal sangat bergantung pada daerah resapan (*recharge area*) maupun daerah tangkapan air hujan (*catchment area*), sehingga memperbesar aliran air di bawah permukaan. Aliran air yang bersentuhan dengan sumber geothermal di bawah permukaan akan mengalami pemanasan dan keluar ke permukaan dalam bentuk uap atau air panas.

Metode geolistrik merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang dapat diterapkan untuk mempelajari karakteristik suatu sistem geothermal. Penentuan lithologi lapisan batuan, posisi reservoir, pola aliran serta sebaran fluida geothermal di bawah permukaan

bumi, merupakan syarat mutlak yang harus diketahui jika akan memanfaatkan energi geothermal tersebut. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode geolistrik resistivitas konfigurasi schlumberger, untuk menentukan lithologi batuan bawah permukaan di sekitar daerah manifestasi geothermal "Belerang Kering" (Desa Sukamandi).

Prinsip dasar metode ini adalah menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi menggunakan dua buah elektroda arus, kemudian mengukur beda potensial melalui dua buah elektroda lainnya di permukaan bumi. Arus listrik yang di-injeksikan akan mengalir melalui lapisan-lapisan batuan di bawah permukaan, dan menghasilkan data beda potensial yang harganya bergantung pada tahanan jenis (*resistivity*) dari batuan yang dilaluinya. Fenomena inilah yang dimanfaatkan untuk mengetahui dan menentukan jenis batuan termasuk fluida yang ada di bawah permukaan.

Secara geologi keberadaan sistem geothermal di daerah penelitian masih dipengaruhi oleh adanya sesar yang muncul searah dengan sesar utama terutama terdapat di bagian pantai timur Teluk Semangka serta pantai timur dan barat Teluk Lampung, diperkirakan berkelanjutan sampai memotong kompleks G. Rajabasa dan G. Belerang. Arah sesar barat laut-tenggara dan yang lain berarah Timur Laut-Barat Daya. Sesar dengan arah Barat Laut-Tenggara diperkirakan mengontrol kenampakan gejala panasbumi yang ada, terutama gejala panasbumi yang terdapat di kaki bagian utara dan tenggara G. Rajabasa. Sedangkan sesar dengan arah Timur Laut-Barat Daya yang diperkirakan memotong bagian tengah G. Rajabasa, mengontrol kenampakan gejala panasbumi yang terdapat di kaki bagian selatan G. Rajabasa (Mangga, dkk., 1994).

Satuan Morfologi Kerucut Gunungapi yakni terdiri dari Kerucut Gunung Rajabasa dan Gunung Belerang. Satuan ini mempunyai ketinggian topografi antara 845 - 1281 meter di atas permukaan laut dengan kemiringan lereng lebih dari 30°, berbentuk kerucut. Batuan penyusun dari Satuan Morfologi ini terutama terdiri dari batuan-batuan hasil erupsi leleran dan erupsi letusan (lava dan piroklastik). Beberapa sungai terbentuk secara terpisah dari pusatnya di G. Rajabasa dan G. Belerang umumnya mengalir ke arah timur, sebagian ke arah barat dan selatan dan bermuara ke Teluk Lampung.

METODE PENELITIAN

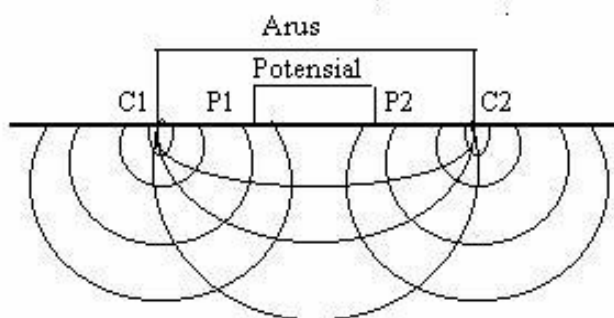
Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2007 di sekitar manifestasi geothermal "Belerang Kering" desa Sukamandi Kalianda Kabupaten Lampung Selatan. Pengukuran lapangan menggunakan alat resistivity meter dengan menerapkan konfigurasi schlumberger pada tiga titik sounding. Sedangkan penentuan posisi titik-titik pengukuran menggunakan alat GPS (*Global positioning system*).

Penggunaan metode geolistrik telah banyak dilakukan oleh peneliti lapisan *subsurface* dan air tanah, Nowroozi et. al. (1999) telah membuktikan keakuratan metoda geolistrik untuk mendeteksi lapisan batuan dan akuifer air tanah. Nowroozi juga berhasil membedakan antara tahanan jenis lapisan yang terisi oleh air tanah (*fresh water*) dengan lapisan yang terintrusi oleh air laut (*salt water*). Selain itu, pemanfaatan metoda geolistrik untuk penelitian lapisan *subsurface*. Osella et. al. (1999) melakukan penelitian besarnya kandungan air pada lapisan aluvial dengan teknik *electrical imagine*, selain itu Benson et. al. (1997), Meju et. al. (1999) dan Loke dan Barker (1995) juga melakukan penelitian serupa pada masing-masing tempat yang berbeda.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Secara umum, pendekatan sederhana pembahasan gejala kelistrikan bumi adalah dengan menganggap bumi sebagai medium homogen isotropis. Dengan perlakuan tersebut medan listrik dari sumber titik di dalam bumi merupakan simetri bola. Prinsip metode geolistrik adalah dengan menginjeksi arus melalui elektroda arus $C(x,z)$ yang ditanamkan di dalam bumi. Elektroda ini dihubungkan dengan elektroda arus lainnya yang berada di permukaan tetapi berjarak cukup jauh, sehingga pengaruhnya dapat diabaikan. Elektroda arus $C(x,z)$ dapat dipandang sebagai titik sumber yang memancarkan arus listrik kesegala arah dalam medium bumi dengan tahanan jenis ρ .



Gambar 2. Model aliran arus listrik dua titik sumber di permukaan bumi

Ekuipotensial di setiap titik di dalam bumi membentuk permukaan bola dengan jari-jari r . Arus listrik yang di-injeksi-kan melalui elektroda arus $C(x,z)$ sebagai fungsi jarak (x) dan kedalaman (z), mengalir keluar bola secara radial ke segala arah sebesar,

$$I = 4\pi r^2 J = -4\pi r^2 \sigma \frac{\partial V}{\partial r} = -4\pi \sigma A. \quad (1)$$

dengan:

J adalah rapat arus

σ adalah konduktivitas

A adalah luas permukaan

Sedangkan potensial listrik dan tahanan jenis (*resistivity*) dipenuhi oleh persamaan,

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r} \text{ dan} \quad (2)$$

$$\rho = \frac{2\pi r V}{I}. \quad (3)$$

dimana:

V adalah potensial listrik

ρ adalah tahanan jenis

r adalah konstanta

Apabila jarak antara dua elektroda arus tidak terlalu besar, potensial disetiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus. Adapun potensial listrik yang dihasilkan dari kedua sumber arus ini adalah beda potensial yang terukur pada dua titik pengukuran pengukuran potensial (P_1 dan P_2). Adapun beda potensial terukur antara titik P_1 dan P_2 adalah,

$$\Delta V = V(P_1) - V(P_2) = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]. \quad (4)$$

dimana:

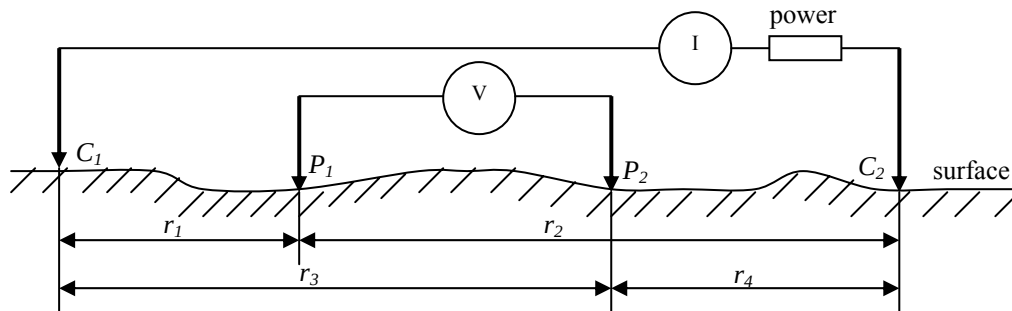
r_1 : jarak C_1 ke P_1

r_2 : jarak C_2 ke P_1

r_3 : jarak C_1 ke P_2

r_4 : jarak C_2 ke P_2

dengan gambar konfigurasi sebagai berikut,



Gambar 3. Model dua elektroda arus dan dua elektroda potensial (Telford, at.al., 1976)

Sedangkan besarnya tahanan jenis,

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

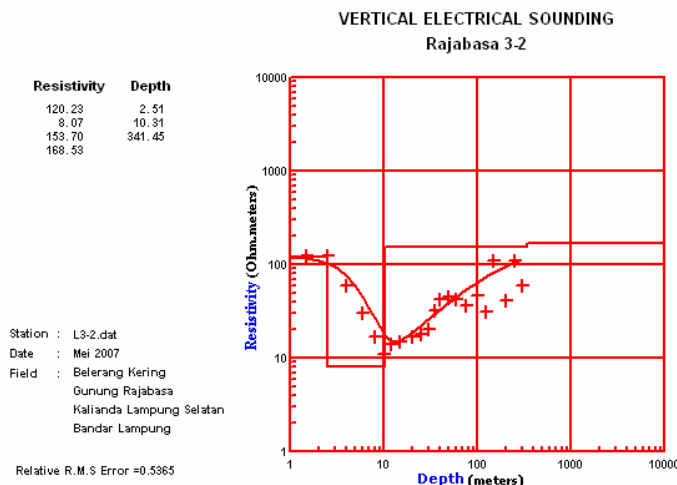
dengan,

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (6)$$

adalah faktor konfigurasi pengukuran di lapangan.

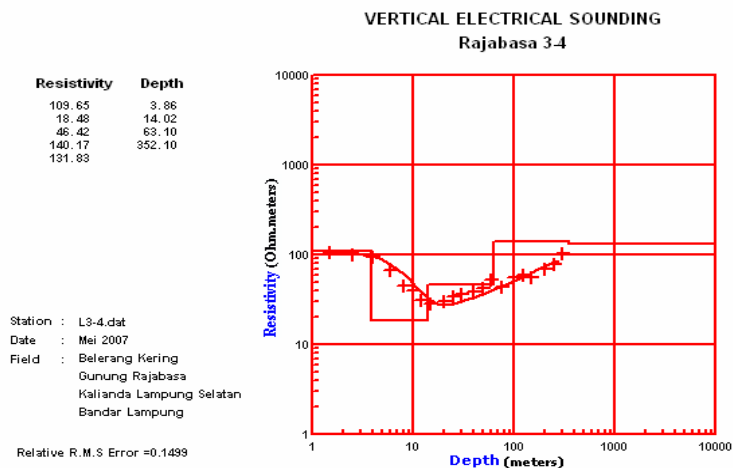
HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil pengukuran resistivitas dianalisis menggunakan program *resty* dan memberikan informasi harga resistivitas serta kedalaman perlapisan batuan di bawah permukaan.



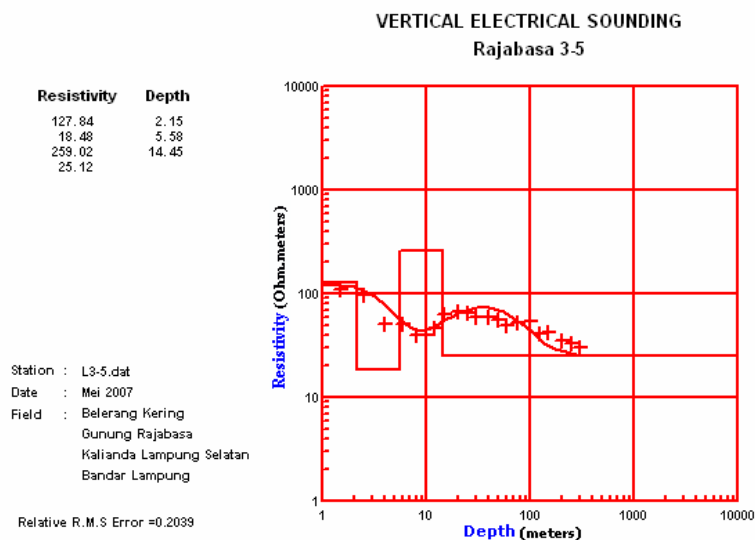
Gambar 4. Hasil perhitungan pengukuran sounding L3-2

Berdasarkan harga resistivitas pada lokasi pengukuran pertama (L3-2) diperoleh lithologi batuan dengan harga resistivitas 120,23 Ωm pada kedalaman 2,51 meter. Lapisan berikutnya 8,07 Ωm dengan kedalaman 10,31 meter. Pada kedalaman 341,45 meter terdapat lithologi dengan harga resistivitas 153,7 Ωm



Gambar 5. Hasil perhitungan pengukuran sounding L3-4

Sedangkan pada lokasi kedua (L3-4) diperoleh informasi berupa lapisan pada kedalaman 3,86 meter dengan harga resistivitas 109,65 Ωm , berikutnya pada kedalaman 14,02 meter berharga 18,48 Ωm , kedalaman 63,1 meter berharga resistivitas 46,42 Ωm dan kedalaman 352 ditempati oleh batuan dengan harga resistivitas 140 Ωm .



Gambar 6. Hasil perhitungan pengukuran sounding L3-5

Pada lokasi terakhir (L3-5) kedalaman 2,15 meter ditempati oleh batuan dengan harga resistivitas 127,84 Ωm , selanjutnya pada 5,58 meter ada batuan berharga 18,48 Ωm dan pada kedalaman 14,45 meter terdapat batuan dengan harga resistivitas 259,02 Ωm .

Berdasarkan informasi tersebut maka dapat ditafsirkan lithologi perlapisan batuan di daerah sekitar manifestasi geothermal “Belerang Kering” berupa lapisan penutup (*top soil*) terdiri atas lempung-tufaan dan endapan batuan gunungapi yang belum mengalami kompaksi. Lapisan berikutnya yang terletak pada kedalaman 3-14 meter ditempati oleh batuan yang ditafsirkan sebagai pembawa fluida geothermal berupa batu pasir dengan harga

resistivitas antara 8,07-18,48 Ω m. Lapisan yang terletak di bawah lapisan batu pasir di tempati oleh batuan yang lebih kompak dengan harga resistivitas lebih dari 140 Ω m.

Hasil penelitian ini bersesuaian dengan Mangga, dkk. (1994) yang mendeskripsikan batuan tertua di daerah Lampung adalah batuan pra Tersier, terutama terdiri dari sekis kristalin, kuarsit mika, metawake, genes granit dan marmer. Satuan ini telah mengalami perlipatan kuat yang secara umum berarah Barat Laut-Tenggara, tetapi di beberapa tempat mengalami deviasi. Satuan batuan yang agak terpisah yang dibatasi oleh struktur lipatan terdiri dari serpih, batupasir tufaan berselingan dengan batugamping koral dan hanya terdapat di beberapa tempat yang tidak begitu luas.



Gambar 7. Manifestasi Aliran Panas Bumi di Daerah Penelitian

Batuan plutonis seperti granit, granodiorit, diorit dan gabro tidak semuanya terjadi pada umur yang sama. Misal granit yang mengintrusi satuan batuan sekis kristalin terjadi pada zaman Kapur (Mangga, dkk., 1994). Granit dan granodiorit yang lebih muda yaitu berumur Miosen Tengah menerobos batuan andesit tua sehingga terjadi alterasi khloritisasi dan silisifikasi yang diikuti terjadinya mineralisasi.



Gambar 8. Morfologi Daerah Penelitian

Beberapa sesar muncul searah dengan sesar utama terutama terdapat di bagian pantai timur Teluk Semangka serta pantai timur dan barat Teluk Lampung. Diperkirakan ke arah selatan sesar Lampung atau sesar yang searah dengannya berkelanjutan sampai memotong kompleks G. Rajabasa dan G. Belerang. Arah sesar barat laut-tenggara dan yang lain berarah Timur Laut-Barat Daya. Sesar dengan arah Barat Laut-Tenggara diperkirakan mengontrol kenampakan gejala panasbumi yang ada, terutama gejala panasbumi yang terdapat di kaki bagian utara dan tenggara G. Rajabasa. Sedangkan sesar dengan arah Timur Laut-Barat Daya yang diperkirakan memotong bagian tengah G. Rajabasa, mengontrol kenampakan gejala panasbumi yang terdapat di kaki bagian selatan G. Rajabasa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan interpretasi maka dapat disimpulkan bahwa, lapisan yang mengontrol aliran fluida geothermal merupakan lapisan batuan ber-porositas yang tinggi sehingga dapat terisi oleh fluida geothermal. Lapisan tersebut berupa lapisan batu pasir (*sand stone*) dan terletak pada variasi kedalaman 3-14 meter dari permukaan. Selain itu lithologi batuan daerah penelitian juga ditempati oleh lempung-tufaan, krakal, dan endapan gunungapi sebagai lapisan penutup (*top soil*). Sedangkan di bawah lapisan batu pasir terdapat lapisan batuan yang lebih kompak (andesit-basaltik?) sebagai batuan dasar.

PUSTAKA ACUAN

- Benson A.K., Payne K.L., and Stubben M., 1997, *Mapping Groundwater Contamination Using DC Resistivity and VLF Geophysical Methods-A Case Study*, Journal of Geophysics, Vol. 62.
- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA.
- Byantoro A., Wahyudi, dan Suyanto I., 2004, *Pemetaan akuifer air tanah dengan metode resistivity Sounding Desa Petapa, Pelawa dan Binanga Kecamatan Parigi Kabupaten Parigi Mountong Sulawesi Tengah*, Prosiding PIT HAGI ke 29, Yogyakarta.
- Haerudin, N., 2005, Penerapan Metode Geolistrik Untuk Pendugaan Potensi Bijih Besi Di Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Jurnal Sains dan Teknologi, MIPA Universitas Lampung, Vol 11 No. 1, Bandar Lampung.
- Mangga, S.A., Amiruddin, Suwarti, T., Gafoer, S., Sidarto, 1994, *Geology of the Tanjung Karang Quadrangle, Sumater*, Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Nowroozi A.A., Horrocks S.B. and Henderson P., 1999, *Saltwater Intrusion into the Freshwater Aquifer in the Eastern Shore of*

- Virginia; A Reconnaissance Electrical Resistivity Survey, Journal of Applied Geophysics, 42.*
- Ocvianti M.A., Suyanto I. Dan Hartantyo E., 2000, *Pengolahan Data Resistivitas Mapping Menggunakan Program Probabilitas Tomografi*, Prosiding PIT-HAGI 25, Bandung.
- Osella A., Favetto, A. and Martinelli P., 1999, *Electrical Imaging of an Alluvial Aquifer at the Antinaco-Los Colorado Tectonic Valley in the Sierras Pampeanas, Argentina*, *Journal of Applied Geophysics*, 41.
- Sharma, P.V., 1997, *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1976, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London.

PENINGKATAN UNJUK KERJA APLIKASI WEB MENGGUNAKAN AJAX

(Studi Kasus : Penjaminan Mutu Jurusan Online)

WAHYU EKO SULISTIONO, MARDIANA, DENNY CHANDRA

Jurusan Teknik Elektro Unila

Email : eko@unila.ac.id, mardiana@unila.ac.id, dcstar@unila.ac.id

ABSTRACT

Nowadays Ajax has been applied in many web applications. The reason is that Ajax offers some benefits to classic web application. Those benefits are asynchronous data transmission and better user interaction because user does not have to change pages to get data he wants. Besides those, Ajax reduces data size transmitted between server and client because server only processes necessary data. Here Ajax has been successfully applied in developing web application of Quality Assurance System for Department in Unila.

Keyword : *Ajax, Web Application, Performance, JavaScript*

PENDAHULUAN

Ajax (*Asynchronous JavaScript + XML*) adalah sebuah pendekatan interaksi untuk aplikasi berbasis web. Metode pendekatan ini adalah dalam hal pengiriman informasi dalam jumlah yang kecil dari dan ke server untuk mendapatkan aplikasi berbasis web yang lebih responsif. Teknologi yang digunakan oleh Ajax adalah teknologi yang telah ada dan digunakan dalam aplikasi berbasis web, antara lain : *Hypertext Markup Language (HTML)/XHTML, Cascading Style Sheets (CSS), Document Object Model (DOM), Extensible Markup Language (XML), XSLT, XMLHttpRequest* dan *JavaScript*. XHTML dan CSS untuk menampilkan data ke pengguna, DOM untuk mendapatkan tampilan yang dinamis, pertukaran dan manipulasi data menggunakan XML dan XSLT, pengiriman data secara *asynchronous* menggunakan XMLHttpRequest, dan *JavaScript* menggabungkan semua teknologi yang telah disebutkan [Garet, 2005]. Saat ini Ajax menjadi metode baru yang banyak dibicarakan dan digunakan oleh para *web developer* dalam mengembangkan aplikasi berbasis web. Teknologi seperti Java dan .NET sedang mengembangkan *framework* berbasiskan Ajax untuk mendapatkan aplikasi web yang handal dengan memanfaatkan kelebihan Ajax [SDA Asia Magazine, 2006]. Kelebihan yang diberikan oleh Ajax dibandingkan dengan aplikasi web yang ada selama ini adalah pengiriman data seminimal mungkin dari dan ke server sehingga menghemat *bandwidth* dan meringankan kerja server, aplikasi Ajax memiliki model interaksi yang lebih baik dengan menghilangkan paradigma *click and wait* yang digunakan selama ini dan menghindari

pengiriman ulang data yang tidak perlu dari dan ke server [Zakas, dkk., 2006].

Aplikasi web yang akan dibuat menggunakan Ajax ini adalah aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* yang digunakan oleh Unila untuk memperbaiki proses penilaian kinerja jurusan di Unila. Diharapkan dengan menggunakan Ajax aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* dapat menjadi aplikasi yang lebih mudah digunakan oleh pengguna.

METODE PENELITIAN

Aplikasi web dalam penelitian ini dikembangkan dengan pendekatan *Extreme Programming*. Untuk menguji penggunaan teknologi Ajax, sebagian aplikasi dibuat dalam dua versi, yaitu versi dengan Ajax dan versi tanpa Ajax. Untuk pemodelan aplikasi digunakan *Unified Modeling Language* (UML). Sebagai dasar pembuatan aplikasi, *user requirement* untuk aplikasi dalam penelitian ini diperoleh dari pihak Tim Penjaminan Mutu Universitas (TPMU). TPMU selama ini telah mengembangkan sistem penjaminan mutu secara manual dengan menggunakan borang-borang yang harus diisi oleh pihak jurusan.

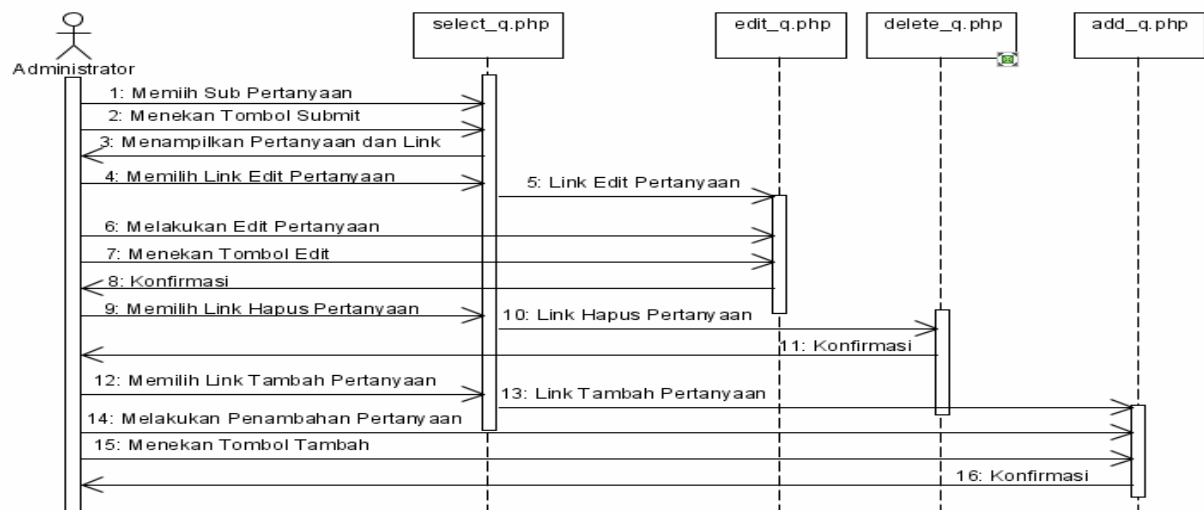
HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil pengujian aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* menunjukkan bahwa penggunaan Ajax dalam aplikasi web memiliki berbagai keuntungan. Keuntungan yang diperoleh adalah terciptanya sebuah aplikasi web yang lebih responsif, aplikasi web yang mudah digunakan oleh pengguna, *realtime updates*, hemat *bandwidth* dan dapat meringankan kerja server. Keuntungan yang didapatkan dari implementasi Ajax dalam aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* jika dibandingkan dengan menggunakan metode klasik dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Aplikasi Web Yang Lebih Responsif dan Mudah Digunakan

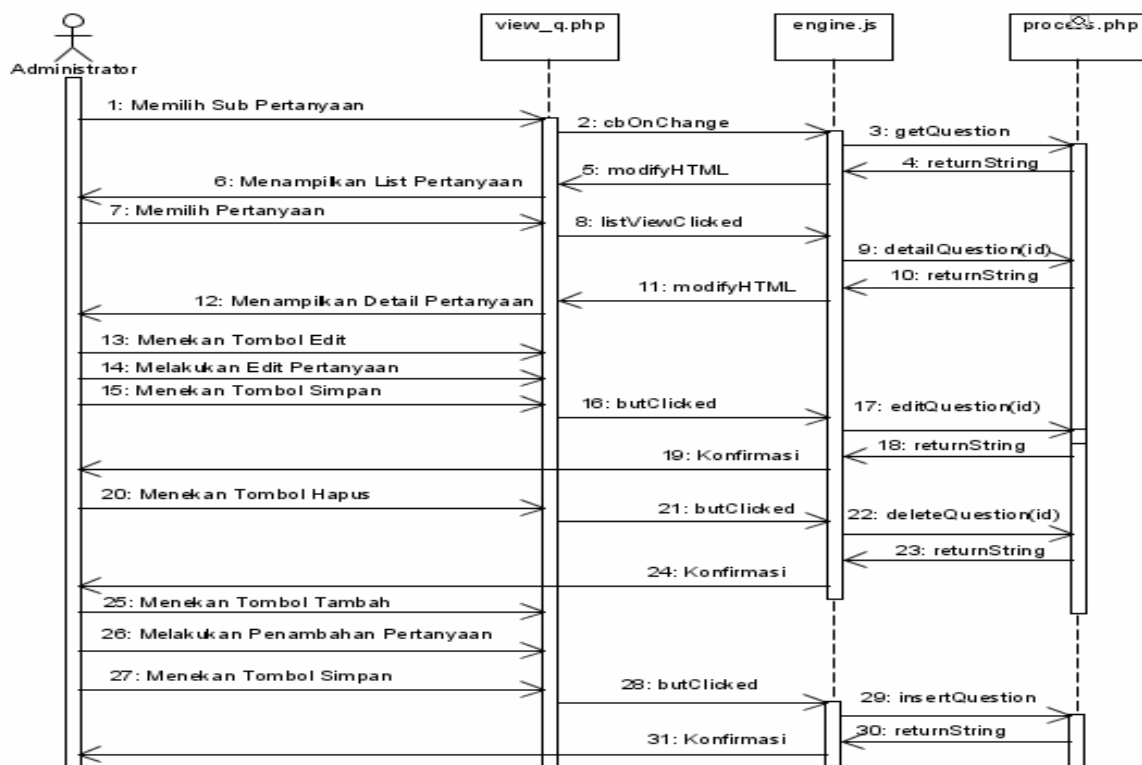
Salah satu modul yang dirancang agar memudahkan pengguna dalam menjalankan aplikasi adalah modul administrasi yang dijalankan oleh administrator. Karena aplikasi web yang dibuat menyerupai aplikasi *desktop*, admin tidak perlu berpindah halaman untuk melakukan pengaturan aplikasi. Sequence diagram dapat dilihat pada gambar 1. dan gambar 2. Dari penjelasan pada gambar tersebut jelas sekali bahwa administrator tidak perlu berpindah-pindah halaman dan kehilangan halaman yang dilihat ketika tombol submit ditekan untuk melakukan administrasi pertanyaan.

sd Sequence Diagram Pengaturan Pertanyaan Tanpa Ajax



Gambar 1. Sequence diagram pengaturan pertanyaan tanpa Ajax

sd Sequence Diagram Pengaturan Pertanyaan Dengan Ajax



Gambar 2. Sequence diagram pengaturan pertanyaan menggunakan Ajax

Administrator dapat melakukan proses administrasi melalui web seperti menggunakan aplikasi *desktop*. Hal ini sangat memudahkan administrator dalam berinteraksi dengan aplikasi. Contoh lain yang membuat aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* menjadi mudah digunakan oleh pengguna adalah sebagai berikut :

a. Menu pencarian pada halaman utama

Pengguna tidak perlu berpindah-pindah halaman untuk melihat hasil penilaian ketika menggunakan fasilitas pencarian. Ketika tombol cari ditekan maka pada halaman itu juga hasil pencarian akan ditampilkan dan *browser* tidak melakukan *refresh* halaman. Pada saat yang bersamaan pengguna juga dapat melakukan pencarian data lima jurusan terbaik beserta grafiknya.

b. Mengetahui nilai yang didapatkan secara langsung

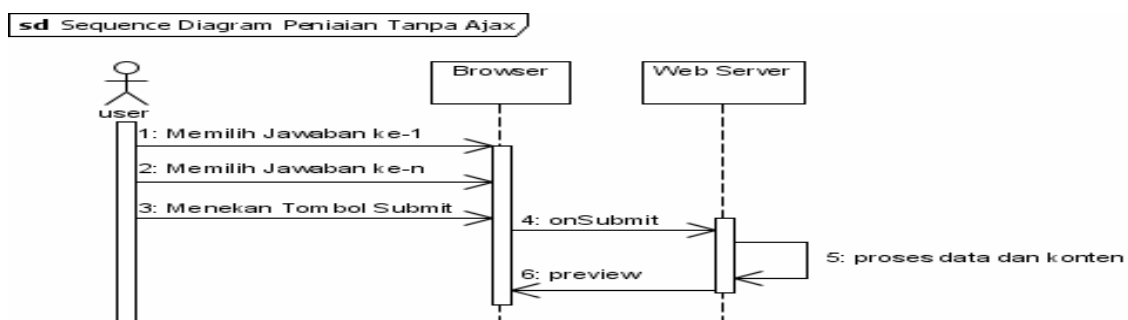
Ketika pengguna memilih poin jawaban dengan menekan *radiobutton* yang diinginkan maka nilai dari poin tersebut akan disimpan langsung ke dalam basis data dan kemudian hasilnya langsung ditampilkan kepada pengguna. Dengan demikian maka pengguna mengetahui nilai yang didapatkannya secara langsung.

c. Penyimpanan nilai ke dalam basis data setiap poin

Aplikasi menyimpan hasil penilaian secara langsung ke dalam basis data ketika pengguna memilih poin yang diinginkan. Hal ini memiliki kelebihan yaitu apabila terjadi putus hubungan antara klien dengan server karena listrik mati atau terjadi *error* pada jaringan maka pengguna tidak perlu mengulang untuk melakukan pengisian pada poin yang telah dipilih.

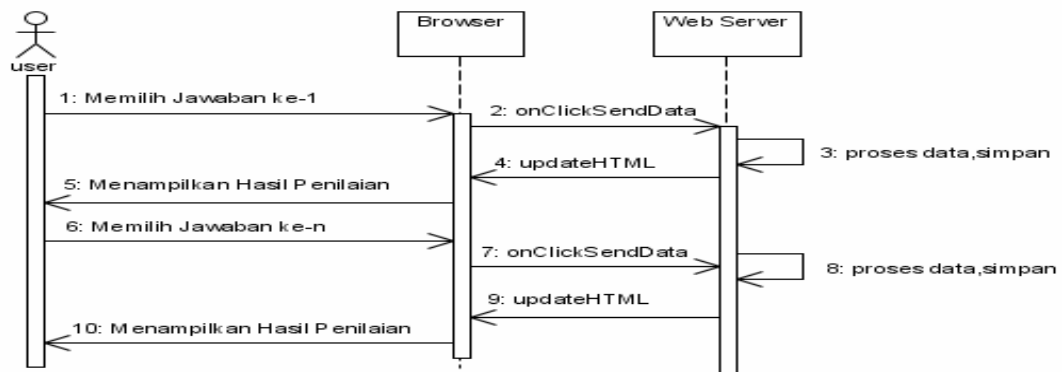
2. Realtime Updates

Pengguna seperti TPMU, Jurusan dan laboratorium yang melakukan penilaian dapat mengetahui nilai yang dihitung dan disimpan ke dalam basis data secara langsung. Hal ini sangat memudahkan pengguna untuk mengetahui secara pasti nilai sebenarnya yang didapatkan dan disimpan di dalam basis data. Sequence diagram dapat dilihat pada gambar 3. dan gambar 4. Dari penjelasan pada gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan Ajax, pengguna dapat melihat langsung hasil penilaian begitu memilih *multiple choice*. Pengguna tidak harus mengisi seluruh *multiple choice* kemudian menekan tombol submit untuk mengirimkan data dan bahkan *content* seperti yang terjadi pada aplikasi web klasik.



Gambar 3. Sequence diagram pemilihan *multiple choice* tanpa Ajax

sd Sequence Diagram Penilaian Menggunakan Ajax

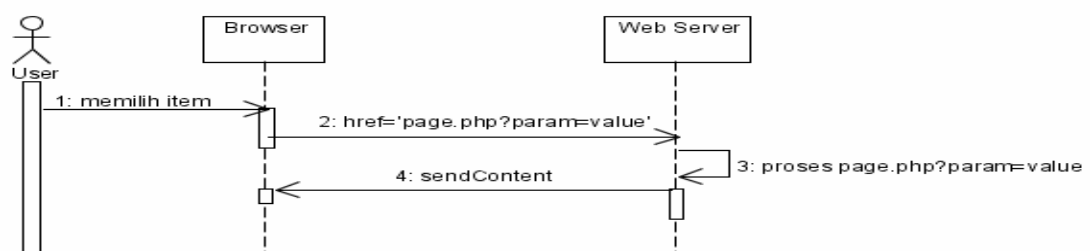


Gambar 4. Sequence diagram pemilihan multiple choice menggunakan Ajax

3. Hemat Bandwidth

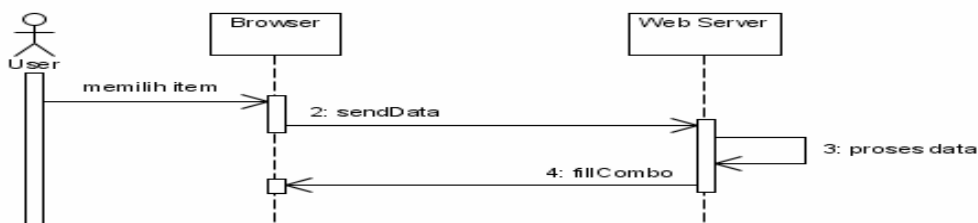
Di dalam aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* dapat dikatakan bahwa server hanya akan mengirimkan data yang diperlukan saja dan dalam jumlah yang kecil. Contohnya adalah dalam proses pemilihan jurusan berdasarkan fakultas yang dipilih menggunakan *combobox*. Sebenarnya aplikasi web klasik dapat melakukan hal yang sama yaitu mendapatkan nama jurusan ketika nama fakultas pada *combobox* pertama dipilih. Namun sebenarnya proses yang terjadi adalah server akan mengirimkan seluruh *content* beserta data yang diinginkan oleh klien. Hal ini berbeda dengan Ajax yang hanya akan mengirimkan data jurusan ke klien tanpa mengirimkan seluruh *content* dan data yang diinginkan. Sequence diagram dapat dilihat pada gambar 5. dan gambar 6. Penghematan *bandwidth* dalam penjelasan di atas dapat diukur dengan mengukur serta membandingkan besarnya *file* dan data yang diminta oleh klien.

sd Sequence Diagram Pengiriman Data Ke Server Tanpa Ajax



Gambar 5. Sequence diagram pengiriman data ke server tanpa Ajax

sd Sequence Diagram Pengiriman Data Dengan Ajax

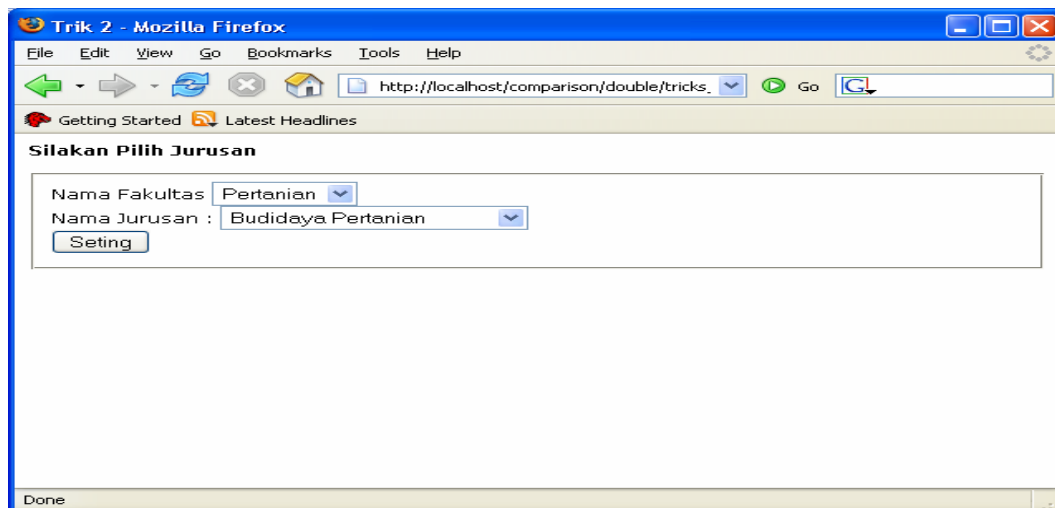


Gambar 6. Sequence diagram pengiriman data ke server menggunakan Ajax

Data-data tersebut dapat diperoleh melalui *access log* dari *Apache Server*. Data-data tersebut adalah sebagai berikut:

a. Tanpa menggunakan Ajax

Aplikasi yang diinginkan untuk mendapatkan nama jurusan tanpa menggunakan Ajax adalah sebagai berikut:



Ketika pengguna memilih fakultas maka nama jurusan akan terisi secara otomatis. Data yang diperoleh dari *access log* dari *Apache Server* pada aplikasi tanpa Ajax adalah sebagai berikut:

```
127.0.0.1 - - [20/Mar/2007:08:44:09 +0700] "GET tricks_2.php HTTP/1.1" 200 1405
127.0.0.1 - - [20/Mar/2007:08:44:10 +0700] "GET script.js HTTP/1.1" 304
127.0.0.1 - - [20/Mar/2007:08:44:20 +0700] "GET tricks_2.php?fakvalue=1 HTTP/1.1" 200 1839
```

Pertama kali halaman di-load maka jumlah *content* yang dikirimkan ke klien adalah sebesar 1405 *byte* untuk *file* *tricks_2.php* dan 304 *byte* untuk *file* *script.js*. Ketika pengguna memilih fakultas maka *content* dan data yang dikirimkan adalah sebanyak 1839 *byte*.

b. Dengan menggunakan Ajax

Aplikasi yang diinginkan untuk mendapatkan nama jurusan dengan menggunakan Ajax adalah sama dengan poin nomor 1. Ketika pengguna memilih fakultas maka nama jurusan akan terisi otomatis. Data yang diperoleh dari *access log* pada *Apache Server* adalah sebagai berikut:

```
127.0.0.1 - - [20/Mar/2007:08:41:14 +0700] "GET script.js HTTP/1.1" 304
127.0.0.1 - - [20/Mar/2007:08:41:14 +0700] "GET ajaxdc.php HTTP/1.1" 200 1405
127.0.0.1 - - [20/Mar/2007:08:41:19 +0700] "POST logic_change_jur.php HTTP/1.1" 200 448
```

Pertama kali halaman di-load maka jumlah *content* yang dikirimkan ke klien adalah sebesar 1405 *byte* untuk *file* *ajaxdc.php* dan 304 *byte*

untuk *file* script.js. Ketika pengguna memilih fakultas maka *content* dan data yang dikirimkan adalah sebanyak 448 *byte*.

Jadi, aplikasi web menggunakan Ajax dapat menghindari pengiriman ulang *content* yang tidak diperlukan sehingga *bandwidth* yang digunakan untuk mendapatkan data baru tidak sebanyak aplikasi web klasik yang akan mengirimkan ulang *content* yang tidak diperlukan.

4. Meringankan Kerja Server

Untuk membuktikan bahwa aplikasi Ajax dapat meringankan kerja *server* maka dapat diambil contoh *file* yang akan dieksekusi oleh *server*.

a. *File* yang diolah oleh *server* pada aplikasi web tanpa menggunakan Ajax

Pada aplikasi web tanpa menggunakan Ajax, *server* akan mengolah ulang *content* dan data ketika pengguna melakukan *request* untuk mendapatkan data jurusan. Ketika klien melakukan *request* untuk mendapatkan data melalui URL `tricks_2.php?fakvalue=1` maka *server* akan mengolah ulang *file* `tricks_2.php` yang memiliki kode sebagai berikut:

```
1 <!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
  "http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
2 <html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
3 <head>
4 <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=iso-8859-1" />
5 <title>Trik 2</title>
6 <style type="text/css">
7 <!--
8 .style1 {font-family: Verdana, Arial, Helvetica, sans-serif}
9 .style2 {font-size: 12px}
10 .style3 {font-family: Verdana, Arial, Helvetica, sans-serif; font-size: 12px; }
12 -->
13 </style>
14 <script src="script.js"></script>
15 </head>
16 <body>
17 <span class="style1"><span class="style2"><strong>Silakan Pilih Jurusan </strong> <br />
18 <br />
19 </span></span>
20 <fieldset>
21 <span class="style3">
22 <label>Nama Fakultas
23 <select name="select" id="fak" onchange="fillJurusan()">
24 <option value="[Pilih]">[Pilih]</option>
25 <?php
26 $kode_fak="";
27 require_once('../source/conf.php');
28 $conn = new mysqli($db_host,$db_user,$db_pass,$db_name);
29 if(isset($_REQUEST['fakvalue'])){\
```

```

30 $kf = $_REQUEST['fakvalue'];
31 $query = "SELECT * FROM fakultas WHERE kode_fak='$kf'";
32 $result_kf = $conn->query($query);
33 $hasil = $result_kf->fetch_array();
34 echo "<option value=\"".$_REQUEST['fakvalue'].\" selected>".$hasil[1]."</option>";
35 }
36 $result = $conn->query("SELECT * FROM fakultas");
37 while($data=$result->fetch_array()){
38 echo "<option value=\"$data[0]>$data[1]</option>";
39 }
40 ?>
41 </select>
42 <br />
43 Nama Jurusan :</label>
44 </span> <span class="style2">
45 <label></label>
46 </span>
47 <label>
48 <select name="select2" id="cb_namajur">
49 <?php
50 $kode_fak="";
51 if(isset($_REQUEST['fakvalue'])){
52 $kode_fak = $_REQUEST['fakvalue'];
53 }
54 require_once('../source/confs.php');
55 $conn = new mysqli($db_host,$db_user,$db_pass,$db_name);
56 $result_2 = $conn->query("SELECT * FROM jurusan WHERE
    kode_fak='$kode_fak'");
57 while($data_2=$result_2->fetch_array()){
    echo "<option value=\"$data_2[0]>$data_2[1]</option>";
58 }
59 ?>
60 </select>
61 <br />
62 <input name="button" type="button" id="tombol_setting" onclick="setJur()" value="Seting" />
63 </label>
64 </fieldset>
65 <div id="loading"></div>
66 </body>
67 </html>

```

b. File yang diolah oleh *server* pada aplikasi web menggunakan Ajax

Ketika pengguna melakukan *request* untuk mendapatkan nama jurusan maka *file* yang dieksekusi oleh *server* adalah sebagai berikut:

```

1 <?php
2 header("Content-type: text/xml");
3 if(!isset($_POST['kode_fak'])){
4     header('location:../../index.php');
5     exit;
6 }
7 $kode_fak = $_POST['kode_fak'];
8 /**
9 * LOGIC OPERATION

```

```

10 */
11 require_once('../source/conf.php');
12 $conn = new mysqli($db_host,$db_user,$db_pass,$db_name);
13 $query = "SELECT * FROM jurusan WHERE kode_fak='$kode_fak'";
14 $result = $conn->query($query);
15 if($_POST['kode_fak']=="[Pilih]"){
16     echo "<?xml version='1.0' ?>";
17     echo "<options>";
18     echo "<option>[Pilih]</option>";
19     echo "<qid>[Pilih]</qid>";
20     echo "</options>";
21 }else{
22 //-----
23     echo "<?xml version='1.0' ?>";
24     echo "<options>";
25     while($data = $result->fetch_array()){
26         echo "<option>".$data[1]."</option>";
27         echo "<qid>".$data[0]."</qid>";
28     }
29     echo "</options>";
30 }
31 ?>

```

Jadi pada aplikasi web tanpa menggunakan Ajax *server* akan mengolah ulang seluruh kode HTML dan PHP kemudian mengirimkan hasilnya ke klien. Misalkan aplikasi web tersebut terdiri dari *image* dan *layout* yang cukup kompleks maka *server* akan dibebani untuk mengolah ulang seluruh *content* yang tidak diperlukan. Pada aplikasi web menggunakan Ajax *server* hanya akan mengolah *file* yang diperlukan saja dan tidak mengolah ulang *content* yang tidak diperlukan. Dengan demikian maka server tidak dibebani untuk mengolah ulang *content* yang tidak diperlukan. Dari perbandingan kode program di atas juga dapat dilihat bahwa kode program yang diolah oleh server pada aplikasi web yang tidak menggunakan Ajax adalah lebih banyak dari aplikasi web yang menggunakan Ajax.

Penggunaan Ajax dalam aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Hilangnya Content Pada Klien Ketika Berpindah Halaman

Salah satu kekurangan Ajax adalah *browser* tidak dapat menyimpan *history* yang dilakukan oleh klien selama menggunakan aplikasi yang menggunakan Ajax. Akibatnya apabila pengguna berpindah halaman dari aplikasi tersebut atau *me-refresh* halaman maka *content* dan data yang ditampilkan sebelumnya akan hilang. Salah satu cara untuk menghindari agar pengguna tidak berpindah halaman adalah dengan mengarahkan pengguna untuk berinteraksi dengan sebuah halaman saja. Hal ini dapat dilakukan dengan merancang aplikasi untuk berjalan pada satu halaman saja.

b. Ajax Tidak Berjalan Jika *JavaScript* Tidak Diaktifkan

Aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* tidak akan berjalan jika *JavaScript* pada *browser* tidak diaktifkan. Hal ini terjadi karena *JavaScript* adalah komponen yang paling menentukan dalam aplikasi web menggunakan Ajax. Salah satu solusi untuk hal ini adalah dengan mengadakan cek terhadap browser apakah browser tersebut telah diseting *enable* untuk menjalankan *script JavaScript* dengan menggunakan tag `<noscript></noscript>` seperti contoh di bawah ini:

```
<noscript>
PLEASE ENABLE JAVASCRIPT
</noscript>
```

Jika *JavaScript* tidak diaktifkan maka akan ada keterangan agar *JavaScript* pada browser diaktifkan.

b. Kompatibilitas *Browser*

Aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* dapat berjalan pada browser *Internet Explorer* versi 6 atau lebih, *Mozilla Firefox* versi 1.6 atau lebih dan *Opera* versi 9 atau lebih. Selain ketiga browser tersebut maka Aplikasi Penjaminan Mutu Jurusan *Online* tidak dapat berjalan dengan baik. Salah satu solusi untuk mengatasi hal ini adalah dengan memberikan petunjuk kepada pengguna agar menggunakan *browser* yang telah ditentukan.

SIMPULAN

Dalam penelitian ini telah didapat hasil bahwa Ajax telah dapat meningkatkan kenyamanan pengguna dengan membuat aplikasi yang lebih responsif dan interaktif. Selain itu, Ajax meningkatkan unjuk kerja aplikasi dengan menghemat bandwidth dan mengurangi kerja server. Walaupun begitu, kompatibilitas browser dengan Ajax masih harus diuji sebelum aplikasi ini dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [Eriksson, Penker, 1997] Erikson, Hans-Erik and Penker, Magnus. 1997. *UML Toolkit*. John Wiley & Sons, Inc. Canada. 397 hlm.
- [Garet, 2005] Garet, Jesse James. 18 February 2005. *Ajax: A New Approach To Web applications*. Juni 2006.
- [Http://www.adaptivepath.com/publications/essays/archieves/000385.php](http://www.adaptivepath.com/publications/essays/archieves/000385.php)
- [Jacobi, Fallows, 2006] Jacobi, Janos and R. Fallows, John. 2006. *Pro JSF and Ajax Building Rich Internet Components*. Appress. Springer-Verlag, New York. 465 hlm.

- [MediaWiki, 2006] MediaWiki. 3 Juni 2006. *A Primer To Ajax Phenomenon*. 17 Juni 2006.
[Http://www.ajaxpatterns.org/wiki/index.php](http://www.ajaxpatterns.org/wiki/index.php)
- [Munawar, 2005] Munawar. 2005. *Pemodelan Visual Dengan UML*. Graha Ilmu, Yogyakarta. 236 hlm.
- [SDA Asia Magazine, 2006] SDA Asia Magazine. Volume 14 2006. *Ajax, Struts dan JSF*. PT Media Teknologi Informasi Jaya. 79 hlm.
- [Stewart, 2003] Stewart, Baird. 2003. *Sams Teach Yourself Extreme Programming in 24 Hours..* Sams Publishing , USA. 480 hlm.
- [Zakas, dkk., 2006] Zakas, Nicholas C. McPeak, Jeremy. and Fawcett, Joe. 2006. *Professional Ajax*. Wiley Publishing, Inc., Indiana Polis, Indiana. 380 hlm.

ANALISIS SISTEM KEAMANAN SIAKAD ONLINE UNILA MENGUNAKAN FRAMEWORK COBIT - DS5

MARDIANA

Jurusan Teknik Elektro Unila

Email : mardiana@unila.ac.id

ABSTRACT

In effort ensuring that Siakad Online implementation has been aligned with institutional target, it is necessary to analyse current Siakad's security system that has been deployed. This analysis refers to COBIT framework domain delivery and support (DS) in process DS5 Ensure Systems Security. COBIT is standard model of information technology governance which has been acknowledge widely and developed by Information Technology Governance Institute (ITGI). This research is started by data gathering, followed by management awareness analysis in order to know the responsibility of activity and expectation form Siakad management towards DS5 process, comparing expectation to current condition, then analysing maturity level. The assesment of maturity level of Siakad implementation in DS5 process shows that this process is in level 2 - Repeatable, however management expectation is in level 4 - Managed and Measurable. This maturity level target become the base for proposing policies for SIAKAD implementation in DS5 process.

Keyword : COBIT, Information Technology, DS5, Security Systems

PENDAHULUAN

Untuk terus meningkatkan mutu pelayanannya sejak tahun 2000 Unila telah mengimplementasikan aplikasi Sistem Informasi Akademik (Siakad) secara online. Dengan memanfaatkan kehandalan teknologi informasi, sistem ini diharapkan dapat memberikan pelayanan administrasi akademik secara lebih cepat, tepat, dan akurat. Pengguna yang terlibat dalam Siakad meliputi mahasiswa, BAAK, BAU, Bagian Kepegawaian, Bagian Perlengkapan, Bank, Pembantu Dekan I, Ketua Jurusan, Dosen Pembimbing Akademik, dan Dosen Penanggung Jawab Mata Kuliah. Jumlah pengguna dalam Siakad, untuk ukuran sebuah aplikasi sistem administrasi akademik berbasis web di Indonesia, cukup besar dan akan terus bertambah seiring dengan penambahan mahasiswa baru. Menurut data yang diperoleh dari PUSKOM, tahun ajaran 2006/2007 terdapat kurang lebih 20.000 pengguna mahasiswa dan 1370 pengguna dosen. Seluruh pengguna tersebut, sesuai dengan tanggung jawab dan kewenangannya, terkait dalam suatu sistem jaringan.

Untuk menjaga keberlangsungan sistem, masalah keamanan merupakan salah satu aspek penting dari sebuah sistem informasi seperti Siakad online. Pengelola harus dapat selalu memastikan

bahwa data akademik yang dikelola oleh Siakad terjaga kerahasiaanya dan memenuhi aturan integritas data yang telah ditetapkan. Berdasarkan hal tersebut, analisis sistem keamanan Siakad online mengacu pada model standar pengelolaan teknologi informasi yang telah mendapat pengakuan secara luas merupakan suatu hal yang sangat kritis dan harus dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sistem keamanan Siakad online dengan menggunakan *framework* COBIT (*Control Objectives for Information and related Technology*) yang dikembangkan oleh IT Governance Institute (ITGI), bagian dari *Information Systems Audit and Control Association* (ISACA). COBIT merupakan sebuah model pengelolaan TI yang dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan *control objective* dari proses TI yang diperlukan dalam penerapan *IT Governance* pada suatu organisasi. *Framework* COBIT merupakan kumpulan *best practice* dan bersifat generic, oleh karena itu dalam menerapkan *framework* COBIT harus disesuaikan dengan kebutuhan pengelolaan dan proses TI yang berlangsung dalam organisasi tersebut. COBIT terdiri atas 4 domain utama yaitu : *Planning & Organisation, Acquisition & Implementation, Delivery & Support, Monitoring*. Fokus pada penelitian ini menggunakan domain *Delivery & Support* yang berkonsentrasi pada teknis-teknis yang mendukung terhadap proses pelayanan TI seperti Siakad. Proses yang dijadikan acuan adalah DS5 *Ensure Sistem Security*.

METODOLOGI

Metodologi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Studi literatur tentang *framework* COBIT yang akan digunakan sebagai acuan.
- b. Mengumpulkan dokumen mengenai visi, misi, strategi, tujuan Pusat Komputer (Puskom) sebagai penanggung jawab dalam pengelolaan Sumberdaya Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) di Unila serta dokumen yang terkait dengan kebijakan pengelolaan TI.
- c. Membagikan kuesioner dan melakukan wawancara dengan pihak terkait untuk mempelajari area potensial (DS5) yang akan dianalisis.
- d. Membagikan kuesioner dan melakukan wawancara dengan pihak terkait untuk mempelajari kondisi sistem berjalan dan kondisi yang diharapkan.
- e. Melakukan analisis *gap* terhadap *maturity level*
- f. Membuat usulan rancangan struktur kendali keamanan informasi Siakad pada tingkat kebijakan

HASIL dan PEMBAHASAN

Responden

Responden kuesioner dan wawancara untuk mendapatkan data *management awareness* dilakukan terhadap pengelola Siakad. Responden terdiri dari 6 orang.

Management Awareness Terhadap Penerapan Siakad

Penelitian tentang *management awareness* terhadap penerapan Siakad Unila bertujuan untuk melihat sejauh mana harapan (ekspektasi) pengelola Siakad terhadap penerapan Siakad dalam mendukung tercapainya tujuan institusi. Pada tahap ini dilakukan pengambilan data berupa opini pengelola Siakad terhadap proses-proses TI yang ada dalam COBIT *framework* untuk domain *Delivery and Support* (DS) proses DS5 melalui kuisisioner I - *Management Awareness* (lihat Lampiran A). Berdasarkan hasil kuesioner I - *management awareness* diperoleh rekapitulasi yang dapat dilihat pada Tabel 1. Rekapitulasi kuesioner tersebut disederhanakan dengan cara menggabungkan kolom "Perlu" dan "Sangat Perlu", dan mengambil nilai rata-rata pada setiap proses sebagai "tingkat kepentingan" pengelolaan proses. Dari hasil penyederhanaan hasil kuesioner *Management Awareness* pengelolaan proses memiliki tingkat kepentingan 85%. Dari persentase tersebut dapat dilihat bahwa ekspektasi terhadap penerapan Siakad dalam hal keamanan sangat tinggi.

Penentuan Maturity Level Proses DS5

Maturity level yang akan menjadi acuan dalam penerapan Siakad Unila dapat ditentukan dengan melihat faktor sebagai berikut :

1. Visi, misi, institusi serta visi, misi dan tujuan Puskom
2. Hasil Kuesioner I - *Management Awareness*, terlihat bahwa ekspektasi manajemen terhadap TI yang dimilikinya sangatlah tinggi dari aktifitas COBIT pada proses DS5 diharapkan untuk dilakukan dalam penerapan Siakad Unila.
3. Wawancara dengan pihak pengelola

Dengan melihat faktor-faktor tersebut, maka dapat diambil kesimpulan bahwa *maturity level* COBIT yang menjadi acuan dalam model pengelolaan TI yang akan dikembangkan adalah pada skala 4 (*Managed and Measurable*).

Penilaian Current Maturity Level Proses DS5

Pada kuesioner II - *IT Process Diagnostic* (lihat lampiran B), disertai wawancara pada pengelola Siakad, dilakukan penilaian tingkat kematangan (*maturity level*) aktifitas-aktifitas TI pada proses DS5 yang sudah berjalan pada penerapan Siakad Unila. Berikut temuan-temuan dari kuesioner II secara umum :

- a. Program untuk menjamin keamanan data seperti *antivirus* dan *firewall* telah diterapkan.
- b. Monitoring terhadap keamanan Siakad telah diterapkan, tetapi belum terdapat prosedur dan perencanaan yang baku dan analisa masih bersifat individu.
- c. Hal-hal yang memungkinkan menjadi penyebab terganggunya layanan Siakad beserta cara penanganannya telah dipahami, tetapi belum diidentifikasi dengan jelas, belum terdokumentasi dan belum ada prosedur yang baku.
- d. Pelanggaran terhadap keamanan sistem dideteksi dari aplikasi monitoring yang dibuat dan dari analisa *log file*.
- e. Solusi terhadap pelanggaran keamanan dilakukan perkasus.
- f. Pemberian hak akses dilakukan kepada mahasiswa baru dan dosen baru, pemutusan hak akses akan dilakukan ketika mahasiswa dinyatakan lulus atau dropout.
- g. Ada petugas yang bertanggung jawab menangani masalah keamanan data dan keamanan fisik fasilitas Siakad, tetapi definisi tanggung jawabnya belum didokumentasikan secara jelas.

Berdasarkan temuan diatas diperoleh *current maturity* DS5 *Ensure sistem security* adalah 2,44 (lihat lampiran C dan D).

Analisis Gap Maturity Level Proses DS5

Maturity level yang ditetapkan sebagai acuan dalam model pengelolaan TI Penerapan Siakad Unila (*expected maturity level*) adalah pada skala 4 - *managed dan measurable*. Dengan demikian maka harus dilakukan spesifikasi kondisi yang ingin dicapai pada masing-masing proses adalah sbb:

- a. Tanggung jawab keamanan TI didefinisikan dengan jelas, dikelola dan dipantau keterselenggaraanya.
- b. Risiko keamanan TI dan dampaknya dianalisis secara konsisten.
- c. Menyadari bahwa keamanan adalah suatu keharusan.
- d. Kebijakan keamanan dan pelaksanaannya dilengkapi dengan dasar-dasar keamanan yang spesifik.
- e. Identitas user, hak akses distandarisasi.
- f. Sertifikasi keamanan staff ditetapkan.
- g. Pengujian terhadap upaya *intrusi* distandarisasi dan prosesnya diformalisasi serta mengarah pada peningkatan secara terus menerus.
- h. Analisis *cost-benefit* mendukung implementasi ukuran keamanan, yang meningkat terus menerus.
- i. Proses-proses keamanan TI terkoordinasi dengan fungsi keamanan organisasi secara keseluruhan.
- j. Pelaporan keamanan TI dihubungkan dengan sasaran bisnis.

Verifikasi hasil analisis dapat dilihat pada tabel 2.

Menghilangkan Gap Maturity Level Proses DS5

Gap maturity level yang ada dapat ditutupi dengan melakukan kegiatan-kegiatan sesuai dengan kondisi – kondisi yang telah distandarisasi pada *maturity level* yang ditargetkan dan melakukan penyempurnaan terhadap kondisi pada *current maturity level* saat ini yang belum terpenuhi. Kegiatan tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Menetapkan secara jelas tanggung jawab pengelola dengan target kompetensi tertentu.
- b. Menetapkan standarisasi keamanan yang akan dicapai.
- c. Mendokumentasikan perencanaan keamanan IT secara jelas dan dibakukan.
- d. Pemenuhan terhadap target standar *maturity level* 4.

Usulan Kebijakan Proses DS5

Dengan mempertimbangkan hasil analisis *gap maturity level* diatas, berikut ini usulan rancangan struktur kendali keamanan informasi Siakad pada tingkat kebijakan :

A. Kebijakan Keamanan Informasi.

- a. Akses Data.

B. Kebijakan Keamanan Pengguna layanan Komputasi.

- a. Etika.
- b. *User Account*.
- c. *Password*.

C. Kebijakan Keamanan Komputer dan Jaringan Komputer.

- a. Keamanan Fisik dan Lingkungan.
 1. Keamanan Fisik.
 2. Kontrol akses.
- b. Jaringan Komputer.
 1. *Internet* dan *firewall*.
 2. *Virus, worm* dan *hacker*.

D. Kebijakan Keamanan Informasi

1. Pendahuluan.

Keamanan informasi merupakan faktor yang mutlak perlu diperhatikan dalam menghasilkan layanan yang berkualitas. Mengingat data Siakad berkaitan dengan data yang cukup rentan dalam hal keakuratan dan kerahasiaannya. Dalam usaha mewujudkan kondisi tersebut perlu dibuatkan perencanaan yang

dapat dijadikan acuan dalam mengelola dan mengendalikan keamanan informasi pada Siakad Unila.

2. Batasan.

Kebijakan ini diterapkan pada seluruh data dan informasi Siakad berbagai bentuk dan disimpan dalam berbagai media, dan seluruh pengguna data Siakad

3. Tujuan

- 3.1. Memberikan tuntunan bagi seluruh pihak yang bertanggungjawab terhadap keamanan data dalam menjaga dan mengklasifikasikan tingkat sensitifitas data atau informasi.
- 3.2. Memberikan pedoman pengelolaan kerahasiaan data Siakad.
- 3.3. Memberikan pedoman dalam menjamin keamanan jaringan, aplikasi Siakad dan komputer server dari gangguan virus dan kejahatan lain yang dapat berakibat pada keakuratan dan ketersediaan data.

4. Pernyataan Kebijakan Akses Data

- 4.1. Hanya pengguna yang memiliki otoritas dapat mengakses data Siakad
- 4.2. Akses data yang diberikan kepada pengguna maupun pengelola tidak boleh dibagikan, didelegasikan kepada pihak lain.
- 4.3. Pengelola yang memiliki otoritas pengaksesan data tidak boleh menggunakan data atau aplikasi yang pengguna gunakan untuk kegiatan ilegal atau diluar fungsi kerja
- 4.4. Akses data dibatasi sesuai jadwal yang telah ditetapkan dalam kalender akademik
- 4.5. Pengaksesan data yang tidak sesuai jadwal, harus memperoleh ijin dari pimpinan

B. Kebijakan Keamanan Personil

1. Pendahuluan.

Kebijakan ini membelikan tuntunan bagi seluruh pengguna agar dapat menggunakan layanan informasi secara aman. Seluruh pengguna dan manajemen bertanggung jawab dan memiliki peran penting dalam menjaga keamanan sistem informasi

2. Batasan.

Kebijakan ini diterapkan pada seluruh pengguna, pengelola, administrator

3. Tujuan.

Memberikan arahan kepada seluruh pengguna layanan Informasi mengenai hak dan tanggungjawabnya dalam menjaga keamanan sistem informasi

4. Pernyataan Kebijakan.

4.1. Etika menggunakan komputer.

- 4.1.1 Pengguna tidak diperbolehkan memberikan atau membagi *user account* dengan pihak lain.
- 4.1.2 Pengguna harus melakukan *login* ketika akan menggunakan aplikasi Siakad
- 4.1.3 Pengguna harus *log out* apabila akan meninggalkan komputer yang sedang digunakan atau selesai menggunakan aplikasi
- 4.1.4 Pengguna tidak diperbolehkan masuk ke *account* pengguna lainnya
- 4.1.5 Seluruh layanan Informasi yang diberikan digunakan secara bertanggung jawab sesuai dengan kebutuhan aktifitas pengguna .

4.2. User Account.

- 4.2.1. Nama *user account* atau *user name* saat pertama diberikan oleh administrator (default NIP atau NPM), harus segera diganti oleh pengguna.
- 4.2.2. *User name* harus unik, berjumlah minimal 6 karakter, terdiri dari huruf atau angka atau kombinasi keduanya.
- 4.2.3. *User account* akan dihapus apabila pengguna mahasiswa berstatus DO atau sudah lulus sebagai mahasiswa Unila dan pengguna dosen tidak lagi aktif bekerja di Unila dengan berbagai alasan

4.3. Password.

- 4.3.1. *Password* pengguna saat pertama diberikan oleh administrator (default) harus segera diganti oleh pengguna.
- 4.3.2. *Password default* yang tidak diganti oleh pengguna dalam 1 bulan, akan diblok oleh sistem.

- 4.3.3. *Password* harus berjumlah minimal 6 karakter, terdiri dari huruf atau angka atau kombinasi keduanya.
- 4.3.4. *Password* bagi *administrator* dan *super user*, harus berjumlah minimal 8 karakter terdiri dari kombinasi huruf dan angka.
- 4.3.5. *Password* harus diubah minimal 60 hari sekali bagi pengguna atau 20 hari bagi hak akses setingkat administrator .
- 4.3.6. Penerapan masa kadaluwarsa *password*.
- 4.3.7. Secara periodik diberikan peringatan kepada user untuk selalu menjaga kerahasiaan ID dan *password*.
- 4.3.8. User harus melaporkan kepada administrator melalui media komunikasi yang ditetapkan apabila menemukan kejanggalan terhadap penggunaan ID dan *password*nya.

4.4. Hak Akses

- 4.4.1 Hak akses pengguna disesuaikan dengan status pengguna (mahasiswa, dosen, staf, pimpinan, administrator)
- 4.4.2 Secara berkala hak akses yang didefinisikan dimonitoring keterseleksiannya

C. Kebijakan Keamanan Komputer dan Jaringan Komputer.

1. Pendahuluan.

Kebijakan ini memberikan tuntunan bagi seluruh pengguna, agar dapat menggunakan layanan informasi secara aman. Seluruh pengguna dan manajemen bertanggung jawab dan memiliki peran dalam menjaga keamanan Siakad online.

2. Batasan.

Kebijakan ini diterapkan dan berlaku untuk seluruh pengguna dan manajemen, untuk menjaga keamanan fisik dan logik informasi Siakad.

3. Tujuan.

Akses terhadap server baik secara fisik maupun administrasi harus dikendalikan untuk menjaga kerusakan, pencurian data, penyalahgunaan data beserta sumber daya informasi.

4. Pernyataan Kebijakan.

4.1. Keamanan Fisik dan Lingkungan.

4.1.1. Akses Fisik.

- 4.1.1.1. Pemberian hak akses terhadap ruang server, peralatan dan media dibatasi hanya untuk personil yang diberi otoritas.
- 4.1.1.2. Pembatasan akses untuk mengoperasikan dan mengakses perangkat jaringan komputer (*Hub, Switch, Firewall*)
- 4.1.1.3. Unit tempat dimana perlengkapan jaringan komputer disimpan bertanggungjawab terhadap keamanan peralatan jaringan komputer

4.1.2. Akses Administrative.

- 4.1.2.1. Hak akses pada level *administrator* diberikan kepada personil dengan persetujuan dari Kepala Pusat Komputer Unila.
- 4.1.2.2. Hak akses juga dibatasi dengan domain atau nomor IP tertentu
- 4.1.2.3. Penggunaan hak akses *administrator* harus dicatat, mencakup tanggal, waktu, alamat jaringan komputer yang diakses, dan keterangan mengenai kegiatan yang dilakukan beserta alasannya.
- 4.1.2.4. Seluruh insiden keamanan pada server harus dicatat mencakup percobaan mengakses server dengan *user account* ilegal

4.2. Jaringan Komputer.

4.2.1. Internet dan Firewall.

- 4.2.1.1. Koneksi jaringan dilengkapi dengan *firewall* dan dilakukan peninjauan ulang secara berkala.
- 4.2.1.2. Jaringan juga dilengkapi dengan sistem yang mampu mendeteksi adanya upaya-upaya *intrusi*.

4.2.2. Virus, worm, Cracker dan Hacker.

- 4.2.2.1. Penggunaan antivirus pada komputer server dan workstation
- 4.2.2.2. Pengelola Siakad harus memastikan bahwa komputer server dan workstation selalu diinstall antivirus dan *patch* versi terbaru (*update*).

- 4.2.2.3 Penggunaan *Secure Socket Layer* (SSL) untuk enkripsi komunikasi
- 4.2.2.4 Pengelola menetapkan dan menstandarisasi pedoman pengujian terhadap upaya-upaya *intrusi*.
- 4.2.2.5 Pengelola memastikan sistem dapat melakukan penelusuran terhadap akses yang dilakukan user apabila diperlukan.
- 4.2.2.6 Pengelola memastikan bahwa metode enkripsi yang digunakan telah memadai keamanan data yang dibutuhkan.
- 4.2.2.7 Pengelola memastikan sistem telah diuji dari adanya lubang keamanan yang disebabkan oleh kesalahan program atau konfigurasi
- 4.2.2.8 Mendefinisikan sangsi-sangsi terhadap pelanggaran yang menyebabkan gangguan terhadap keamanan Siakad dan diformalisasikan sebagai aturan institusi.

SIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penilaian proses DS5 yang diterapkan pada Siakad Online berada pada batasan tingkat kematangan 2, yaitu sebanyak 85%. Hal ini menunjukkan bahwa aktifitas-aktifitas pada proses-proses tersebut telah diterapkan, tetapi belum dibuatkan prosedur secara tertulis dan terdokumentasi.
2. Maturity level yang diperoleh dari analisa dan hasil kuisioner adalah pada skala 4 (*Managed and Measurable*).
3. Dari hasil analisis dilakukan pendefinisian dan usulan kebijakan-kebijakan yang diperlukan pada proses DS5.

DAFTAR PUSTAKA

Guldentops,Erik dkk, "*Broad Briefing on IT Governance*", IT Governance Institute, 2003.

IT Governance Institute, IT Governance Executive Summary.

IT Governance Institute, Management Guidelines COBIT 4.0, 2005.

IT Governance Institute, Management Guidelines & Audit Guidelines, COBIT 3 rd Edition, 2000.

IT Governance Institute, Control Objectives, COBIT 3 rd Edition, 2000.

IT Governance Institute, ITGovernance Implementation Guide, 2003

Mitchell John, Implementation IT Governance Using Control Objective for IT (COBIT), LHS Bisnis Control.

Ron Weber, Information Systems Control and Audit. Prentice Hall. 1999.

Suratman Aswin, Tesis ITB, 2005.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil kuesioner *Management Awareness*

PROSES	JUMLAH TOTAL						PROSENTASE				
	AKTIFITAS	SANGAT TIDAK PERLU	TIDAK PERLU	DAPAT DITERAPKAN	PERLU	SANGAT PERLU	SANGAT TIDAK PERLU	TIDAK PERLU	DAPAT DITERAPKAN	PERLU	SANGAT PERLU
DS 5	1	0	0	0	2	4	0%	0%	0%	33%	67%
	2	0	0	0	1	5	0%	0%	0%	17%	83%
	3	0	0	0	1	5	0%	0%	0%	17%	83%
	4	0	0	1	2	3	0%	0%	17%	33%	50%
	5	0	0	1	3	2	0%	0%	17%	50%	33%
	6	0	0	2	3	1	0%	0%	33%	50%	17%
	7	0	0	3	2	1	0%	0%	50%	33%	17%
	8	0	0	1	1	4	0%	0%	17%	17%	67%
	9	0	0	0	4	2	0%	0%	0%	67%	33%
	10	0	0	1	3	2	0%	0%	17%	50%	33%
	11	0	0	1	3	2	0%	0%	17%	50%	33%
	12	0	0	1	3	2	0%	0%	17%	50%	33%

Tabel 2 Verifikasi Hasil

PROSES TI	STANDARD CURRENT MATURITY LEVEL	PEMENUHAN	STANDAR EXPECTED MATURITY LEVEL
DS 5	a. Tanggung jawab keamanan TI telah ditetapkan, meski tanpa wewenang yang terdefinisi dengan jelas. b. Terdapat informasi tentang keamanan TI, tetapi tidak dianalisa c. Solusi keamanan cenderung bersifat reaktif. d. Kebijakan-kebijakan keamanan sudah dikembangkan. e. Ketersediaan tenaga ahli dan peralatan yang digunakan saat ini f. Kelengkapan dan keterkaitan Laporan keamanan TI	✓ ✓ ✓ - belum distandarisasi ✓ ✓	a. Tanggung jawab keamanan TI didefinisikan dengan jelas, dikelola dan dipantau keterseleenggaraannya. b. Risiko keamanan TI dan dampaknya dianalisis secara konsisten. c. Menyadari bahwa keamanan adalah suatu keharusan. d. Kebijakan keamanan dan pelaksanaan dilengkapi dengan dasar-dasar keamanan yang spesifik. e. Identitas user, hak akses distandarisasi. f. Sertifikasi keamanan staff ditetapkan. g. Pengujian terhadap upaya <i>intrusi</i> distandarisasi dan prosesnya diformalisasi serta mengarah pada peningkatan secara terus menerus h. Analisis <i>cost-benefit</i> mendukung implementasi ukuran keamanan, yang meningkat secara terus menerus. i. Proses-proses keamanan TI terkordinasi dengan fungsi keamanan organisasi secara keseluruhan. j. Pelaporan keamanan IT dihubungkan dengan sasaran bisnis.

LAMPIRAN A**KUESIONER I**

**Analisis Penerapan Sistem Informasi Akademik
(SIKAD) UNILA**
Management Awareness

Nama Responden	:								
Jabatan Reponden	:								
Departemen / Bagian	:								
Aktifitas	Tingkat Keperluan					Ditangani oleh			
	Sangat Tdk Perlu	Tidak Perlu	Bisa Diterapkan	Perlu	Sangat Perlu	Dept IT	Dept Lain	Pihak Luar	Tidak Tahu
1. Membuat perencanaan untuk menangani masalah keamanan (data dan fasilitas hardware) pada implementasi SIKAD									
2. Monitoring dan evaluasi terhadap keamanan data dan fasilitas fisik yang berkaitan dengan SIKAD									
3. Mengidentifikasi hal-hal yang dapat menyebabkan terganggunya layanan SIKAD beserta langkah antisipasinya									
4. Melengkapi SIKAD dengan pendeteksi virus dan patch terbaru									
5. Hak akses yang diberikan kepada user sesuai dengan fungsi pekerjaannya									
6. Prosedure dalam memberikan dan memutuskan hak akses user									
7. Dilakukan peninjauan secara berkala terhadap hak akses yang diberikan kepada user									
8. Indikasi pelanggaran terhadap keamanan system dapat dideteksi dalam waktu singkat									
9. Pengelompokan data SIKAD berdasarkan kriteria tertentu									
10. Pelanggaran keamanan sistem yang terjadi, secara berkala dicatat, dilaporkan dan ditinjau untuk menghasilkan solusinya									

Aktifitas	Tingkat Keperluan					Ditangani oleh			
	Sangat Tdk Perlu	Tidak Perlu	Bisa Diterapkan	Perlu	Sangat Perlu	Dept IT	Dept Lain	Pihak Luar	Tidak Tahu
11. Meninjau ulang system keamanan yang telah diimplementasikan secara berkala									
12. Tersedia fasilitas untuk mengubah password									

LAMPIRAN B

Analisis Penerapan Sistem Informasi Akademik (SIKAD) UNILA IT Control Diagnostics

Nama Responden										
Jabatan Reponden										
Departemen / Bagian										
AKTIFITAS		PERFORMANSI					DOKUMENTASI			KOMENTAR
		Sangat Baik	Baik	Cukup	Kurang Baik	Ragu-ragu	Tidak Dapat Diterapkan	Didokumentasikan	Tidak Didokumentasikan	Ragu-ragu
1	Apakah dilakukan monitoring dan evaluasi terhadap keamanan data dan fasilitas fisik yang berkaitan dengan Siakad?									
2	Apakah hal-hal yang menyebabkan terganggunya layanan Siakad beserta langkah antisipasinya telah didefinisikan secara tertulis ?									
3	Apakah SIAKAD dilengkapi dengan pendeteksi virus dan patch terbaru?									
4	Apakah indikasi pelanggaran terhadap keamanan system dapat dideteksi dalam waktu singkat?									
5	Apakah dilakukan pengelompokan data-data Siakad berdasarkan criteria tertentu?									

6	Apakah tersedia prosedur dalam memberikan dan memutuskan hak akses user?									
7	Apakah pelanggaran keamanan sistem yang terjadi, secara berkala dicatat, dilaporkan dan ditinjau untuk menghasilkan solusinya?									
8	Apakah pihak pengelola membuat perencanaan dalam menangani masalah keamanan (data dan fasilitas hardware) implementasi Siakad?									
9	Meninjau ulang sistem keamanan yang telah diimplementasikan secara berkala?									
10	Tersedia fasilitas untuk mengubah password									

LAMPIRAN C

HASIL KUESTIONER *PERFORMANCE_IT_CONTROL DIAGNOSTIC*

AKTIFITAS	PENGELOLA					MATURITY AKTIFITAS
	5	4	3	2	1	
1		1	2	1	1	2,17
2			1	3	2	1,83
3		1	4	1	1	3,17
4		2	2		2	2,67
5			2	3	1	2,17
6		2	3	1		3,17
7			1	3	2	1,83
8			2	3	1	2,17
9			2	3	1	2,17
10		2	3		1	3,02

Current maturity aktifitas dihitung dari merata-ratakan bobot jawaban untuk setiap aktifitas.

Misal sebagai contoh aktifitas 1 :
$$\frac{(1 \times 4) + (2 \times 3) + (1 \times 2) + (1 \times 1)}{6} = 2,17$$

LAMPIRAN D

CURRENT MATURITY LEVEL AKTIFITAS DAN PROSES DOMAIN DS

PROSES	AKTIFITAS	MATURITY AKTIFITAS	MATURITY PROSES
DS 5	1	2,17	
	2	1,83	
	3	3,17	
	4	2,67	
	5	2,17	
	6	3,17	
	7	1,83	
	8	2,17	
	9	2,17	
	10	3,02	2,44

Current maturity proses ditentukan dengan menghitung jumlah rata-rata *current maturity* aktifitas

SISTEM AKUISISI DATA FISIS JARAK JAUH MENGGUNAKAN PROTOKOL TCP/IP

ROHMAT WAHYUDI

Jurusan Fisika, FMIPA Unila.

Email : youdie@unila.ac.id

ABSTRACT

Gauging system of physicist magnitude from long distance has many applied in so many areas. By using a telemetry system, researcher no more requires residing in near by experiment device. But will become a big problem if gauging distance between test sites and place of researcher stays at distance that is far enough (for example more than 100 km). To overcome this problem, telemetry system can be coupled with internet linear circuit, so researcher can control the experiment device from anywhere.

In this research has been made a gauging system covering acquisition system magnitude data physicist in the form of temperature magnitude and the application of system controller from long distance by using internet linear circuit media by exploiting protocol TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Acquisition process of Data applies engineering interfacing to do record-keeping and data processing from sensor to a computer system, and long distance controller process applies web server as publication media and internet browser as media client. Server database applied as media to do record-keeping and data processing.

Key words: Telemetry, Acquisition, Temperature magnitude.

PENDAHULUAN

Teknologi sistem informasi berbasis jaringan komputer mulai berkembang sejak tahun 1970-an, berawal dari DARPA (*Development of Defense Advanced Research Project Agency*) atau Departemen Pertahanan Amerika, dan dikenal dengan nama ARPANET (*Advanced Research Project Agency Network*). Teknologi yang pada awal perkembangannya digunakan untuk melakukan pertukaran data antar komputer peneliti di lingkungan ARPANET, berubah menjadi sebuah sistem industri baru yang sangat besar. Seiring dengan meledaknya penggunaan personal komputer di seluruh dunia, perkembangan teknologi sistem informasi yang lebih dikenal sebagai internet masuk ke hampir semua bidang kehidupan masyarakat, baik dalam bidang industri, penelitian, hiburan, pendidikan bahkan ke dalam pengguna rumahan.

Teknologi ini merupakan sebuah sistem yang mampu menghubungkan dan menggabungkan beberapa titik komunikasi menjadi satu kesatuan sehingga dapat berinteraksi antara satu dengan lainnya (Purbo, 1999). Kemudahan dan kecepatan

penyampaian informasi, menjadi alasan utama bagi para peneliti untuk menggunakan teknologi ini sebagai teknologi penunjang bagi mereka dalam mempublikasikan hasil penelitiannya.

Sebagai suatu teknologi penunjang bagi para peneliti, banyak sekali aplikasi maupun sistem informasi yang dibangun oleh berbagai lembaga penelitian di seluruh dunia. Sistem informasi dan aplikasi ini biasanya berupa laporan *real time* terhadap suatu proses penelitian, ataupun hasil penelitian seorang peneliti maupun lembaga penelitian yang dapat diakses oleh masyarakat luas di seluruh dunia.

Secara teknis, aplikasi sistem informasi ini terdiri dari suatu perangkat tambahan, biasanya berupa sensor yang dihubungkan ke suatu komputer dengan teknik *interfacing* (antar muka), selanjutnya data dari sensor diolah oleh komputer menjadi suatu data laporan yang mudah dimengerti oleh pengguna. Penyebaran data dari komputer *server* ke komputer pengguna yang membutuhkan hasil penelitian dilakukan dengan membuka suatu *service* (layanan) pada komputer *server* yang dapat diakses oleh komputer-komputer yang terhubung di dalam jaringan. Komunikasi antar komputer ini menggunakan protokol TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) sebagai suatu standar industri untuk perangkat jaringan (Stallings, 1991). *Service* (layanan) yang umum digunakan adalah HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*), dengan membuka *port* 80 pada komputer *server*.

Semakin berkembangnya bahasa pemrograman berbasis interpreter seperti *asp*, *coldfusion*, *jsp* dan *php*, menjadikan pembuatan halaman *web* yang lebih dinamis dan lebih *user friendly* semakin mudah, selain itu dukungan teknologi *database* (basis data) sebagai media penyimpanan data hasil penelitian, menjadikan pembacaan data lebih terstruktur dan lebih cepat.

Penggabungan teknik *interfacing* (antar muka) pada komputer dan teknologi sistem informasi yang meliputi *web based* dan *database* dengan memanfaatkan jaringan komputer yang sudah tersedia, diharapkan akan menghasilkan suatu sistem dengan kemampuan mengakuisisi data dari sensor dan mengolah serta menampilkannya *via* internet.

Penelitian ini dilakukan untuk membangun suatu aplikasi yang berfungsi untuk menyampaikan informasi akuisisi data dari suatu komputer *server* ke komputer *client*. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga dapat menghasilkan suatu sistem akuisisi yang memiliki portabilitas terhadap sensor sebagai *input* (masukan) dan hasil pengolahan data yang diinginkan dan mampu mempublikasikan data yang dihasilkan menggunakan teknologi TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*).

BAHAN dan METODE

Bahan dan Alat

Perangkat keras yang digunakan berupa rangkaian elektronik yang terdiri dari bagian sensor suhu memanfaatkan IC LM35, bagian penguat sinyal, bagian pengubah sinyal analog ke digital dan bagian *programmable interface*. Untuk bagian sensor dan penguat sinyal serta bagian pengubah sinyal analog ke digital, rangkaian dibuat pada papan uji rangkaian. Sedangkan bagian *programmable interface* menggunakan rangkaian PPI (*Programmable Peripheral Interface*) yang diproduksi oleh *Startech*, sehingga bisa langsung ditanamkan pada slot ekspansi ISA yang terdapat pada *main board* komputer *server*.

Perangkat lunak yang digunakan terdiri dari dua bagian, yaitu bagian pengendali perangkat keras, dan bagian aplikasi *web* yang digunakan sebagai aplikasi pengontrol dan monitoring data melalui *browser*. Aplikasi penghubung antara perangkat keras rangkaian dan komputer menggunakan bahasa pemrograman Pascal, dengan memanfaatkan *FreePascal for Linux* sebagai *compilernya*. Selanjutnya untuk aplikasi *web*, memanfaatkan *server web* Apache versi 1.3.28 dan PHP versi 4.3.6, sebagai *server database* untuk perekaman data menggunakan *server database* MySQL versi 3.5.39.

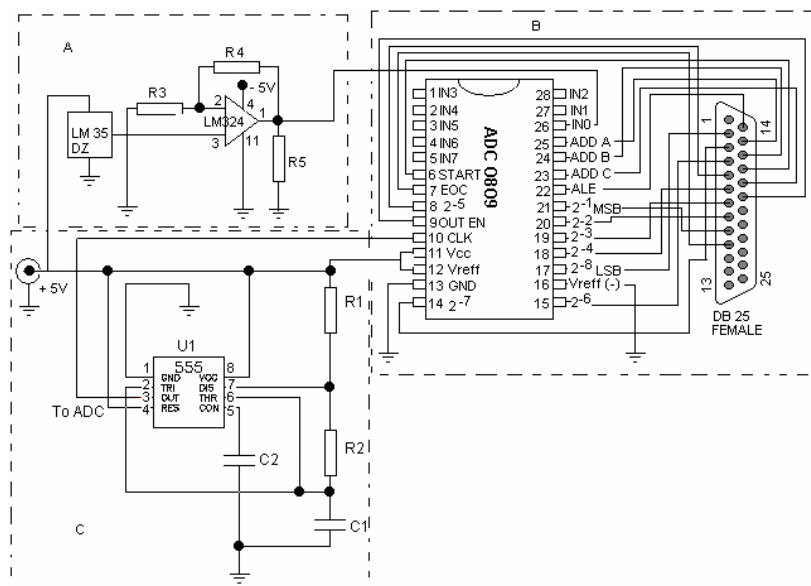
Metode Penelitian

Proses kerja dari rangkaian elektronik adalah sebagai berikut : sinyal keluaran dari sensor suhu IC LM35 dimasukan kebagian penguat sinyal, rangkaian penguat sinyal memanfaatkan Op-Amp LM324. Proses penguatan sinyal ini dibutuhkan karena keluaran dari sensor suhu IC LM35 adalah linier pada 10mV untuk setiap perubahan suhu 1°C, sedangkan ADC yang digunakan adalah ADC0809 dengan nilai LSB (*Least Significant Bit*) 20 mV. Besar penguatan sinyal pada rangkaian penguat sinyal adalah 2 kali, penguatan sebesar ini dihasilkan dengan membuat rangkaian *non-inverting* pada Op-Amp LM324 dengan memberikan nilai resistor yang sama pada R_f dan R_c , dengan penguatan sebesar ini maka setiap perubahan suhu sebesar 1°C pada sensor suhu LM35 akan terdeteksi oleh ADC0809 (Hall, 1986). Rangkaian pemicu sinyal detak pada ADC0809 memanfaatkan rangkaian pencacah waktu IC 555 yang dirancang sebagai *one shoot multivibrator*. Keluaran dari rangkaian pencacah ini berupa pulsa detak dengan bentuk sinyal persegi. Besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian pencacah adalah 640 KHZ. Nilai ini dihasilkan dengan mengkombinasikan nilai resistor dan kapasitor pada rangkaian. Pemilihan besarnya frekuensi pada 640 KHz sesuai dengan rekomendasi pada manual ADC0809.

Pengubah sinyal analog ke digital yang digunakan dalam sistem ini adalah IC ADC0809. Sebagai sumber tegangan masukan untuk sistem adalah sinyal tegangan analog yang dibangkitkan oleh sensor dan sudah dikuatkan oleh rangkaian penguat sinyal. Tegangan dari

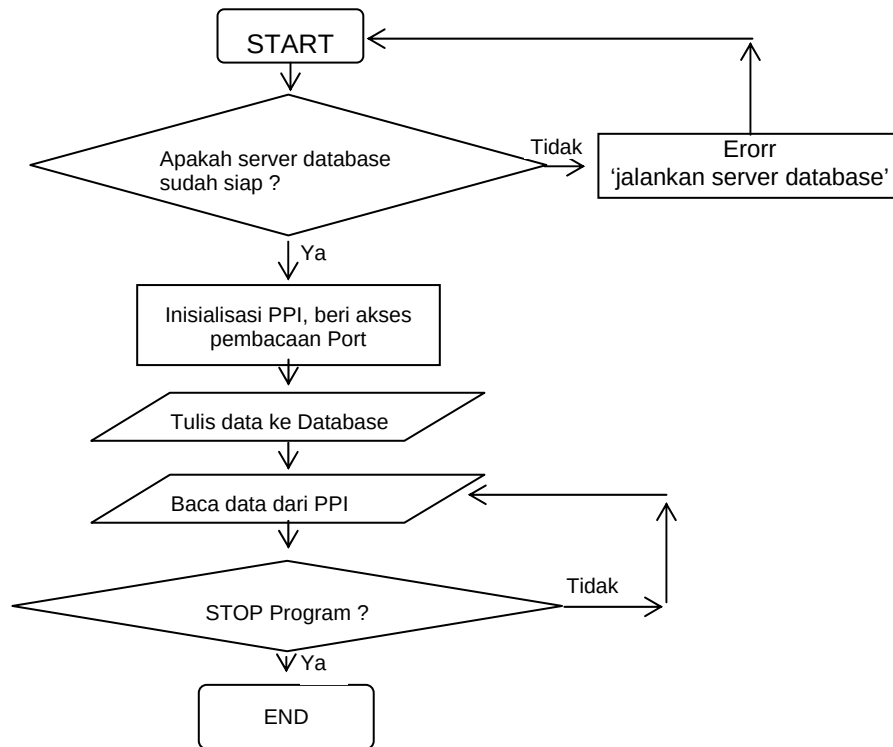
rangkaian penguat sinyal ini merupakan data yang akan diproses oleh ADC0809. Tegangan analog yang dapat dimasukan ke ADC0809 berkisar antara 0 sampai dengan 5 volt sesuai dengan lebar tegangan masukan yang dapat diterima oleh ADC0809. ADC0809 ini dirancang untuk bisa berkomunikasi dengan komputer melalui *card interface* PPI8255.

ADC0809 memerlukan tegangan referensi V_{ref} , sebagai referensi tegangan masukan pada data input. Guna memudahkan rangkaian, maka V_{ref-} dihubungkan dengan *Ground* dan V_{ref+} dihubungkan dengan V_{cc} . Untuk memudahkan perhitungan maka besar tegangan V_{cc} dianggap tepat 5 volt. Dengan nilai V_{ref} sebesar 5 volt, maka akan didapat jumlah step sebanyak 250 dengan lebar kode ideal 20 mV. Gambar Rangkaian sensor, penguat sinyal dan pengubah sinyal analog ke digital ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian sensor suhu, penguat sinyal dan pengubah sinyal analog ke digital

Aplikasi *driver* merupakan aplikasi yang akan mengatur komunikasi antara sistem komputer dengan perangkat keras, pengaturan komunikasi berupa penentuan port yang akan digunakan sebagai jalur *input*. Perangkat *driver* ini juga digunakan untuk melakukan kontrol terhadap data masukan yang akan disimpan ke dalam *server database*. Proses pencatatan data akan dilakukan secara simultan hingga ada sinyal pemicu yang akan menghentikan aplikasi. Bagan alir aplikasi *driver* ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir perangkat lunak pengendali *hardware*

Aplikasi web merupakan sebuah aplikasi yang memanfaatkan layanan *http* (*hyper text transfer protocol*) sebagai media publikasi. Layanan ini dibuka dengan menjalankan aplikasi Apache sebagai *server web* yang secara *default* membuka *port* 80 pada protokol TCP/IP. Aplikasi *web* ini memanfaatkan PHP4.3.6 sebagai *interpreter language*, PHP4.3.6 bertindak sebagai modul dari *server web apache*. Dengan memanfaatkan aplikasi berbasis *web*, data-data yang ada di dalam *database* dapat diolah menjadi sebuah informasi yang bisa dibaca untuk menggambarkan kondisi nyata pada lingkungan di sekitar sensor. Referensi pemrograman PHP dapat dilihat di <http://www.php.net/docs.php>.

Proses pembacaan data pada aplikasi ini adalah sebagai berikut, data yang diterima oleh sensor berupa data digital disimpan kedalam *server database*. Proses penyimpanan data ini memanfaatkan aplikasi *driver* dengan menggunakan modul MySQL pada *compiler FreePascal*. Data yang sudah tersimpan pada *database* berupa data suhu dari sensor dan data waktu perekaman data suhu ke dalam *server database* dibaca oleh PHP sebagai *server side script* dengan memanfaatkan modul MySQL pada PHP. Data yang sudah dibaca oleh PHP akan ditampilkan pada *browser client* berupa gambar grafik informasi kondisi suhu di sekitar sensor pada waktu itu. Pengembangan aplikasi *web* ini juga akan membuat sebuah kontrol terhadap *client* yang mengakses *server* dengan membuat batasan-batasan pada apa yang bisa diakses oleh *client*. Referensi database MySQL dapat dilihat di <http://www.mysql.com/documentation/>.

HASIL dan PEMBAHASAN

Pengujian perangkat keras dilakukan dengan memberikan perubahan suhu pada bagian sensor IC LM35. Dengan memberikan panas pada sensor, akan mengakibatkan tegangan keluaran sensor mengalami kenaikan. Perubahan kenaikan tegangan keluaran ini cukup linier, setiap perubahan suhu 1°C akan menaikkan tegangan keluaran sekitar 10 mV. Selanjutnya tegangan dari sensor di-inputkan pada rangkaian penguat IC LM324 yang dirangkai secara *non-inverting*. Besarnya penguatan pada rangkaian ini adalah 2 kali, sehingga didapat perubahan tegangan keluaran sebesar 20 mV untuk setiap perubahan suhu 1°C pada bagian sensor IC LM35. Rangkaian penguat dihubungkan langsung ke rangkaian ADC (*Analog to Digital Converter*) 0809 yang memiliki nilai LSB (*Least Significant Bit*) sebesar 20 mV atau setiap perubahan 20 mV pada bagian *input* akan menghasilkan perubahan nilai 1 *bit* pada bagian *output*. Sehingga setiap perubahan suhu 1°C pada sensor akan mengakibatkan perubahan nilai masukan sebesar 20 mV pada bagian *input* ADC (*Analog to Digital Converter*) dan menghasilkan perubahan nilai 1 *bit* pada bagian keluaran ADC. Keluaran dari ADC0809 berupa nilai *bit* yang merupakan representasi dari nilai tegangan masukan selanjutnya di-inputkan ke sistem komputer melalui PPI (*Programmable Priopheral Interface*) 8255, dan dicatat ke dalam sistem *database*.

Pengukuran tegangan dilakukan pada rangkaian yang dibagi dalam dua titik ukur. Titik ukur pertama adalah titik keluaran dari IC LM35 berupa tegangan yang dihasilkan dari sensor suhu, dan titik ukur kedua adalah titik keluaran dari rangkaian penguat Op-Amp LM324, berupa tegangan yang sudah mengalami proses penguatan.

Aplikasi *driver* yang digunakan dibangun menggunakan *compiler freepascal for linux*. Aplikasi ini berfungsi untuk mengatur komunikasi antara sistem komputer dan bagian perangkat keras. Komunikasi yang terjadi meliputi waktu pengiriman dan pencatatan data berupa tegangan yang telah diubah kedalam bentuk *bit* digital ke dalam *database*. Pengaturan proses pencatatan perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya pencatatan data ganda pada sistem *database*. Pengaturan ini dilakukan dengan menentukan kapan port I/O pada sistem komputer berada pada kondisi siap untuk menerima masukan data dari rangkaian dan waktu pencatatan data ke dalam sistem *database*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan perubahan tegangan yang terjadi pada perangkat keras dengan nilai yang dicatat oleh aplikasi, hasil pengujian ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan pengukuran tegangan dan pencatatan data ke *database*

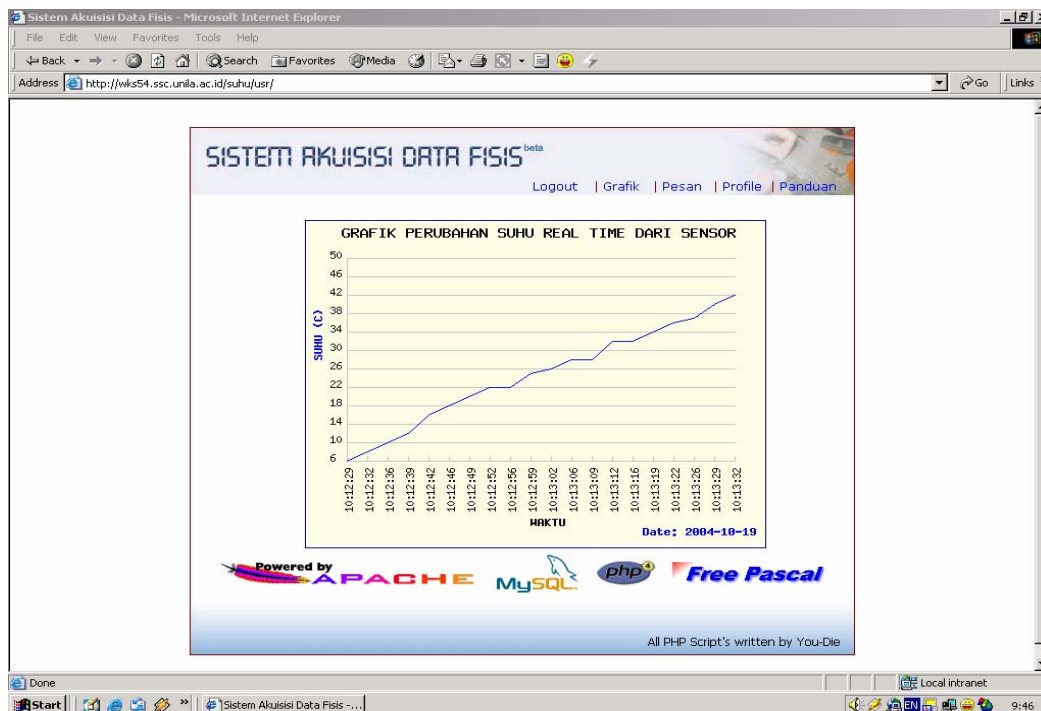
No	°C	Titik Ukur 1 (mV)	Titik Ukur 2 (mV)	Nilai Bit Terukur
1	0	42	83	4
2	1	52	103	5
3	2	63	124	6
4	3	73	145	7
5	4	83	165	8
6	5	93	186	9
7	6	102	205	10
8	7	112	224	11
9	8	122	244	12
10	9	132	264	13
11	10	142	285	14
12	11	152	304	15
13	12	163	326	15
14	13	173	346	17
15	14	183	366	18
16	15	193	386	19
17	16	202	405	20
18	17	212	424	21
19	18	222	444	22
20	19	233	466	23
21	20	243	486	24
22	21	253	506	25
23	22	262	525	26
24	23	272	544	27
25	24	282	564	28
26	25	292	584	29
27	26	302	604	30
28	27	312	624	31
29	28	323	645	32
30	29	333	665	33
31	30	342	685	34
32	31	352	705	35
33	32	362	724	36
34	33	372	744	37
35	34	382	764	38
36	35	393	785	39
37	36	403	805	40
38	37	413	826	41
39	38	423	846	42
40	39	432	865	43
41	40	442	885	44

Aplikasi *web* merupakan aplikasi yang berfungsi untuk mengolah data yang tersimpan di dalam *database* menjadi sebuah informasi dan menampilkannya *via web*. Pengujian dilakukan dengan melihat kemampuan aplikasi melakukan pembacaan data dari *database* dan melakukan pengolahan data menjadi suatu informasi serta menampilkannya pada *browser* komputer *client* yang terhubung pada sistem komputer melalui jaringan komputer yang berbasis TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*).

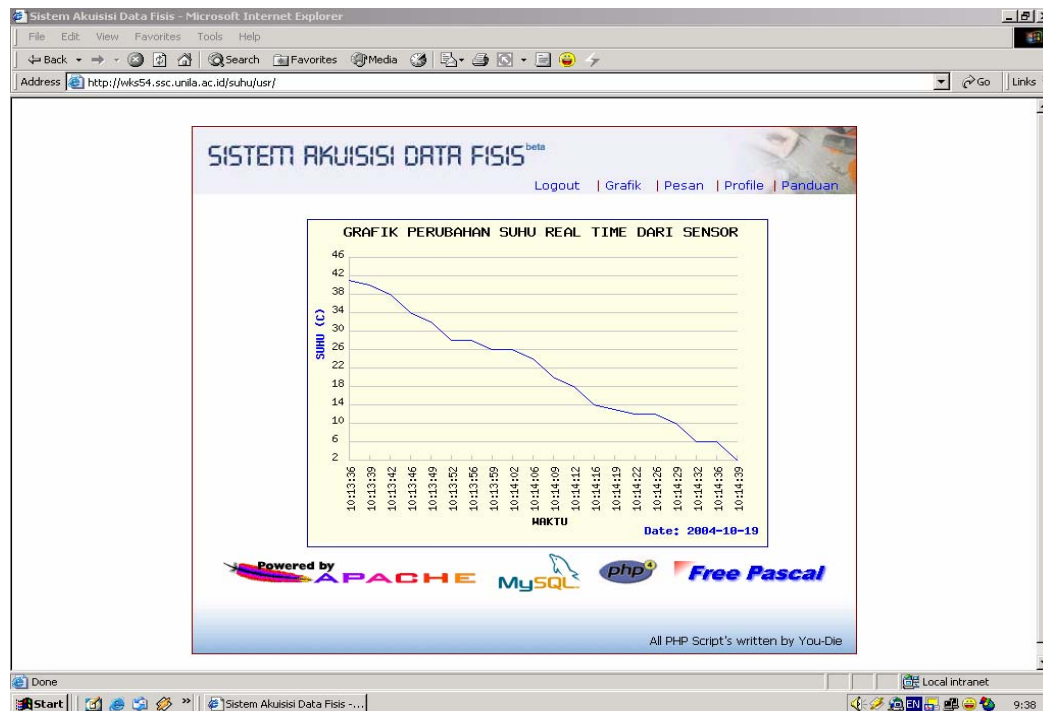
Aplikasi *web* dilengkapi dengan fitur untuk melakukan manajemen user, komunikasi antar user dan *monitoring* proses kerja sistem akuisisi. User dibedakan menjadi dua, yaitu user biasa dan administrator. User biasa hanya memiliki hak akses untuk melihat informasi berupa grafik hasil pengukuran yang ditampilkan oleh sistem komputer dan komunikasi antar user, sedangkan administrator memiliki hak akses untuk melakukan pengontrolan sistem, termasuk menjalankan dan menghentikan proses pengukuran.

Hasil pengujian menunjukkan aplikasi *web* dapat bekerja dengan cukup baik pada jaringan komputer lokal dengan kecepatan akses 10Mb/s, aplikasi dapat menampilkan grafik hasil pengukuran perubahan suhu yang terjadi pada sensor IC LM35 pada *browser client* dengan jeda waktu yang sangat kecil.

Pada gambar 3 ditampilkan grafik yang dibentuk oleh aplikasi *web*, ketika *input* dari perangkat keras berupa sensor IC LM35 dimasukkan ke dalam gelas berisi air panas. Proses perambatan panas ke dalam sensor dan proses perekaman data ke dalam sistem *database* terlihat *step by step* dengan rata-rata waktu perekaman data setiap 3 detik hingga mencapai titik maksimal panas yang dapat terdeteksi oleh sensor.



Gambar 3. Tampilan grafik perubahan suhu pada *browser client* saat suhu naik



Gambar 4. Tampilan grafik perubahan suhu pada *browser client* saat suhu turun

Pada gambar 4 ditampilkan grafik pada *browser client* ketika input dari perangkat keras berupa sensor IC LM35 dimasukkan ke dalam gelas berisi air dingin. Proses perambatan panas dari sensor ke air terlihat bergerak *step by step* dan direkam ke *database* setiap 3 detik hingga sensor mencapai kondisi suhu sama dengan air.

KESIMPULAN

Pemanfaatan jaringan komputer sebagai media pengiriman data hasil pengukuran, dapat mengatasi permasalahan jarak yang sering timbul dalam pelaksanaan suatu penelitian. Informasi yang disampaikan oleh aplikasi memiliki nilai lebih berupa kondisi informasi yang selalu *up to date* karena informasi dikirimkan secara *real time*, kecepatan pengiriman data dan kemudahan dalam mempublikasikan data. Konsistensi data hasil pengukuran yang dikirim melalui jaringan komputer lebih terjamin karena adanya kontrol dari *protocol TCP/IP*.

Grafik perubahan suhu yang ditampilkan oleh *browser client* mengalami *delay* atau pergeseran waktu yang disebabkan oleh waktu *request browser client* setiap 3 detik, sedangkan pergeseran waktu yang terjadi pada proses pencatatan data ke dalam sistem *database* tidak terlalu signifikan.

Pengontrolan aplikasi akuisisi data lebih mudah dilakukan, karena menggunakan aplikasi *web* yang bersifat GUI (*Graphics Unit Interface*). Penggunaan aplikasi-aplikasi *open source* seperti Linux, MySQL, FreePascal, Apache web server dan PHP web programming dapat

menurunkan biaya dalam proses penelitian karena tidak ada tuntutan untuk membayar biaya lisensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Hall, V.D. 1986. *Microprocessors And Interfacing Programming and Hardware*. McGraw-Hill Book Company. Singapore.
- MySQL, 2004. *MySQL Reference Manual*. Web Site Internet, <http://www.mysql.com/documentation/>.
- PHP, 2004. *Php ReferenceManual*. Web Site Internet, <http://www.php.net/docs.php>.
- Purbo, Onno, W. 1999. *Internet Based Psychological Warfare*. Computer Network Research Group (CNRG) Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Stallings, W. 1991, *Network Security Essentials: Applications and Standards*. Prentice Hall.

STUDI KOMPUTASI DISTRIBUSI ALIRAN FLUIDA PADA PERCABANGAN PIPA HORIZONTAL DUA DIMENSI

MUHAMMAD IRSYAD

Universitas Lampung, Jl. Prof.Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandarlampung, 35145

e-mail: irsyad71@unila.ac.id, telp. 085269079617

ABSTRACT

Piping junction is frequently applied in piping system for industries, mining, and drinking water distribution. Different types and angles in the junction produce different stream distribution. Analysis and computation will establish certain influence on piping junction angle towards flow distribution as well as developing it for other condition.

Analysis of distribution in type-T junction for stream separating two horizontal dimension uses CFD (Computational Fluid Dynamic). Junction angles used are 90°, 75°, 60°, 45°, dan 30° with 1 meter pipe diameter. Elements are divided based on convergence test with the thickness 0.15 meter. Initial and boundary condition are determined based on the problem.

The study shows that changes in junction inlet debit from Reynolds number $Re+1=000$ up to $Re=6000$ will increase the flow rate Q_1/Q_2 around 0,001. Junction angle does not much influence the flow rate distribution, that flow rate debit (Q_2/Q_1) between angle 15° dan 90° is 0,1139

Key words :pipe junction, T-type, CFD.

PENDAHULUAN

Percabangan pipa banyak digunakan dalam sistem perpipaan di industri, pertambangan, dan distribusi air minum. Rangkaian pipa-pipa tersebut didesain sedemikian rupa sehingga mampu memenuhi kebutuhan akan pendistribusian fluida. Berbagai jenis dan sudut percabangan pipa dalam sistem perpipaan akan menghasilkan distribusi aliran yang berbeda-beda.

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan topik ini sudah dilakukan para peneliti diantaranya; oleh Bingham dan Blair (1985) melakukan pengujian pipa bercabang tiga pada kondisi aliran steady dengan memvariasikan sudut untuk menentukan rugi tekanan untuk masing-masing percabangan. Hagar (1984) menganalisa bahwa pada perbedaan rugi tekanan pada pipa utama dengan pipa pemisah yang disebabkan oleh perbedaan luas penampang aliran yang melewati masing-masing saluran. Luas penampang aliran pipa pemisah tergantung pada besar sudut pipa pemisah tersebut. Basset dkk (1998) melakukan pengujian dan simulasi tekanan pada pipa

bercabang tiga dengan sudut percabangan 90° , untuk model tekanan percabangan sama dan tekanan percabangan berbeda. Penelitian yang lebih lengkap dilakukan oleh Basset, dkk (2001) menghitung koefisien rugi tekanan untuk pipa percabangan antara titik masuk dan keluar percabangan, yang dijelaskan dalam bentuk kurva hubungan antara rasio aliran massa dengan koefisien rugi tekanan stagnasi. Penelitian ini dilakukan baik untuk jenis pengumpulan aliran maupun pemisahan aliran. Irsyad (2005) mendapatkan pengaruh sudut percabangan terhadap rasio distribusi aliran tidak terlalu besar, dimana kenaikan rasio debit aliran (Q_2/Q_1) antara sudut percabangan 15° dan 90° adalah 0,075

Studi komputasi pada percabangan pipa diharapkan dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah distribusi aliran pada percabangan. Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut percabangan pipa pada bidang horizontal terhadap distribusi aliran secara komputasi.

Persamaan kontinuitas dapat digunakan untuk mengetahui hubungan antara aliran yang masuk dan aliran yang keluar pada percabangan pipa. Pada percabangan aliran memisah persamaan kontinuitas adalah:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 + \rho_3 Q_3$$

Untuk fluida tak dapat mampat, dimana $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$, maka persamaan kontinuitas menjadi'

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad \text{Atau} \quad A_1 u_1 = A_2 u_2 + A_3 u_3$$

Umumnya, aliran yang masuk ke percabangan dapat diasumsikan positif dan aliran yang keluar percabangan diasumsikan negatif. Oleh karena itu untuk aliran tunak pada berbagai percabangan jumlah dari seluruh aliran massa harus sama dengan nol.

$$\sum \rho Q = 0.$$

BAHAN dan METODE

Untuk mengetahui distribusi kecepatan pada percabangan pipa, dapat dilakukan eksperimen, tapi akan memakan banyak waktu dan biaya. Untuk meminimalkan pengeluaran biaya eksperimen dan penghematan waktu maka diperlukan sebuah program komputer dalam analisis elemen hingga untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Dalam penelitian ini digunakan program aplikasi *Ansys* 9.

Langkah-langkah pemograman adalah sebagai berikut:

1. *Preprocessing*

Preprocessing adalah tahap awal dalam analisis elemen hingga meliputi input, tipe elemen, sifat materi, pemodelan, pembagian elemen dan penentuan kondisi batas.

a. Input Data Tipe Elemen

Objek analisis merupakan fluida dinamis sehingga dipilihlah tipe elemennya *FLOTRAN CFD* menggunakan analisis dua dimensi 2D *FLOTRAN*.

b. Sifat Material

Sifat material berupa densitas dan viskositas, pada analisis ini karena menggunakan air untuk jenis fluidanya maka diisikan densitas = 1000kg/m^3 , dan viskositasnya = 1.

c. *Modeling*

Modeling merupakan pembuatan bentuk percabangan pipa, dengan menggunakan beberapa sudut, yaitu 90° , 75° , 60° , 45° , dan 30° , dan menggunakan pipa dengan diameter 1 m

d. *Meshing*

Pembagian area dengan ukuran 0,15 m, sebagai daerah analisis program. Pembagian elemen 0,15 m tersebut didasarkan atas test konvergensi.

2. Solution

Pada bagian solusi dilakukan pembebanan terhadap percabangan, disini beban yang diaplikasikan adalah distribusi kecepatan pada setiap bagian pipa. Kondisi batas sistem disepanjang dinding pipa adalah $U(x,y) = 0$, sedangkan untuk kondisi awal, kecepatan masuk diketahui, dan untuk kecepatan keluaran diasumsikan nol.

3. Post Processing

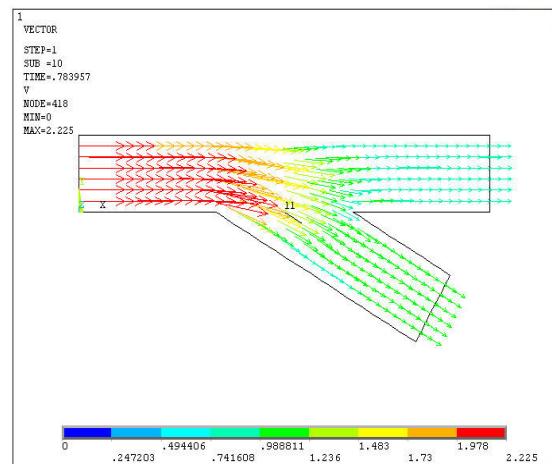
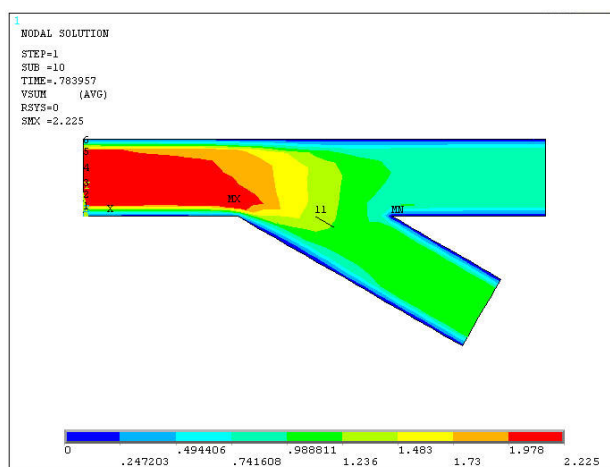
Tahap ini merupakan tahap hasil analisis elemen hingga yaitu dengan mendapatkan distribusi kecepatan dan tekanan untuk setiap nodal yang akan diplot sesuai dengan nodal solution ataupun bisa dengan vector solution pada percabangan pipa, setelah didapat semua hasil maka dapat dipresentasikan dengan sebuah animasi yang menunjukkan pergerakan aliran di percabangan pipa.

HASIL dan PEMBAHASAN

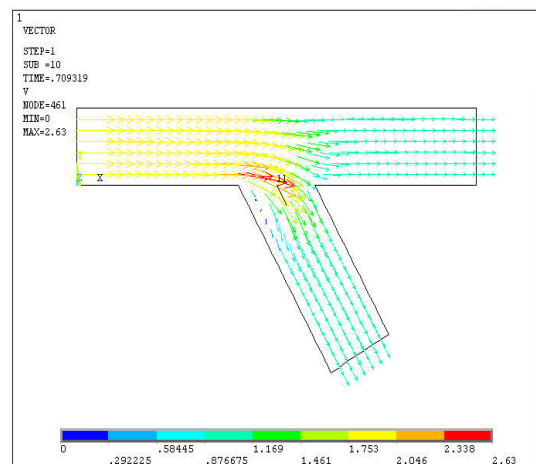
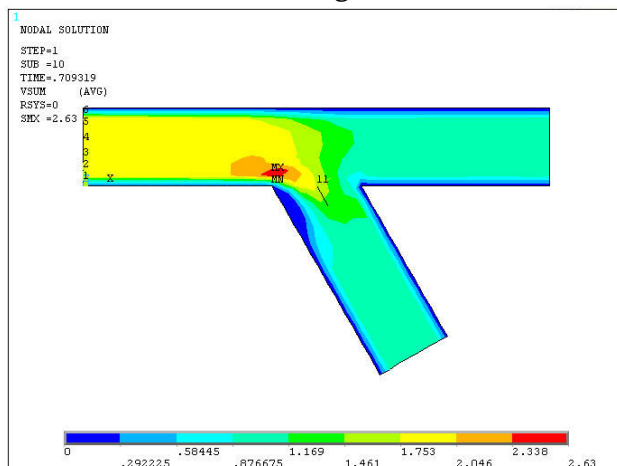
1. Distribusi Kecepatan Aliran pada Percabangan

Output dari program ini adalah data kecepatan pada setiap nodal. Data ini dapat ditampilkan dalam bentuk tabel, vektor kecepatan (stream line), dan kontur kecepatan yang dibedakan oleh warna. Gambar 1. memperlihatkan distribusi kecepatan aliran untuk berbagai sudut percabangan. Dari vektor kecepatan yang dihasilkan masing-masing sudut percabangan terlihat bahwa vektor kecepatan aliran cenderung untuk tetap lurus. Semakin besar sudut percabangan maka fluida akan makin sulit untuk bergerak ke arah percabangan tersebut.

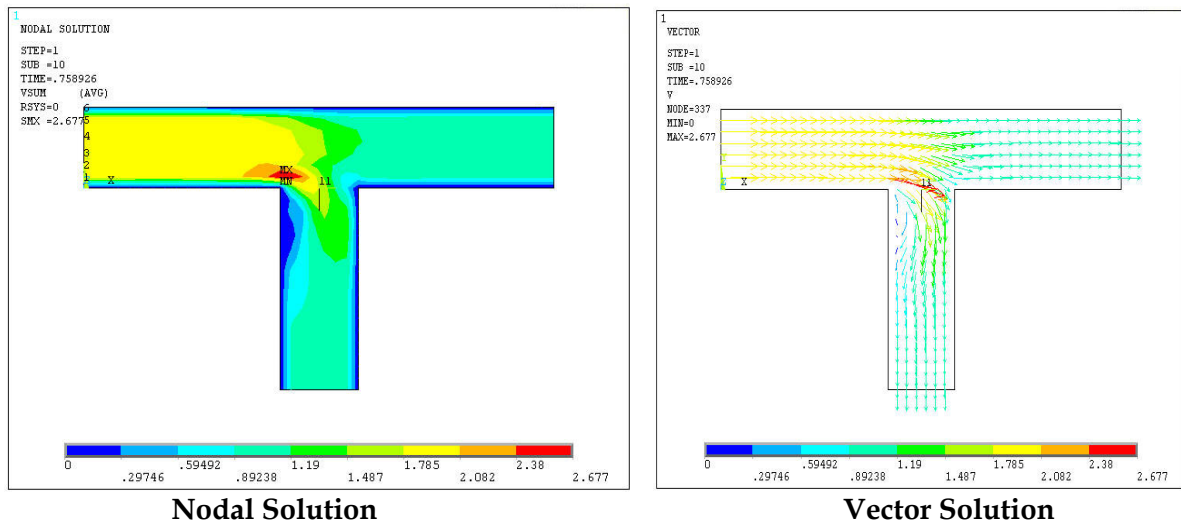
Re-2000 Sudut Percabangan 30°



Re-2000 Sudut Percabangan 60°



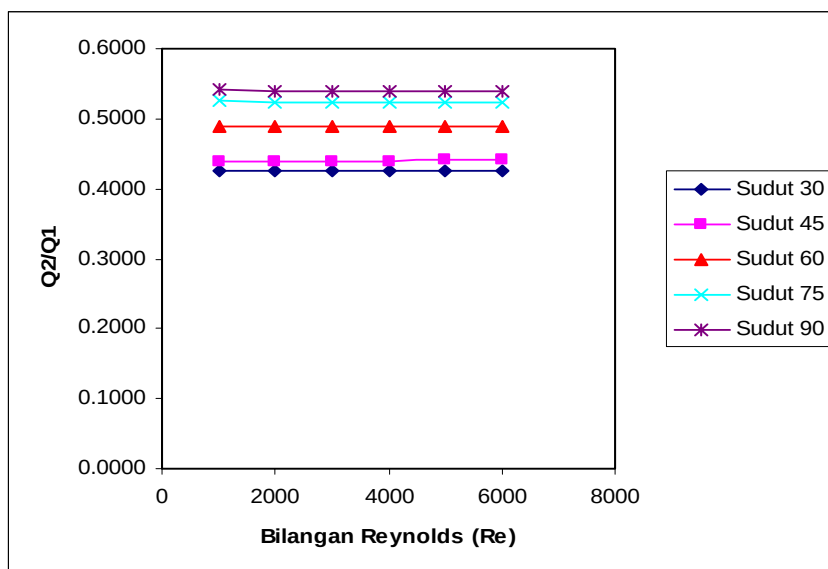
Re-2000 Sudut Percabangan 90°



Gambar 1. Distribusi kecepatan aliran pada percabangan

2.. Pengaruh Bilangan Reynold masuk terhadap rasio aliran

Pengaruh Bilangan Reynold atau pengaruh debit aliran masuk terhadap rasio aliran antara aliran keluar utama dengan aliran masuk Q_2/Q_1 pada berbagai percabangan pipa dengan sudut percabangan yang berbeda dapat dilihat dari grafik pada gambar 2. Pola hubungan antara debit aliran masuk dan rasio aliran Q_2/Q_1 pada beberapa percabangan pipa cenderung sama, semakin besar debit aliran yang masuk ke percabangan maka rasio aliran antara aliran keluar utama dan aliran masuk (Q_2/Q_1) nya akan semakin besar juga.

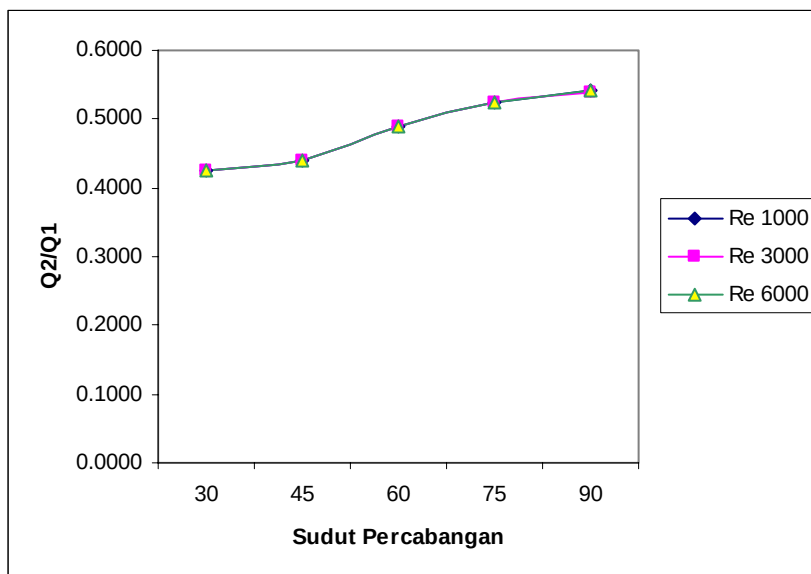


Gambar 2. Grafik hubungan Q_2/Q_1 terhadap Bilangan Reynold

Perubahan debit aliran yang masuk ke percabangan tidak terlalu mempengaruhi perubahan rasio aliran antara aliran keluar utama dengan aliran masuk Q_2/Q_1 . Perubahan debit aliran masuk dari bilangan Reynolds $Re = 1000$ sampai $Re = 6000$ hanya akan mengakibatkan kenaikan rasio aliran Q_2/Q_1 sekitar 0,001.

3. Pengaruh sudut percabangan pipa terhadap rasio aliran

Pengaruh sudut percabangan pipa terhadap rasio aliran antara aliran keluar utama dengan aliran masuk Q_2/Q_1 dapat dilihat dari grafik pada gambar 3. Dari grafik tersebut terlihat jelas bahwa pola hubungan antara sudut percabangan pipa dengan rasio aliran cenderung sama, semakin besar sudut percabangan pipa maka rasio aliran antara aliran keluaran utama dan aliran masuk percabangannya Q_2/Q_1 akan semakin besar juga. Hal ini akan menyebabkan debit aliran keluar cabangnya akan semakin kecil.



Gambar 3. Grafik pengaruh sudut percabangan terhadap rasio aliran.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Kenaikan debit aliran yang masuk ke percabangan maka tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap kenaikan rasio aliran keluar (Q_2/Q_1). Perubahan debit aliran masuk percabangan dari bilangan Reynolds $Re = 1000$ sampai $Re = 6000$ akan menyebabkan peningkatan rasio aliran Q_2/Q_1 sekitar 0,001.
2. Semakin besar sudut percabangan maka semakin besar rasio aliran keluar (Q_2/Q_1). Untuk perubahan sudut percabangan dari 15° dan 90° kenaikan rasio aliran keluar (Q_2/Q_1) adalah 0,1139

DAFTAR PUSTAKA

ANSYS. *Documentation-Theory Reference*. ANSYS, Inc.

Bassett, M.D., Pearson, R. J., and Winterbone, D. E, 1998, *Visualisation of wave propagation in a three-pipe junction*, In IkcchE International Conference on Optical Methods and Data Processing in Heat and Fluid Flow, City University, london

Bassett, M.D., Pearson, R. J., and Winterbone, D. E, 2001, *Calculation of steady flow pressure loss coefficients for pipe junction*, Pociding Instn Mechanical Engineers

Bingham, J.F. dan Blair, G.P., 1985, *An Improved branched pipe model for Multi-cylinder automotive engine calculations*, Proc. Instn Mechanical Engineers, Part D, Journal of Automobile Engineering

C. M. Lemos. 1993. Jurnal : *FDFLOW : A FORTRAN-77 SOLVER 2-D INCOMPRESSIBLE FLUID FLOW*. Department of Coastal Estuarine Dynamics, Instituto Hidrografico. Portugal.

Hagar, W. H., 1984, *An Approximate treatment of Flow in Branches and Bend*, Proc. Instn Mechanical Engineers, Journal of Mechanical Engieering Science

J. N. Reddy. 1993. *An Introduction To The Finite Element Method Second Edition*. McGraw-Hill, Inc. Texas.

KAJIAN PENCEMARAN LOGAM BERAT DI WILAYAH PESISIR KOTA BANDAR LAMPUNG

INDRA GUMAY YUDHA

PS Budidaya Perairan, FP Unila

telp. :08127912731; email: indra_gumay@yahoo.com

ABSTRACT

This research was held on July-August 2007 to study some heavy metals, i.e. Pb, Hg, Cu, and Cd, which caused pollution in Bandar Lampung coastal area. The method of this study was measuring concentration of Pb, Hg, Cu, and Cd, by spectrophotometric. Water samples were taken from 7 rivers which streamed down to the Lampung Bay in Bandar Lampung area, 12 samples from shallow wells, and 9 samples of sea waters from Lampung Bay. The result showed that Bandar Lampung coastal area has been polluted by these heavy metals in various concentrations. The concentration of these pollutants in some areas still lower than standar water quality, but the existence of these heavy metals could be harmed for the aquatic biota and human who lived in that area.

Key words: *water pollution, Pb, Hg, Cu, Cd, Bandar Lampung coastal area*

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir didefinisikan oleh Bengen (2002) sebagai daerah pertemuan antara daratan dan laut, ke arah darat merupakan wilayah daratan yang masih dipengaruhi oleh fenomena lautan, seperti gelombang, pasang surut, angin laut, dan lain-lain; sedangkan ke arah laut merupakan wilayah laut yang masih dipengaruhi oleh aktivitas daratan seperti erosi, sedimentasi, dan lain-lain. Pada umumnya wilayah pesisir merupakan daerah yang rentan terhadap pencemaran akibat kesalahan dalam pengelolaannya yang menjadikan kawasan ini sebagai tempat pembuangan segala macam limbah yang berasal dari daratan.

Kota Bandar Lampung yang terletak pada posisi 5°20'LS - 5°30'LS dan 105°28'BT-105°37'BT berada di ujung Pulau Sumatera merupakan suatu wilayah pesisir. Dengan luas sekitar 197,22 km² Kota Bandar Lampung yang terdiri dari 13 kecamatan dan 98 kelurahan memiliki wilayah pesisir yang terbentang sepanjang garis pantai dengan panjang lebih kurang 27 km. Terdapat 12 kelurahan yang berada di wilayah pesisir yang terletak di tiga kecamatan, yaitu Kecamatan Teluk Betung Selatan, Kecamatan Teluk Betung Barat dan Kecamatan Panjang. Sebagai salah satu kota yang terletak di wilayah pesisir, Bandar Lampung dengan segenap potensi yang dimilikinya telah menjadi magnet yang menarik berbagai pihak untuk

melakukan berbagai kegiatan sesuai dengan kepentingan masing-masing. Salah satu dampak negatif yang mengemuka dan perlu mendapat perhatian akibat berlangsungnya berbagai aktivitas tersebut adalah ancaman terhadap kelestarian wilayah pesisir. Ancaman tersebut dapat berupa pencemaran perairan laut akibat limbah domestik maupun limbah industri, kegiatan reklamasi pantai, kegiatan penangkapan ikan yang tidak memperhatikan kelestarian lingkungan, serta konflik antar masyarakat yang saling berbeda kepentingan dalam pemanfaatan ruang pesisir yang dapat menimbulkan ancaman terhadap kelestarian lingkungan.

Masalah pencemaran laut akibat limbah industri perlu mendapat perhatian khusus. Hal ini terkait dengan jenis limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut. Beberapa limbah yang dihasilkan oleh industri adakalanya berupa limbah B3, seperti jenis-jenis logam berat yang apabila masuk ke ekosistem pesisir dapat menimbulkan dampak yang fatal, baik bagi biota perairan maupun manusia yang ada di wilayah tersebut. Polutan yang berupa logam-logam berat diketahui dapat menyebabkan keracunan, kelumpuhan, kelainan genetik, hingga kematian.

Dari hasil identifikasi yang telah dilakukan oleh Wiryawan dkk (2002), diketahui bahwa setidaknya terdapat 9 sungai yang bermuara ke pesisir Kota Bandar Lampung yang berpotensi mencemarkan wilayah pantai tersebut. Sungai-sungai tersebut adalah: Way Sukamaju, Way Keteguhan, Way Tataan, Way Belau, Way Kunyit, Way Kuala, Way Lunik, Way Pancoran, dan Way Galih. Sumber pencemaran yang berasal dari limbah industri diperkirakan berasal dari berbagai kegiatan industri yang berada di DAS tersebut. Sebagai contoh, setidaknya terdapat 22 industri di DAS Way Kuala, 13 industri di DAS Way Lunik, 5 industri di DAS Way Pancoran, dan 2 industri di DAS Way Kunyit. Kemungkinan pencemaran industri juga terjadi di wilayah pelabuhan Panjang dan pelabuhan milik swasta yang berada di sekitar Kecamatan Panjang.

Terkait dengan keberadaan berbagai industri yang berpotensi menimbulkan pencemaran di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung, khususnya pencemaran logam-logam berat, maka perlu dilakukan suatu kajian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat timbal (Pb), air raksa (Hg), tembaga (Cu), dan kadmium (Cd) yang terjadi di wilayah pesisir. Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat menjadi masukan bagi pemerintah daerah untuk melakukan tindakan yang dapat mencegah ataupun meminimalisir pencemaran yang terjadi.

BAHAN dan METODE

Penelitian dilakukan pada bulan Juli-Agustus 2007 dengan menganalisis sejumlah sample air yang berasal dari 7 sungai yang bermuara ke laut di wilayah Kota Bandar Lampung, yaitu Way Sukamaju, Way Keteguhan, Way Belau, Way Kunyit, Way Kuala,

Way Lunik, dan Way Galih. Lokasi pengambilan sample air sungai berada di sekitar pinggir jalan raya, antara Jl. Yos Sudarso, Jl. Laks. Malahayati, hingga Jl. Laks. Martadinata. Analisis logam berat juga dilakukan pada 12 sumur penduduk yang terletak di masing-masing kelurahan pesisir di Kota Bandar Lampung. Selain itu juga dilakukan analisis sample air laut yang termasuk dalam wilayah pesisir Kota Bandar Lampung pada 9 titik pengukuran. Analisis logam berat, baik Pb, Hg, Cu, dan Cd dilakukan dengan metode spektrofotometri di Laboratorium Instrumentasi FMIPA Unila.

HASIL dan PEMBAHASAN

1. Kandungan logam berat di sungai

Berdasarkan hasil analisis atas sejumlah sample air yang diteliti diketahui bahwa beberapa sungai di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung telah tercemar oleh logam berat Pb, Hg, Cu, dan Cd dalam jumlah yang bervariasi. Hasil analisis untuk masing-masing parameter pada masing-masing lokasi pengambilan sample disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kandungan logam berat pada badan sungai di pesisir Kota Bandar Lampung

No.	Parameter	Satuan	BM *)	Hasil pengukuran						
				K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
1.	Pb	ppm	0.03	0.017	0.042	0.008	0.024	0.006	0.014	0.010
2.	Hg	ppm	0.002	Ttd	0.001	Ttd	Ttd	0.002	0.002	Ttd
3.	Cu	ppm	0.02	0.001	0.004	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002
4.	Cd	ppm	0.01	0.001	ttd	0.001	0.001	0.005	0.005	Ttd

Keterangan: *) Berdasarkan PP No.82 thn 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, untuk Mutu Air Kelas III

K1 = Way Sukamaju

K3 = Way Belau

K5 = Way Kuala

K7 = Way Galih

K2 = Way Keteguhan

K4 = Way Kunyit

K6 = Way Lunik

Ttd = tidak terdeteksi

Dari hasil pengukuran kadar logam berat yang dilakukan di tujuh sungai yang bermuara ke wilayah laut Kota Bandar Lampung diketahui bahwa kandungan Pb, Hg, Cu, dan Cd pada umumnya masih berada pada kriteria yang ditetapkan berdasarkan PP No.82 tahun 2001 untuk Mutu Air Kelas III. Di sungai Way Keteguhan kandungan Pb telah melebihi kriteria yang ditetapkan, yaitu mencapai 0.042 ppm; sedangkan di sungai-sungai lainnya kandungannya masih dibawah kriteria yang ditetapkan. Dibandingkan dengan Pb, kandungan Hg di beberapa sungai yang diukur tidak terdeteksi keberadaannya, seperti di Way Sukamaju, Way Belau, Way Kunyit, dan Way Galih. Kandungan logam berat Cu dan Cd di semua sungai yang diukur menunjukkan nilai yang sangat jauh di bawah baku mutu air kelas III. Sumber utama pencemaran logam-logam berat ini dapat berasal dari limbah

domestik perkotaan maupun limbah industri. Menurut Connell dan Miller (1995) sejumlah logam dapat terkandung dalam limbah rumah tangga melalui sampah-sampah metabolik dan korosi pipa-pipa air (Cu, Pb, Zn, dan Cd). Demikian juga halnya dengan industri yang mengolah limbahnya menggunakan lumpur aktif yang membuang limbah lumpur tersebut ke perairan ataupun pencucian lumpur industri turut menyumbangkan pengkayaan logam-logam Cu, Pb, Zn, Cd, dan Ag ke dalam air penerima.

2. Kandungan logam berat di sumur dangkal

Berdasarkan hasil analisis atas sejumlah sample air yang diteliti dari 12 sumur penduduk yang berada di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung diketahui bahwa sumur-sumur tersebut telah tercemar oleh logam berat Pb dan Cu dalam jumlah yang relatif kecil. Keberadaan Hg dan Cd tidak terdeteksi pada semua sample sumur yang diteliti. Hasil analisis untuk masing-masing parameter pada masing-masing lokasi pengambilan sample disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kandungan logam berat pada beberapa sumur di beberapa kelurahan di pesisir Kota Bandar Lampung

No.	Parameter	Sat.	BM*)	Hasil Pengukuran											
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
1.	Pb	ppm	0.03	0.04 6	0.00 1	0.01 1	0.01 6	0.00 7	0.00 6	0.00 8	0.01 5	0.00 4	0.01 7	0.01 0	0.01 1
2.	Hg	ppm	0.00 1	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd
3.	Cu	ppm	0.02	0.00 5	ttd	0.00 2	0.00 1	<0.00 1	0.00 1	0.00 2	ttd	ttd	0.00 1	0.00 2	0.00 5
4.	Cd	ppm	0.01	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd

Keterangan: *) Berdasarkan PP No.82 thn 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, untuk Mutu Air Kelas I

S1 = Sukamaju

S2 = Keteguhan

S3 = Kota Karang

S4 = Pesawahan

S5 = Kangkung

S6 = Bumi Waras

S7 = Sukaraja

S8 = Ketapang

S9 = Way Lunik

S11=Panjang Selatan

S10=Panjang Utara

S12=Srengsem

Ttd = tidak terdeteksi

Kandungan logam berat Pb dan Cu di sumur-sumur penduduk yang mewakili masing-masing kelurahan yang terletak di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung pada umumnya masih di bawah baku mutu atau kriteria yang ditetapkan berdasarkan

PP No.82 tahun 2001 untuk Mutu Air Kelas I, kecuali sumur di Kelurahan Sukamaju yang mengandung logam Pb hingga 0.046 ppm. Penduduk yang tinggal di masing-masing kelurahan tersebut pada umumnya tidak mengkonsumsi air sumur yang mereka miliki dengan alasan air sumur tersebut tidak layak untuk diminum. Air sumur hanya digunakan untuk keperluan mandi dan mencuci saja. Pada umumnya mereka membeli air bersih yang banyak dijual oleh pedagang keliling ataupun air minum kemasan (galon) yang banyak tersedia di toko-toko. Kelangkaan air bersih di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung memang sudah lama dialami oleh masyarakat setempat; bahkan masalah ini telah menjadi isu utama dalam penyusunan Rencana Strategis Pengelolaan Wilayah Pesisir Lampung yang dilakukan oleh Wiryawan dkk (2000).

Sumber utama pencemaran logam berat Pb dan Cu yang terdeteksi di sumur-sumur penduduk belum diketahui secara pasti. Keberadaan unsur-unsur logam berat tersebut di alam memang sudah ada walaupun dalam jumlah yang relatif kecil. Dari hasil pengukuran salinitas air sumur diketahui bahwa di beberapa sumur penduduk telah terjadi intrusi air laut, sehingga diperkirakan sumber pencemar logam berat tersebut dapat berasal dari intrusi air laut ataupun aliran air permukaan yang juga telah tercemar oleh logam berat.

3.2 Kandungan logam berat di perairan laut

Wilayah laut Kota Bandar Lampung merupakan daerah yang rentan terhadap pencemaran yang berasal dari limbah domestik maupun limbah industri yang mengalir melalui sungai-sungai yang bermuara ke wilayah perairan laut. Dari hasil analisis terhadap 9 sample air laut yang berasal dari berbagai lokasi pengukuran diketahui bahwa kandungan logam berat Pb, Hg, Cu, dan Cd ditemukan dalam badan air laut dalam jumlah yang bervariasi. Hasil analisis untuk masing-masing parameter pada masing-masing lokasi pengambilan sample disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kandungan logam berat pada perairan laut di wilayah Kota Bandar Lampung

No.	Parameter	Sat.	BM *)	Hasil Pengukuran								
				L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
1.	Pb	ppm	0.008	0.012	0.008	0.009	0.008	0.008	0.009	0.008	0.012	0.006
2.	Hg	ppm	0.001	0.002	Ttd	0.001	Ttd	0.001	0.001	Ttd	0.001	Ttd
3.	Cu	ppm	0.008	0.002	0.003	0.002	0.013	0.014	0.015	0.013	0.025	0.010
4.	Cd	ppm	0.001	0.026	0.013	0.014	ttd	0.001	0.001	ttd	0.002	ttd

Keterangan: *) Berdasarkan Kep. Men. LH No.51 thn. 2004 Baku Mutu Air Laut, untuk Biota Laut

L1 = Perairan di depan Lahan Reklamasi PT BBS (S 05°27'25,3"; E 105°16'12,2")

L2 = Perairan di dekat Gudang Lelang (S 05°27'10,0"; E 105°16'12,6")

L3 = Perairan di depan Pelabuhan Peti Kemas (S 05°27'51,8"; E 105°18'33,5")

L4 = Perairan di sekitar Pelabuhan Srengsem (S 05°29'22,8"; E 105°19'26,9")

L5 = Tengah Laut (S 05°29'32,3"; E 105°17'44,7")

L6 = Perairan di sekitar Pulau Kubur (S 05°29'15,3"; E 105°15'42,9")

L7 = Perairan di sekitar PPP Lempasing (S 05°29'14,5"; E 105°15'12,4")

L8 = Perairan di sekitar pantai Puri Gading (S 05°28'14,0"; E 105°15'08,4")

L9 = Perairan di sekitar Pulau Pasaran (S 05°27'53,4"; E 105°15'48,2")

Ttd = tidak terdeteksi

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa Pb terdapat dalam jumlah yang melebihi dari baku mutu yang ditetapkan untuk biota laut pada lokasi di sekitar perairan laut di depan lahan reklamasi PT BBS, perairan di sekitar Pelabuhan Peti Kemas Panjang, di sekitar Pulau Kubur, dan pantai Puri Gading. Keberadaan logam berat Hg umumnya masih berada dalam baku mutu yang ditetapkan, bahkan di beberapa tempat tidak terdeteksi,; namun di sekitar perairan laut di depan lahan reklamasi PT BBS terdeteksi dalam jumlah yang telah melebihi baku mutu. Kandungan logam Cu diketahui telah melebihi baku mutu pada beberapa lokasi pengukuran, yaitu di L4, L5, L6, L7, L8, dan L9. Keberadaan logam Cd telah melebihi baku mutu pada lokasi pengukuran L1, L2, L3, dan L8. Di lokasi L1, yaitu di perairan sekitar lahan reklamasi PT BBS, kandungan Cd telah mencapai 0,026 ppm atau sekitar 26 kali lipat dari baku mutu yang ditetapkan. Sumber pencemaran logam-logam berat ini diperkirakan dapat berasal dari aktivitas pelabuhan, docking kapal, ataupun limbah industri yang berasal dari perkotaan yang terbawa oleh sungai-sungai yang bermuara di sekitar perairan tersebut, seperti sungai Way Belau, Way Sukamaju, Way Keteguhan, dan Way Kunyit. Di wilayah Kecamatan Panjang terdapat aktivitas bongkar muat batubara, yaitu di DUKS milik PT Bukit Asam. Pada saat bongkar muat cukup banyak debu-debu batubara yang masuk ke perairan laut. Hal ini juga diduga turut menyumbangkan sejumlah besar kandungan logam berat di perairan laut di sekitarnya.

3.4 Pengaruh Logam Berat terhadap Ekosistem Perairan

Adanya logam-logam berat Pb, Hg, Cu, Cd, dan kemungkinan logam berat yang lainnya di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung sangat memprihatinkan. Walaupun keberadaan logam berat tersebut masih dalam batas baku mutu yang ditetapkan, namun keberadaannya di lingkungan perairan dapat mempengaruhi kehidupan biota dan manusia yang berinteraksi di wilayah tersebut. Menurut Nybakken (1992), logam berat merupakan salah satu bahan kimia beracun yang dapat memasuki ekosistem bahari. Bahan-bahan kimia ini seringkali memasuki rantai makanan di laut dan berpengaruh pada hewan-hewan, serta dari waktu ke waktu dapat berpindah-pindah dari sumbernya. Keadaan tersebut menyebabkan sulit sekali untuk memperkecil pengaruh bahan kimia tersebut, terutama apabila pengaruhnya terulang kembali pada tahun-tahun berikutnya. Beberapa biota laut tertentu juga dapat mempertinggi pengaruh

toksik berbagai unsur kimia tersebut karena memiliki kemampuan untuk mengakumulasi zat tersebut di tubuhnya jauh melebihi yang terkandung di perairan sekitarnya. Faktor-faktor lainnya yang cenderung membantu meningkatkan pengaruh unsur kimia terhadap sistem kehidupan adalah magnifikasi biologis. Pada situasi ini konsentrasi bahan kimia di tubuh jasad hidup meningkat dengan adanya perubahan tingkat trofik. Dari kenyataan bahwa unsur-unsur kimia tersebut tidak mengalami metabolisme di tubuh makhluk hidup, maka jumlah yang terakumulasi pada jaringan-jaringan tubuh semakin bertambah. Apabila beberapa individu tersebut dimangsa oleh karnivora dari tingkat trofik di atasnya, maka karnivora-karnivora tersebut akan mengandung unsur kimia yang berasal dari individu-individu terdahulu, sehingga konsentrasi unsur kimia tersebut akan meningkat di tubuhnya. Kesenambungan proses ini, apabila rantai makanan panjang, dapat menyebabkan tingkat konsentrasi yang cukup berarti pada karnivora puncak. Manusia juga sering mengkonsumsi biota laut yang sebagian besar berasal dari tingkat trofik tertinggi.

Peristiwa Minimata merupakan salah satu contoh yang didokumentasikan oleh Goldberg (1974) dalam Nybakken (1992) yang menggambarkan akibat pembuangan limbah industri yang mengandung Hg ke laut pada tahun 1930-an di Teluk Minimata. Melalui proses biomagnifikasi, ikan-ikan laut dan kerang mengakumulasi senyawa majemuk klorida metil merkuri beracun dalam konsentrasi tinggi. Ikan-ikan dan kerang ini dikonsumsi oleh penduduk di sekitar teluk. Kira-kira setelah 15 tahun sejak pembuangan Hg tersebut, terjadi keanehan mental dan cacat syaraf secara permanen yang dialami oleh penduduk setempat, terutama anak-anak. Keanehan mental tersebut dinamakan penyakit minimata yang didiagnosis sebagai akibat keracunan Hg pada tahun 1959.

Menurut Connell dan Miller (1995) pengaruh subletal logam berat, seperti Cu, Cd dan Hg, mengakibatkan perubahan secara histologis ataupun morfologis dalam jaringan berbagai jenis ikan dan krustasea yang merupakan pengaruh sekunder dari gangguan pada proses enzim yang terlibat dalam penggunaan makanan. Perubahan morfologis tersebut antara lain: penggantian sel-sel mukus pada epitel insang oleh sel-sel klorida dan kerusakan tulang belakang. Selain itu, logam-logam berat dalam konsentrasi yang relatif rendah sudah menghambat laju pertumbuhan dan perkembangbiakan vertebrata dan invertebrata.

SIMPULAN

Wilayah pesisir Kota Bandar Lampung telah tercemar oleh logam berat Pb, Hg, Cu dan Cd dalam jumlah yang bervariasi. Kandungan logam-logam berat tersebut dapat berasal dari limbah industri maupun domestik yang berasal dari aktivitas manusia di daratan. Kadar logam berat Pb, Hg, Cu, dan Cd di tujuh sungai yang bermuara ke wilayah laut Kota Bandar Lampung pada umumnya

masih berada pada kriteria yang ditetapkan berdasarkan PP No.82 tahun 2001 untuk Mutu Air Kelas III. Sebagian sumur-sumur penduduk yang terdapat di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung juga telah tercemar oleh Pb dan Cu. Demikian juga halnya di perairan laut yang telah tercemar kandungan logam berat Pb, Hg, Cu, dan Cd.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ditjen Kelautan, Pesisir, Pantai dan Pulau-Pulau Kecil (KP3K) Departemen Kelautan dan Perikanan yang telah membiayai penelitian ini. Penelitian ini merupakan suatu rangkaian kegiatan yang saling terkait dengan kegiatan penyusunan Rencana Strategis Pengelolaan Wilayah Pesisir Kota Bandar Lampung dan Penyusunan Zonasi Kawasan Pesisir Kota Bandar Lampung tahun 2007.

DAFTAR PUSTAKA

- Bengen, D. G. 2002. Sinopsis ekosistem dan sumberdaya alam pesisir dan laut serta prinsip pengelolaannya. PKSPL IPB. Bogor.
- Connell, D.W. dan G.J. Miller. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Terjemahan Y. Koestoer. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- CRMP. 1998. Potensi dan Isu Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan Propinsi Lampung. Proyek Pesisir Publication. Tec. Report TE-98/01-I. CRC-URI. Jakarta.
- Nybakken, W. J. 1992. Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis. PT Gramedia. Jakarta
- Wiryawan, B. dkk. 2000. Rencana Strategis Pengelolaan Wilayah Pesisir Lampung. Bekerjasama dengan Proyek Pesisir PKSPL IPB. Bandar Lampung.
- Wiryawan, B. dkk. 2002. Atlas Sumberdaya Wilayah Pesisir Lampung. Cetakan ke-2. Bekerjasama dengan Proyek Pesisir PKSPL IPB. Bandar Lampung.

KAJIAN PENGARUH INDUKSI MEDAN MAGNET SUTET 500 KV PADA KESEHATAN MANUSIA MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY

JANNUS MAURITS NAINGGOLAN*, ANDI HENDRAWAN*,
AHMAD RIDWAN

*Teknik Elektro F.T.Universitas Lampung
[*jannus_mn@unila.ac.id](mailto:jannus_mn@unila.ac.id), [*andi.h@unila.ac.id](mailto:andi.h@unila.ac.id)

ABSTRACT

A few of researches has done to know the effect of electric and magnetic field of 500 kV transmission lines specially, and did not give a consistent results This research was done by measure the magnitude of magnetic field and collect of data pass through cuissoner. Content of the cuissoner are personal datas and healt datas of surroundings peoples. The processing of datas are using fuzzy logic to some input variables like: age, high dan weigth, duration of stay and life at home, magnitue of magnetic field and health datas as fuzification system. Results of fuzzy logic show that human (people) living under transmission lines are not influenced by the magnetif field of 500 kV extra high voltage tranmission lines.

Key words: magnetic field, fuzzy logic, health

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Agar suplai energi listrik dapat berkualitas dan handal, maka pengiriman tenaga listrik dilakukan dengan tegangan tinggi, ekstra tinggi, ultra tinggi. Indonesia pun dewasa ini untuk menjamin keandalan penyaluran dan kualitas energi listriknya, di Pulau Jawa telah menggunakan tulang-punggung transmisi listrik pada tegangan 500 kV. Jaringan listrik 500 kV telah menjadi tulang punggung aliran listrik di Pulau Jawa dan Bali, keberadaannya telah dirasakan sekali, yaitu kontinuitas suplay listrik telah meningkat dan kualitasnya telah menjadi lebih baik. Tetapi melihat pertumbuhan beban, serta tuntutan peningkatan kualitas dan keandalan. Keberadaan jaringan transmisi 500 kV yang ada saat ini dirasa kurang dan perlu ditambah.

Keberadaan transmisi ekstra tinggi (SUTET) 500 kV telah menjadi problematika di masyarakat karena dikhawatirkan keberadaan transmisi 500 kV akan mengganggu atau membahayakan kesehatan manusia yang tinggal di bawah atau di sekitar SUTET. Yang dikhawatirkan dari keberadaan SUTET 500 kV adalah pajanan medan listrik dan medan magnetnya.

Banyak tulisan telah menyatakan bahwa pajanan elektromagnet dari transmisi SUTET masih tidak membahayakan kesehatan manusia, dibandingkan pajanan medan elektromagnet yang dihasilkan peralatan listrik rumah tangga. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut, umumnya hanya mengambil kesimpulan berdasar nilai (*magnitude*) intensitas medan elektromagnet yang terukur, walaupun ada juga yang membandingkannya dengan data kesehatan (*medis*) serta menggunakan perangkat lunak statistik dalam pengambilan kesimpulan.

Logika fuzzy telah lama dikenal dan digunakan dalam berbagai bidang oleh para ahli dan insinyur. Penggunaan logika fuzzy pada awalnya digunakan untuk beberapa bidang tertentu, seperti sistem diagnosa penyakit (dalam bidang kedokteran); riset operasi (dalam bidang ekonomi); kendali kualitas air, prediksi adanya gempa bumi, klasifikasi dan pencocokan pola (bidang teknik). Penggunaan logika fuzzy dalam bidang sistem daya (*power system*) juga sudah dilakukan, antara lain untuk analisis kemungkinan, prediksi - pengaturan beban, kendali frekuensi beban, identifikasi gangguan pada generator dan penjadwalan pemeliharaan generator.

Dalam upaya meningkatkan penerapan logika fuzzy dalam bidang sistem daya, mengadakan cek-silang yang bersifat melengkapi atas penelitian-penelitian terdahulu dengan cara menggabungkan hasil pengukuran medan elektromagnet dan data kesehatan penduduk, serta meningkatkan pemahaman yang lebih luas bagi masyarakat mengenai dampak medan elektromagnet terhadap kesehatan tubuh, maka penelitian ini dilaksanakan.

2. Perumusan Masalah

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan maupun tulisan-tulisan yang dipaparkan yang berhubungan dengan pengaruh medan elektromagnet jaringan listrik pada kesehatan manusia pada umumnya menyatakan tidak adanya pengaruh bagi kesehatan manusia atau tidak menunjukkan adanya korelasi yang erat antara kesehatan tubuh dengan medan elektromagnet yang menerpa tubuh manusia. Kesimpulan yang diambil oleh para peneliti tersebut, ada yang hanya berdasarkan perbandingan hasil pengukuran medan dengan nilai ambang batas yang diijinkan, ada juga yang dibuat dengan bantuan software seperti SAS (*Statistical Analysis System*), paket aplikasi untuk menganalisis data.

Walaupun demikian, akhir-akhir ini timbul kembali keresahan dan gejolak di dalam masyarakat bahwa kehadiran transmisi SUTET 500 kV telah membawa dampak buruk bagi kesehatan masyarakat yang tinggal di bawah atau di sekitar saluran transmisi. Hal ini menyebabkan perlunya diadakan kajian kembali akan keberadaan dan pengaruh dari transmisi SUTET 500 kV tersebut sehingga akan diperoleh informasi yang lebih terkini. Untuk melengkapi metode (cara) sebelumnya, diperlukan suatu metode baru dalam teknik

pengukuran (pengambilan data) dan paket aplikasi yang baru dalam menganalisis data dan mengambil kesimpulan.

Teknik pengukuran intensitas pejanan medan listrik dan medan magnet antara lain disesuaikan dengan jenis konfigurasi SUTET: sirkuit tunggal atau sirkuit ganda, tingkat hunian penduduk atau daerah aktifitas penduduk yang dilewati oleh jaringan, banyaknya titik pengukuran dan jarak titik-titik tersebut dari sumber medan elektromagnet atau penghantar. Teknik pengukuran dapat dikombinasikan dengan logika fuzzy yang digunakan untuk menganalisis data-data dalam pengambilan keputusan. Data-data terdiri dari data yang bersifat kualitatif yaitu data kesehatan sebagai hasil kuisioner dan data bersifat kuantitatif data hasil hasil pengukuran medan listrik dan medan magnet

3. Tinjauan Pustaka

Medan listrik berbeda dengan medan magnet dalam menghasilkan efek terhadap benda-benda yang ada didekatnya. Medan listrik nilainya akan tetap bila dalam kondisi tidak terpajan pada benda apapun, karena medan listrik pada umumnya akan terganggu jika berada atau dekat permukaan suatu benda. Oleh karenanya untuk menghitung efek suatu medan listrik harus diukur dari arus induksi yang mengalir di sekitar benda yang terkena (terpajan).

Tubuh manusia di dalam medan elektromagnet menjadi bagian dari sirkuit listrik oleh adanya kopling kapasitif akibat akan mengalirnya arus konduksi pada tubuh, baik orang tersebut terisolasi maupun menyentuh tanah. Bila orang tersebut terisolasi terhadap tanah, maka arus konduksi yang terjadi relatif kecil. Jika orang menyentuh tanah secara sempurna, arus konduksi yang terjadi akan lebih besar, dan arus yang mengalir melalui kedua telapak kaki ke tanah disebut arus hubung singkat. Arus hubung singkat ini merupakan arus total, dapat diukur, tetapi distribusinya didalam tubuh belum diketahui (Tumiran, 1999).

Oleh karena itu, terlepas dari besar atau kecilnya medan, dalam kenyataannya bila manusia berada di dalam medan elektromagnet akan terjadi aliran arus listrik di dalam tubuhnya. Dan pengaruh arus ini pada tubuh harus sama dengan pengaruh arus yang langsung diinjeksikan bila tubuh menyentuh langsung dengan sumber tegangan. Dengan demikian kalau memang ada pengaruh dari medan listrik pada kesehatan manusia hal ini disebabkan adanya arus konduksi tersebut. (Tribuana, 2000)

Penelitian akan pengaruh medan elektromagnet tranmsisi SUTET 500 KV pada kesehatan manusia telah dilakukan oleh beberapa peneliti indonesia. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan ini, mendapatkan nilai pengukuran medan elektromagnet yang masih berada di bawah ambang batas yang diijinkan dengan menggunakan standar WHO dan IRPA baik untuk daerah kerja maupun untuk

daerah hunian manusia. Walaupun ada juga peneliti yang menyatakan bahwa transmisi SUTET ini memiliki potensi memberikan dampak penyakit bagi manusia yang disebut penyakit lingkungan akibat radiasi yang dihasilkannya (Yds, 2001; Anies, 2003).

Logika fuzzy sebenarnya telah dikenal sejak tahun 1965, Zadeh memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinu antara 0 sampai 1 yang dikenal dengan Himpunan Kabur/Fuzzy (*Fuzzy Set*). Matematika/algoritma fuzzy adalah sebuah bidang lebar yang bersentuhan secara dekat dengan seluruh bidang matematika tradisional dan memudahkan dalam pemodelan matematis terhadap kajian yang bersifat kompleks. Oleh karena algoritma ini, teknologi logika fuzzy telah mendapat keberhasilan yang mengesankan pada beragam aplikasi yang tersebar. (Hellmann, 2001)

Penggunaan logika fuzzy (set/himpunan fuzzy) dalam sistem daya telah dimulai dalam beberapa dekade ini. Penggunaan ini antara lain dalam diagnosa atau monitoring, perencanaan distribusi jaringan komputasi aliran beban, peramalan beban, manajemen beban, pengaturan tegangan atau daya reaktif, indikasi gangguan trafo, dan lain-lain (Tomsovic). Hal ini merupakan suatu kemajuan dikarenakan sebelumnya penggunaan logika fuzzy banyak dikenal dalam bidang ekonomi, ilmu-ilmu sosial, ilmu kedokteran dan biologi, ilmu lingkungan maupun dalam aspek pengenalan pola (Kusumadewi, 2002)

4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian menggunakan logika fuzzy dalam menentukan pengaruh pajanan medan magnet SUTET 500 kV pada kesehatan masyarakat yang tinggal di bawah/sekitar transmisi itu.

BAHAN dan METODE

1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. *Magnetic Flux Meter* (untuk pengukuran medan magnet)
2. Kertas, bolpoin, dan map (untuk kuisioner)

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut:

1. Pembuatan Kuisioner.

2. Pengumpulan data pengukuran, yang merupakan tahap utama yang harus terlebih dahulu dilakukan. (Pengukuran medan magnet dilakukan di sepanjang saluran transmisi Sirkuit Ganda SUTET 500 kV Cikupa-Tangerang). Data didapat dengan melakukan pengukuran besar paparan medan magnet pada ketinggian objek ukur 50 cm, 100 cm dan 160 cm dari atas tanah.
3. Pengumpulan data kesehatan penduduk. Data kesehatan diambil dari penduduk, yang bersedia menjadi sampel dan yang tinggal dibawah (di sekitar) transmisi SUTET 500 kV tersebut.

Pengumpulan data melalui kuisioner dilakukan dengan memberikan pertanyaan-pertanyaan kepada masyarakat setempat yang antara lain lama tinggal di area pemukiman, keluhan-keluhan yang sering diderita dan data kesehatan selama tinggal di area pemukiman baik di bawah jaringan transmisi SUTET 500 kV maupun di luar jaringan.

4. Pengelompokan data.

5. Pengolahan data

Data-data hasil pengukuran dan hasil kuisioner dikelompokkan atas data-data usia, berat dan tinggi penduduk, data lama tinggal, data lama berada di rumah, dan data besar paparan. Data-data tersebut diolah dengan logika fuzzy dengan mengelompokkan data-data atas peubah-peubah masukan-keluaran, yang terbagi atas dua pengolahan utama, yaitu:

- Menentukan kondisi fisik.
- Menentukan pengaruh paparan medan magnet

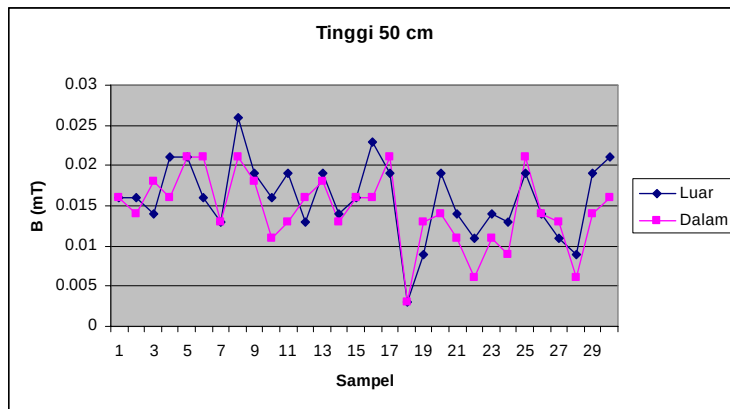
6. Analisis hasil

HASIL dan PEMBAHASAN

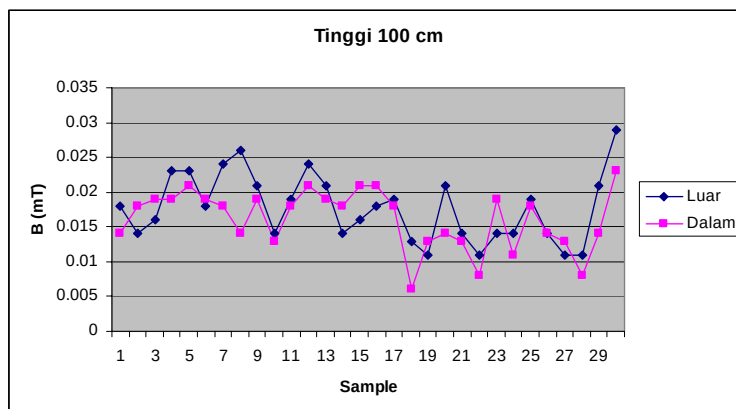
1. Hasil

A. Pengukuran Kuat Medan Magnet di Bawah Transmisi SUTET

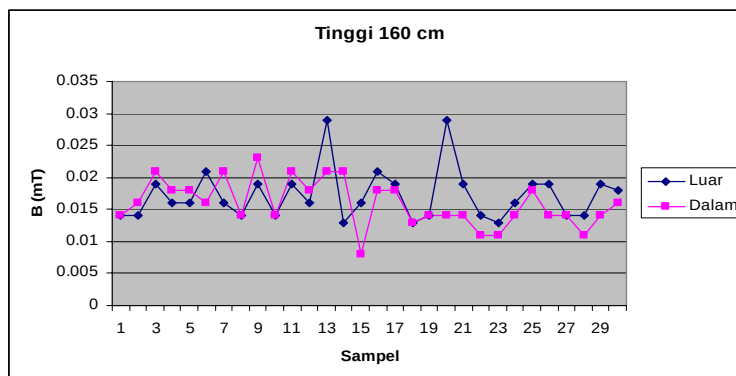
Pengukuran medan magnet di dalam maupun disekitar halaman rumah dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh perbandingan nilai medan magnet di dalam maupun di halaman rumah. Perbandingan hasil pengukuran nilai medan magnet di luar rumah dan di dalam rumah ditunjukkan pada gambar 1a, 1b, dan 1c.



(a). Nilai medan magnet pada pengukuran ketinggian 50 cm dari atas tanah.



(b). Nilai medan magnet pada pengukuran ketinggian 100 cm dari atas tanah.

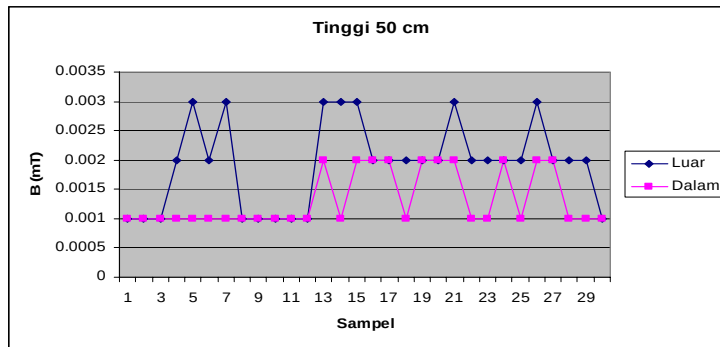


(c). Nilai medan magnet pada pengukuran ketinggian 160 cm dari atas tanah.

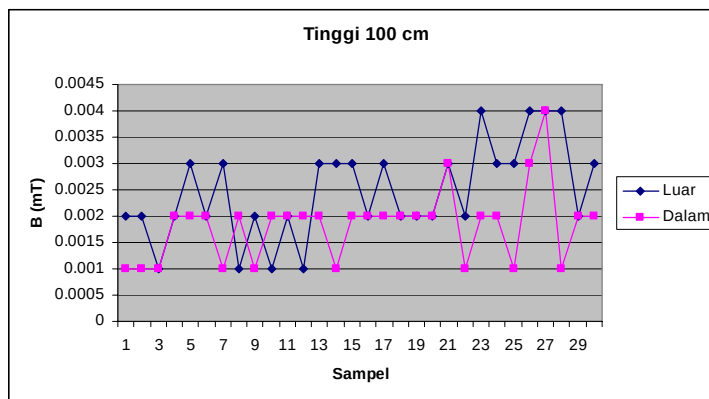
Gambar 1 (a,b,c). Perbandingan nilai medan magnet diluar rumah dan di dalam rumah pada daerah transmisi SUTET

B. Pengukuran Kuat Medan Magnet di Luar Transmisi SUTET

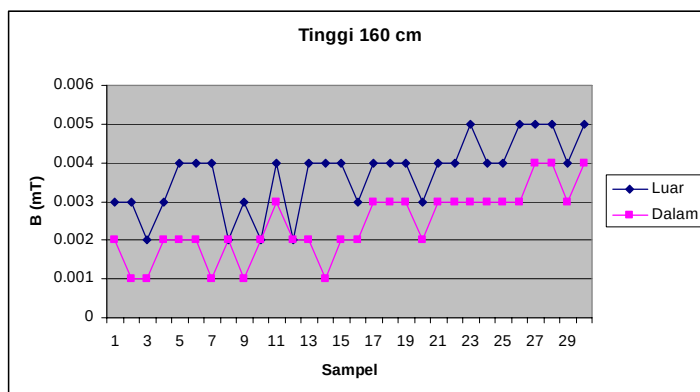
Pengukuran di luar transmisi SUTET pun dilakukan di dalam dan diluar rumah, dengan titik ketinggian objek pengukuran adalah 50 cm, 100 cm dan 160 cm. Perbandingan hasil pengukuran kuat medan magnet di luar rumah dan nilai medan magnet di dalam rumah ditunjukkan pada gambar 2a, 2b, dan 2c.



(a). Nilai medan magnet pada pengukuran ketinggian 50 cm dari atas tanah



(b). Nilai medan magnet pada pengukuran ketinggian 100 cm dari atas tanah



(c). Nilai medan magnet pada pengukuran ketinggian 160 cm dari atas tanah

Gambar 2 (a,b,c). Perbandingan nilai medan magnet di luar rumah dan di dalam rumah pada daerah non-SUTET

C. Riwayat Kesehatan Penduduk di Bawah Transmisi SUTET

Berdasarkan hasil pengelompokan dari data kuisioner maka didapatkan riwayat kesehatan penduduk yang berada di bawah transmisi SUTET, seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Riwayat penyakit penduduk dibawah transmisi SUTET

Nama Penyakit	Ya	Tidak	Bobot
Pusing	22	8	0.73
Sakit Kepala	20	10	0.67
Pegal-pegal	21	9	0.70
Lelah	21	9	0.70
Anemia	7	23	0.23
Leukemia	1	29	0.03
Kanker	0	30	0.00
Peny.Kulit	4	26	0.13
D.Tinggi	5	25	0.17
D.Rendah	7	23	0.23
Peny.Dalam	11	19	0.37
Peny. Keturunan	3	27	0.10
Kelainan Otak	0	30	0.00

D. Riwayat Kesehatan Penduduk di Luar Transmisi SUTET

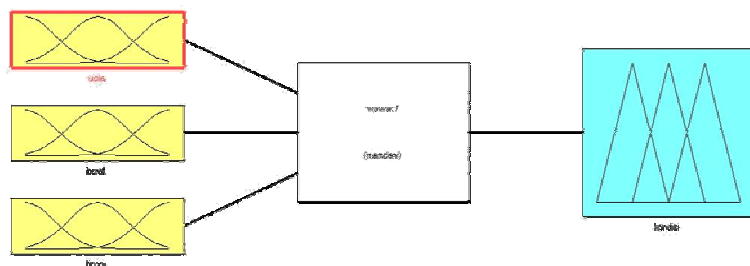
Berdasarkan hasil pengelompokan dari data kuisioner maka didapatkan riwayat kesehatan penduduk yang berada di bawah transmisi SUTET, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Riwayat penyakit penduduk diluar transmisi SUTET

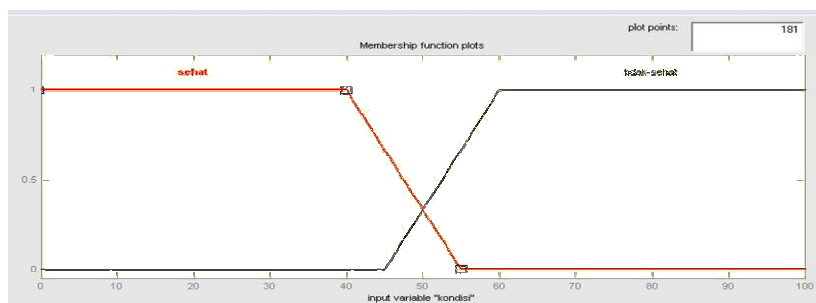
Nama Penyakit	Ya	Tidak	Bobot
Pusing	10	20	0.33
Sakit Kepala	9	21	0.30
Pegal-pegal	10	20	0.33
Lelah	14	26	0.47
Anemia	1	29	0.03
Leukemia	0	30	0.00
Kanker	0	30	0.00
Peny.Kulit	7	30	0.23
D.Tinggi	6	24	0.20
D.Rendah	9	21	0.30
Peny.Dalam	9	21	0.30
Peny. Keturunan	0	30	0.00
Kelainan Otak	0	30	0.00

2. Pembahasan

Dari data-data diatas dilakukan olah data menggunakan logika fuzzy pengaruh tiap variabel masukan. Dari variabel-variabel masukan: usia, berat dan tinggi dilakukan pengolahan yang menghasilkan keluaran Kondisi Fisik. Proses logika dan hasil keluaran ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.

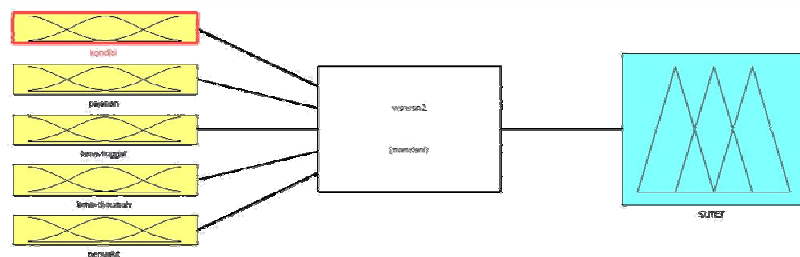


Gambar 3. Logika Fuzzy Kondisi Fisik

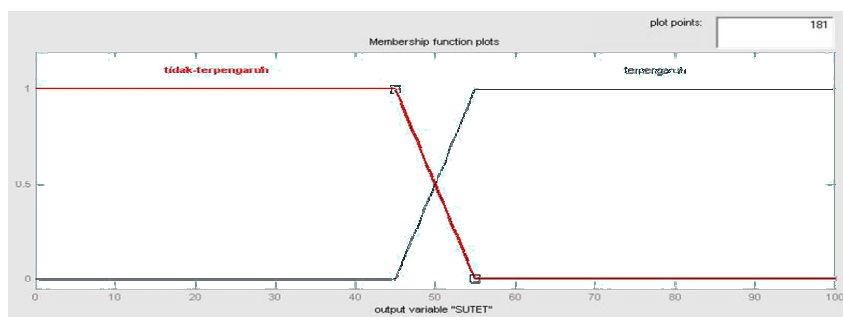


Gambar 4. Grafik keanggotaan Kondisi Fisik

Kemudian dilakukan lagi pengolahan data dengan variabel-variabel masukan : variabel kondisi fisik (sehat dan tidak sehat), variabel lama tinggal (lama dan sebentar), variabel lama dirumah (tidak sebentar dan sebentar), variabel penyakit (tidak bahaya dan bahaya), variabel pejalan (tidak bahaya dan bahaya). Hasil keluaran dari dari proses di ini adalah suatu nilai persentase pengaruh SUTET, yang menunjukkan tidak adanya pengaruh signifikan dari medan magnet induksi jaringan transmisi terhadap kesehatan masyarakat di sekitarnya. Proses logika dan hasil keluaran ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6



Gambar 5. Logika fuzzy Pengaruh SUTET



Gambar 6. Defusifikasi Pengaruh SUTET

Sementara itu, hanya dari data-data hasil pengukuran di lapangan didapatkan nilai rata-rata yang kecil yang menunjukkan bahwa nilai medan magnet di bawah dan sekitar jaringan transmisi masih berada dibawah ambang batas yang diijinkan.

SIMPULAN

Simpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Tidak ada pengaruh medan magnet dari jaringan transmisi SUTET 500 kV terhadap kesehatan masyarakat di sekitarnya.
2. Tidak ada perbedaan signifikan pada pola penyakit antara penduduk yang tinggal di bawah jaringan transmisi SUTET 500 kV dengan penduduk diluar jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anies, 2003, "Mewaspadaai Penyakit Lingkungan - Akibat Radiasi Elektromagnetik", Kompas, edisi 4 April, Indonesia.
- Hellmann, Martin, 2001, "Fuzzy Logic Introduction".
- Kusumadewi, S., 2002, "Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab", Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Rahim, N.A. , E.L. Chan, 2003, "Fuzzy-Controlled State-of-Charge Controller for Battery Charger Application", JSTD Vol. 20 Issue 3&4 pp. 323-332.
- Tomsovic, K., "Fuzzy Systems Applications to Power Systems", School of Electrical Engineering and Computer Science, Washington State University, Ullman.
- Tribuana, Nanang, 2000, "Pengukuran Medan Listrik dan Medan Magnet di bawah SUTET 500 kV", Elektroindonesia, Indonesia.
- Tumiran, 1999, "Medan Listrik dan Medan Magnet di bawah SUTET 500 kV", Laporan Penelitian - UGM, Yogyakarta.
- The Math Works, 2002, "Fuzzy Logic Toolbox For Use with Matlab", The Math Works Inc.
- Yds, 2001, "Waspadaai Polusi Listrik Di Sekitar Anda", Intisari edisi November, Indonesia.

Karakteristik Tapis Penyerap Berdasarkan Pengaruh Variasi Intensitas Cahaya Matahari

S. RATNA SULISTIYANTI

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

HP. 0816680647, winantya@yahoo.com, winantya@unila.ac.id

ABSTRACT

This report summarizes researches performed to evaluate the feasibility of using the Digital Camera System associated with absorber filters which making based on sunlight intensity to absorb the visible light and analyzes the histogram to selection absorber filter.

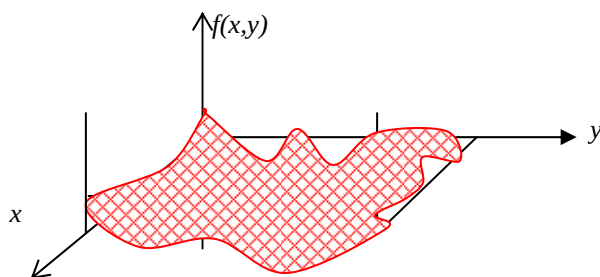
Keywords: digital camera system, absorber filter, visible light.

PENDAHULUAN

Citra merupakan "isyarat" atau "sinyal" dua dimensi (2-D) yang dapat diungkap sebagai fungsi:

$$f(x, y)$$

dengan nilai atau besar dan bervariasi sepanjang variabel x dan sepanjang variabel y yang saling tegaklurus (*ortogonal*).

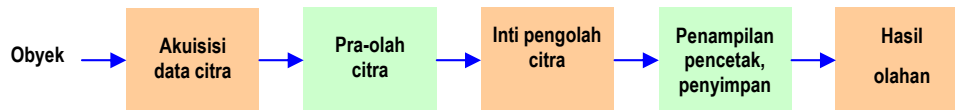


Gambar 1. Fungsi 2-D $f(x, y)$ yang dilukiskan sebagai luasan yang membentang di atas sumbu- x dan sumbu- y yang saling tegaklurus (*ortogonal*).

Gambar 1 memperlihatkan besar nilai f yang berada pada sumbu f positif, karena citra yang dapat dilihat hanya yang memantulkan atau memancarkan intensitas cahaya positif, karena intensitas cahaya yang terindra oleh mata adalah sesuai dengan energinya sehingga tidak mungkin negatif.

Mengolah citra pada hakekatnya terkait dengan adanya informasi di dalamnya (Gambar 2 memperlihatkan diagram kotak bagian-bagian utama sistem pengolahan citra secara menyeluruh). Informasi yang

terkandung di dalam citra dapat besar jumlahnya dan beragam macamnya, dan tergantung pada subjek yang melihatnya. Dalam rangka penggalian informasi tersebut, citra asli secara umum perlu mengalami pengolahan-awal (*preprocessing*), untuk memperbaiki tampilannya, akibat ketidaksempurnaan sistem akuisisi atau perolehan datanya dan adanya gangguan atau derau (*noise*) yang mencampuri.



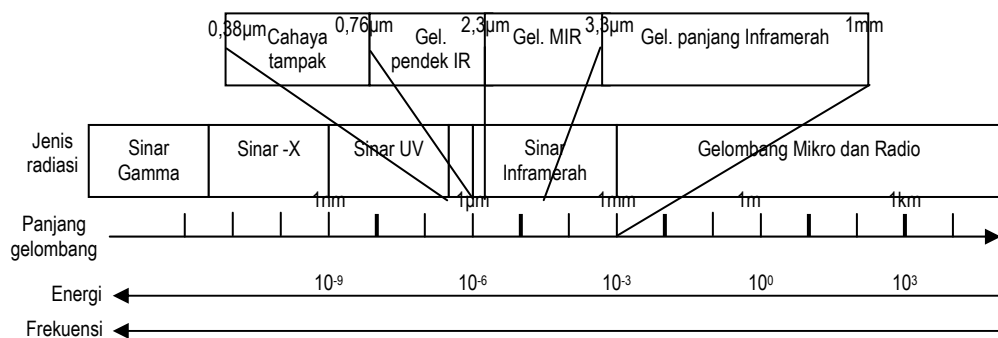
Gambar 2. Diagram blok bagian-bagian utama sistem pengolahan citra secara menyeluruh.

Berlawanan dengan bagian pengolahan awal yang berada di bagian depan runtunan proses, di bagian akhir pengolahan terdapat proses penampilan, penyimpanan, dan/atau penyaluran hasil pengolahan, baik untuk pengguna langsung atau pun untuk diteruskan/ditransmisikan ke tempat lain (Jain, 1989).

Perkembangan teknik-teknik pengolahan citra telah sangat jauh, baik dari segi perangkat-keras maupun perangkat-lunak yang digunakan. Selain itu jangkauan akuisisi data citra juga telah sangat luas, yaitu hingga jauh dari bidang frekuensi cahaya tampak. Dengan sensor-sensor yang mampu menangkap frekuensi atau panjang gelombang IR (*Infrared*) atau infra-merah. Bila di daerah cahaya tampak pada dasarnya dibuat pembagian menjadi tiga bidang frekuensi, yaitu untuk R, G dan B, di daerah frekuensi IR, yang jauh lebih luas, dapat dilakukan pembagian hingga menjadi 12 bidang frekuensi. Dengan demikian jauh lebih banyak lagi informasi yang tertangkap di wilayah panjang gelombang IR.

Akuisisi data citra yang paling banyak dikenal adalah kamera fotografi sebagai alat untuk memperoleh (mengakuisisi) gambar (citra), yang sehari-hari disebut foto. Pola akuisisi kamera ini pada prinsipnya sekali "jepret" *seluruh* data citra didapat.

Pada kamera digital yang terlihat pada hasil akuisisinya merupakan cahaya tampak, akan tetapi di dalamnya terkandung juga informasi suhu/panas yang merupakan energi inframerah (IR). Energi inframerah adalah suatu bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai spektrum gelombang yang terletak di antara cahaya tampak dan radiasi gelombang mikro (Šebök, 2005) yang dapat dilihat pada Gambar 3, serta mempunyai jangkauan panjang gelombang radiasi elektromagnetik dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Spektrum gelombang elektromagnetik (Sumber: Horinka, 2005)

Tabel 1. Jangkauan panjang gelombang radiasi elektromagnetik

λ (nm)	Jenis Radiasi	Sumber
<10	Sinar-x, sinar-y	nuklir, elektron pada atom besar
10-400	Sinar ultraungu	elektron-elektron atom
400-700	Cahaya tampak	elektron-elektron atom
700-1K	Inframerah	Gerakan sambungan molekuler
1K-1M	Gelombang mikro	Pergerakan molekuler kaku
> 1M	Gelombang radio	konduksi elektron-elektron

Sumber: Koehler, 1996.

Mata manusia hanya dapat melihat fraksi kecil pada spektrum energi yang dipancarkan misalnya oleh matahari dalam bentuk cahaya tampak. Bagaimana pun, jika ingin “melihat” pancaran radiasi sinar infra-merah dari seluruh bagian (organik dan anorganik), maka secara efektif dapat dilakukan di dalam gelap. Meskipun tidak terlihat oleh mata manusia, radiasi infra-merah dapat dideteksi sebagai rasa hangat pada kulit, dan bahkan energi radiasi infra-merah dari objek yang mempunyai suhu lebih rendah dari lingkungan dapat tertangkap karena terasa lebih dingin.

Untuk memperoleh informasi panas dari suatu objek, pada kamera digital diberikan tapis penyerap cahaya tampak, sehingga informasi yang diperoleh mempunyai jangkauan panjang gelombang inframerah (700 –1000 nm). Tapis penyerap digunakan untuk membuat gelap jendela bidik sehingga dalam keadaan terang pun dapat diperoleh informasi citra inframerah secara objektif.

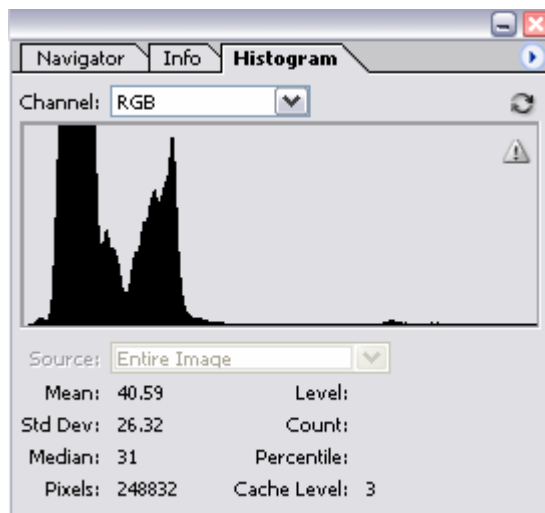
BAHAN dan METODE

Alat dan bahan yang digunakan adalah kamera digital, kamera analog, alat ukur intensitas cahaya, film C, film BW, seperangkat komputer, perangkat lunak pengolah data, LED (warna merah biasa dan IR), dan baterai. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pembakaran film C dan film BW dengan menggunakan kamera analog pada berbagai intensitas cahaya matahari (diukur

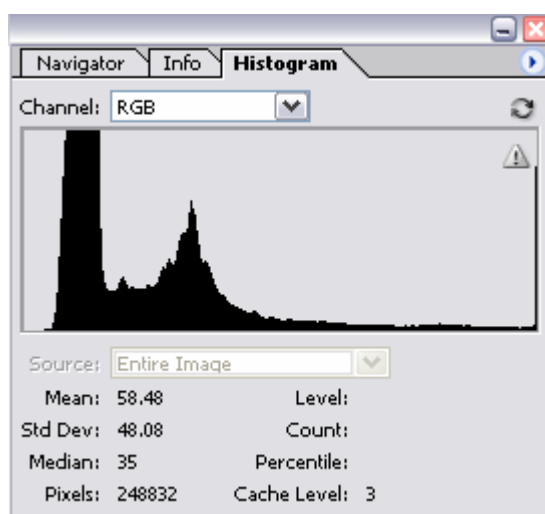
menggunakan luxmeter), kemudian film-film tersebut sebagian dinegatifkan dan yang lain tidak. Film-film hasil pembakaran digunakan sebagai tapis penyerap cahaya tampak dan dipasang pada kamera digital, selanjutnya digunakan untuk menangkap citra LED. Histogram citra hasil tangkapan tersebut dianalisis dengan cara membandingkan histogram-histogram yang diperoleh dari berbagai variasi tapis penyerap. Hasil analisis tersebut digunakan untuk memilih tapis penyerap cahaya tampak yang paling baik digunakan pada sistem kamera digital.

HASIL dan PEMBAHASAN

Histogram citra hasil akuisisi kamera digital tanpa tapis penyerap dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5, untuk dua kondisi yaitu LED mati dan LED hidup.

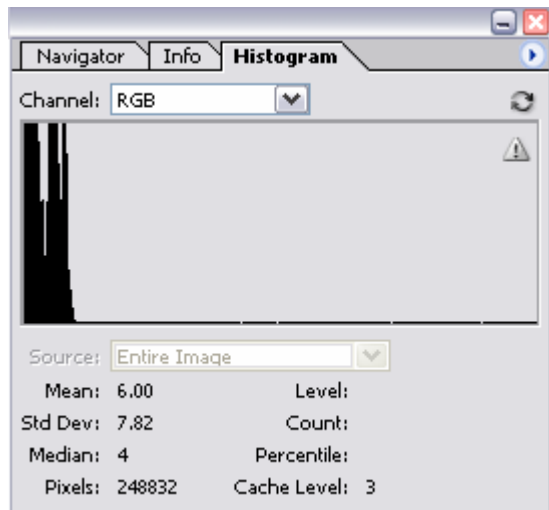


Gambar 4. Histogram citra tanpa tapis penyerap dan LED mati.

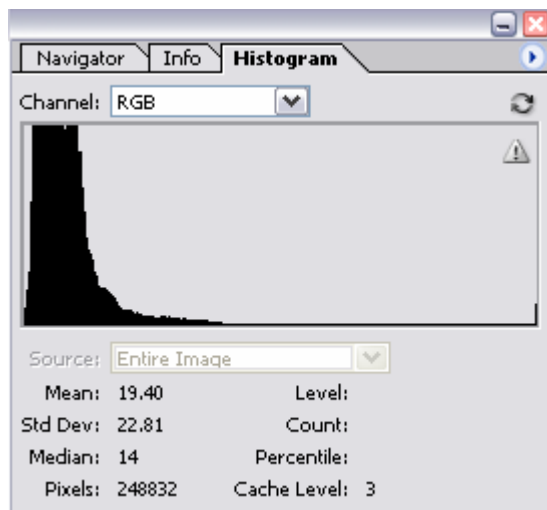


Gambar 5. Histogram citra tanpa tapis penyerap dan LED hidup.

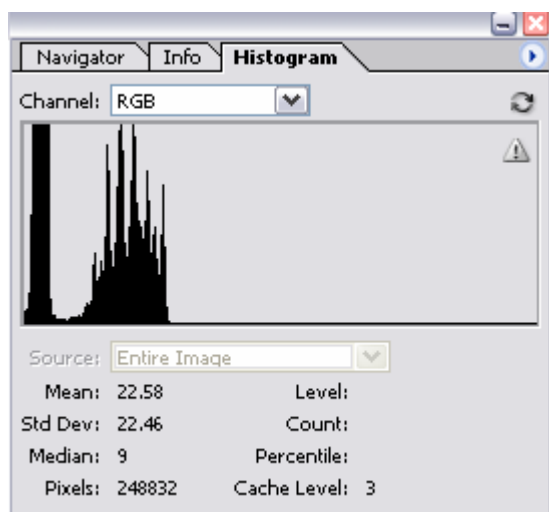
Histogram citra hasil akuisisi kamera digital yang dilengkapi dengan tapis penyerap dapat dilihat pada Gambar 6 s.d. Gambar 17.



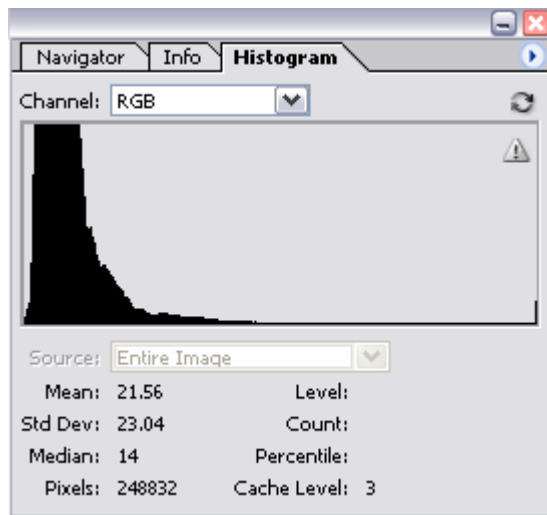
Gambar 6. Histogram citra dengan tapis film HoriC tanpa dinegatifkan dengan intensitas 31.200 lux.



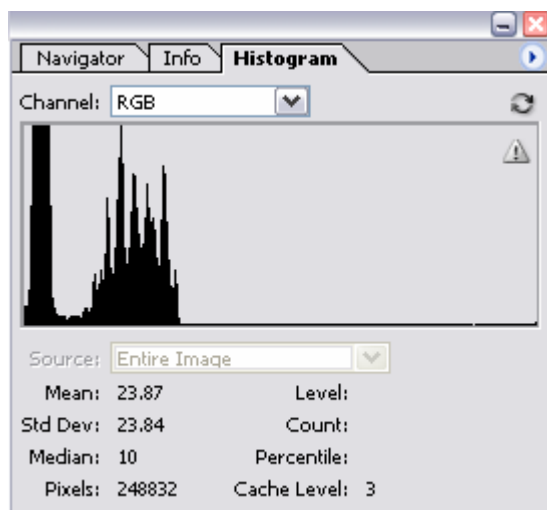
Gambar 7. Histogram citra dengan tapis film HoriC dinegatifkan dengan intensitas 31.200 lux.



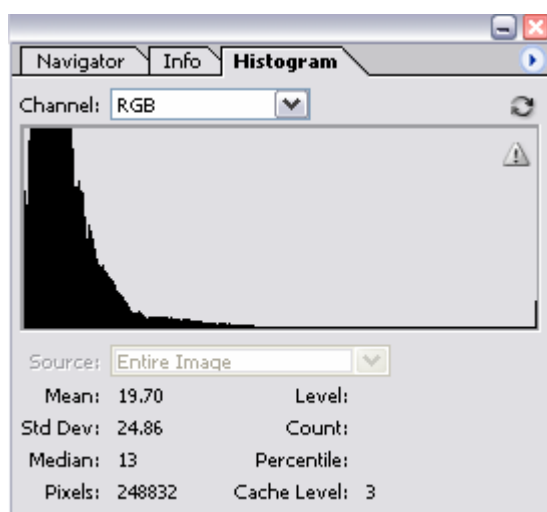
Gambar 8. Histogram citra dengan tapis film Proplus tanpa dinegatifkan dengan intensitas 31.100 lux.



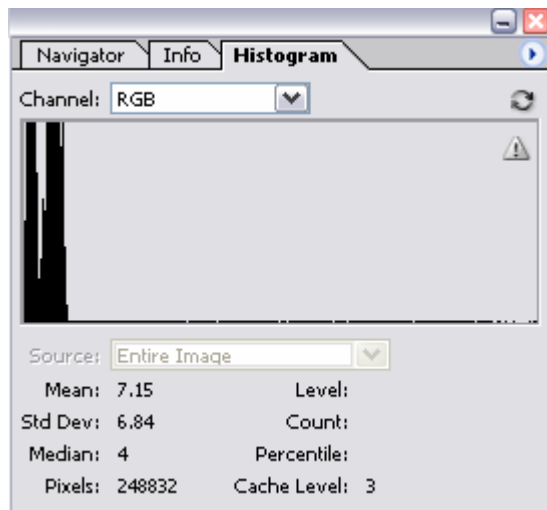
Gambar 9. Histogram citra dengan tapis film Proplus dinegatifkan dengan intensitas 31.100 lux.



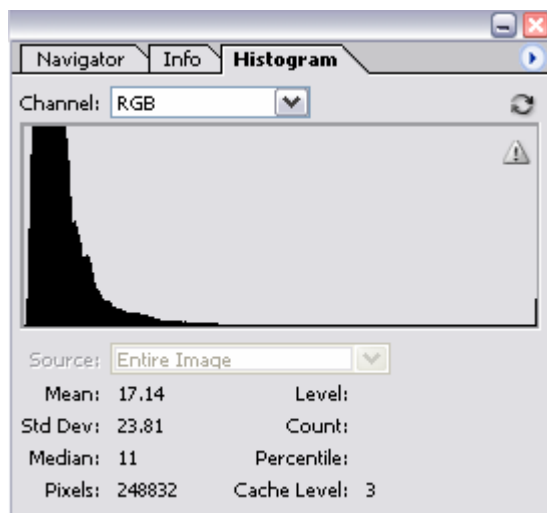
Gambar 10. Histogram citra dengan tapis film Konica tanpa dinegatifkan dengan intensitas 32.000 lux



Gambar 11. Histogram citra dengan tapis film Konica dinegatifkan dengan intensitas 32.000 lux.



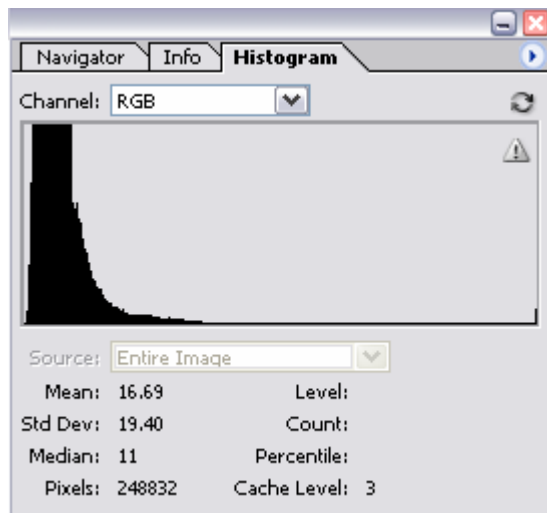
Gambar 12. Histogram citra dengan tapis film HoriC tanpa dinegatifkan dengan intensitas 85.100 lux.



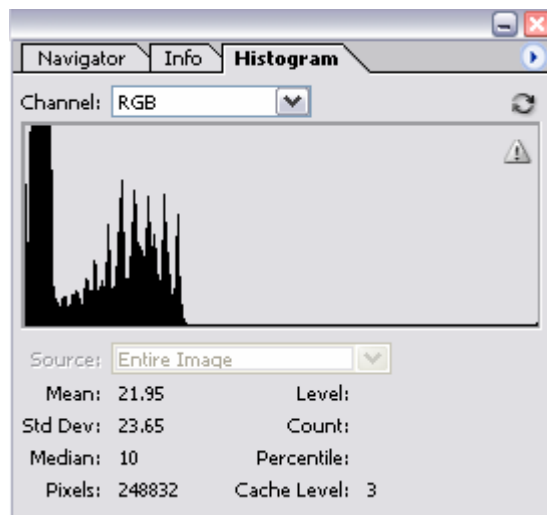
Gambar 13. Histogram citra dengan tapis film HoriC dinegatifkan dengan intensitas 85.100 lux.



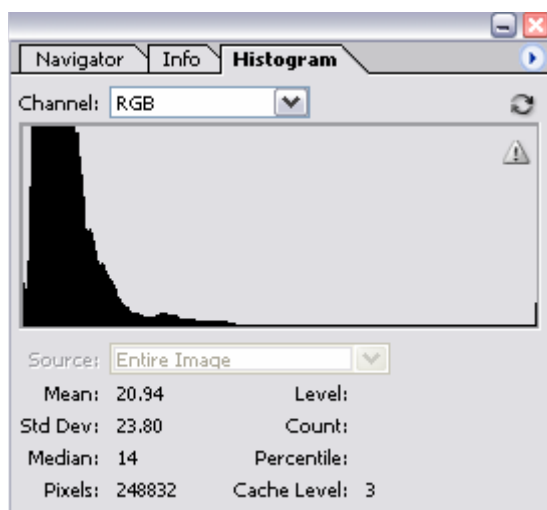
Gambar 14. Histogram citra dengan tapis film Proplus tanpa dinegatifkan dengan intensitas 85.100 lux.



Gambar 15. Histogram citra dengan tapis film Proplus dinegatifkan dengan intensitas 85.100 lux.



Gambar 16. Histogram citra dengan tapis film Konica tanpa dinegatifkan dengan intensitas 85.900 lux.



Gambar 17. Histogram citra dengan tapis film Konica dinegatifkan dengan intensitas 85.900 lux.

Pada histogram Gambar 4 terlihat spektrum cahaya (dianggap sebagai kondisi awal) yang ditangkap oleh kamera digital tanpa tapis, dan pada kondisi ini tidak dapat dipisahkan antara cahaya tampak dengan cahaya inframerah. Kemudian Gambar 5 (kondisi LED dihidupkan) menunjukkan spektrum yang dihasilkan semakin melebar (terdapat penambahan lebar bidang spektrum) bila dibandingkan dengan Gambar 4, hal ini disebabkan oleh adanya penambahan cahaya tampak dan inframerah dari LED.

Gambar 6 sampai dengan Gambar 17 menunjukkan histogram dari citra hasil akuisisi kamera digital yang telah dilengkapi dengan tapis penyerap. Gambar 6, Gambar 8, dan Gambar 10 menggunakan tapis penyerap yang dibuat dengan cara membakar film (tiga merk film, yaitu Horicolor, Konica Color, dan Fuji Proplus B/W) pada intensitas cahaya matahari dengan jangkauan 31.000–32.000 lux, film-film yang telah dibakar tidak dinegatifkan. Hasil yang diperoleh (Gambar 6, Gambar 8, dan Gambar 10) memperlihatkan bahwa histogram untuk tapis penyerap yang terbuat dari film HoriC yang tidak dinegatifkan mempunyai spektrum yang tinggi dan sempit, hal ini berbeda dengan tapis penyerap yang terbuat dari film Fuji Proplus dan film Konica, untuk kedua tapis penyerap tersebut menghasilkan histogram dengan spektrum yang lebar, hal ini menyatakan cahaya tampak yang masuk lebih banyak daripada cahaya inframerah.

Gambar 12, Gambar 14, dan Gambar 16 menggunakan tapis penyerap yang dibuat dengan cara membakar film (tiga merk film, yaitu Horicolor, Konica Color, dan Fuji Proplus B/W) pada intensitas cahaya matahari dengan jangkauan 85.000–86.000 lux, film-film yang telah dibakar tidak dinegatifkan. Hasil yang diperoleh (Gambar 12, Gambar 14, dan Gambar 16) memperlihatkan bahwa histogram untuk tapis penyerap yang terbuat dari film HoriC dan film Fuji Proplus yang tidak dinegatifkan mempunyai spektrum yang tinggi dan sempit, hal ini berbeda dengan tapis penyerap yang terbuat dari film Konica, untuk tapis penyerap dari film konica menghasilkan histogram dengan spektrum yang lebar. Hal ini menjelaskan bahwa film HoriC dan Fuji Proplus cahaya inframerah yang masuk lebih banyak daripada cahaya tampak, dengan kata lain lebih banyak cahaya tampak yang diserap atau dipantulkan kembali sehingga tidak terekam oleh kamera.

Tapis penyerap yang terbuat dari film yang dibakar pada intensitas cahaya matahari 31.000–32.000 lux kemudian dinegatifkan, dan digunakan bersama dengan kamera digital untuk menangkap citra suatu objek. Histogram yang diperoleh dari citra-citra yang ditangkap terlihat pada Gambar 7, Gambar 9, dan Gambar 11. Dari Gambar-gambar tersebut terlihat spektrum yang lebih melebar dan rapat bila dibandingkan dengan histogram pada Gambar 6, Gambar 8, dan Gambar 10, hal tersebut menjelaskan bahwa lebih banyak cahaya tampak yang ditangkap oleh kamera. Pada tapis yang dibuat dengan membakar film pada intensitas cahaya matahari dengan jangkauan 85.000–86.000 lux yang kemudian film dinegatifkan,

menghasilkan histogram yang cenderung sama dengan tapis yang dibakar pada intensitas cahaya matahari 31.000–32.000 lux, akan tetapi bila diperhatikan kemudian dibandingkan antara Gambar 7 dengan Gambar 13, Gambar 9 dengan Gambar 15, dan Gambar 11 dengan Gambar 17, terlihat spektrum Gambar 7, Gambar 9, dan Gambar 11 lebih lebar daripada spektrum Gambar 13, Gambar 15, dan Gambar 17.

Dari hasil yang diperoleh tampak bahwa spektrum yang semakin sempit dan rapat ke kiri sumbu tegak histogram, maka akan semakin banyak cahaya tampak yang terserap, dan semakin banyak peluang untuk cahaya tak tampak yang mempunyai panjang gelombang lebih besar daripada cahaya tampak yaitu cahaya inframerah.

Pemilihan tapis penyerap cahaya tampak yang akan digunakan untuk akuisisi cahaya tak tampak bergantung pada intensitas cahaya matahari saat membakar film-film tersebut dan proses setelah dilakukan pembakaran film. Apabila setelah film dibakar kemudian tidak dilakukan pemrosesan secara kimia (dinegatifkan) akan menghasilkan cahaya tampak yang terhalangi (diserap) oleh tapis tersebut. Hal ini dapat sebagai bahan pertimbangan untuk memilih dan membuat sendiri tapis penyerap cahaya tampak sehingga akan menjadi lebih murah dan sederhana bila dibandingkan dengan tapis penyerap hasil fabrikasi.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penyerapan cahaya tampak oleh tapis yang dihasilkan dari pembakaran film dengan kisaran intensitas cahaya matahari antara 85.000–86.000 lux lebih besar daripada film yang dibakar dengan kisaran intensitas cahaya matahari antara 31.000–32.000 lux.
2. Penyerapan cahaya tampak oleh tapis yang dihasilkan dari pembakaran film dan tidak dilakukan proses kimiawi (tanpa dinegatifkan) lebih besar daripada tapis dari film yang setelah dibakar kemudian diproses secara kimiawi (dinegatifkan).
3. Tapis hasil pembakaran film dengan kisaran intensitas cahaya matahari antara 85.000–86.000 lux serta tidak dinegatifkan merupakan tapis penyerap cahaya tampak yang terbaik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Adhi Susanto, M.Sc., Ph.D., yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penelitian ini.

2. FX. Arinto Setyawan, S.T., M.T., yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Horinka, Paul R. Understanding Infrared Curing PF Online is a trademark of Gardner Publications, Inc, copyright 1997-2005.
- Jain, Anil K. 1989. Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice Hall International Inc.
- Koehler, Kenneth R. 1996. Infrared Spectroscopy and Degrees of Freedom.
- Šebök, M., M. Šimko and M. Chupáč. 2005. Infra-red Measurement of Temperature and Spectral Filters Application. Measurement Science Review, Volume 5, Section 3. Slovakia.

MONOKROMATOR CAHAYA BIRU UNTUK SPEKTROFOTOMETER MENGGUNAKAN GRATING TRANSMISI BERBANTUKAN KOMPUTER

ARIF SURTONO¹, TANTRI SUSILOWATI¹, R. SUPRIYANTO² dan SRI
WAHYUSUCIATI¹

1) Jurusan Fisika FMIPA Unila,

2) Jurusan Kimia FMIPA Unila,

ABSTRAK

Monokromator merupakan bagian penting dalam spektrofotometer yang berfungsi sebagai pensuplai cahaya monokromatik pada panjang gelombang tertentu. Pada kebanyakan spektrofotometer, monokromator yang digunakan adalah jenis Czerny-Turner atau Fastie-Ebert, yang terdiri dari celah masuk, cermin cekung, grating difraksi jenis refleksi, pemutar grating dan celah keluar. Tetapi monokromator jenis-jenis tersebut sulit ditemukan di pasaran dan berharga mahal.

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat monokromator cahaya biru yang bahannya mudah didapat di pasaran dan harganya cukup terjangkau. Kelak monokromator ini dapat digunakan pada spektrofotometer untuk uji kualitas air dengan parameter Nitrogen sebagai nitrit (NO_2), nitrat (NO_3) dan amoniak (NH_3) serta Sulfur sebagai sulfat (SO_4) dan sulfida (H_2S). Monokromator rancangan ini bagian optiknya terdiri dari lampu LED warna putih, lensa cembung pengumpul cahaya putih, celah masuk, lensa cembung pemfokus cahaya ke grating, grating jenis transmisi (300 lines/mm), celah keluar, motor stepper penggerak celah keluar dan komputer sebagai pengontrol gerak motor stepper.

Monokromator hasil penelitian ini mampu menghasilkan spektrum cahaya biru dengan lebar 2,75 mm, Panjang gelombang cahaya biru dalam range 435 nm – 480 nm dapat dipilih dengan beda 5 nm menggunakan celah sempit selebar 0,275 mm yang digerakkan oleh motor stepper dan dikontrol melalui komputer.

Kata – kata kunci : monokromator, spektrofotometer, grating dan komputer.

PENDAHULUAN

Spektrofotometer adalah instrumentasi spektrokimia yang digunakan untuk mengukur absorbansi (dan transmitansi) suatu larutan terhadap radiasi ultraviolet, cahaya tampak (*visible*) dan inframerah menggunakan sensor fotodetektor (Christian, 1994). Absorbansi suatu larutan pada berbagai panjang gelombang radiasi menghasilkan spektrum-spektrum yang bermanfaat untuk menjelaskan struktur atom dan molekul baik dari bahan anorganik maupun organik, sehingga dapat memberikan penilaian secara kuantitatif maupun kualitatif (Skoog et.al, 1996). Sedangkan absorbansi (dan transmitansi) suatu larutan itu sendiri juga dapat

memberikan informasi mengenai konsentrasi zat larutan. Penggunaan spektrofotometer meliputi bidang bioteknologi, kimia, lingkungan, farmasi, petrokimia dan pekerjaan rutin laboratorium lainnya (Anonymous (b), 2007).

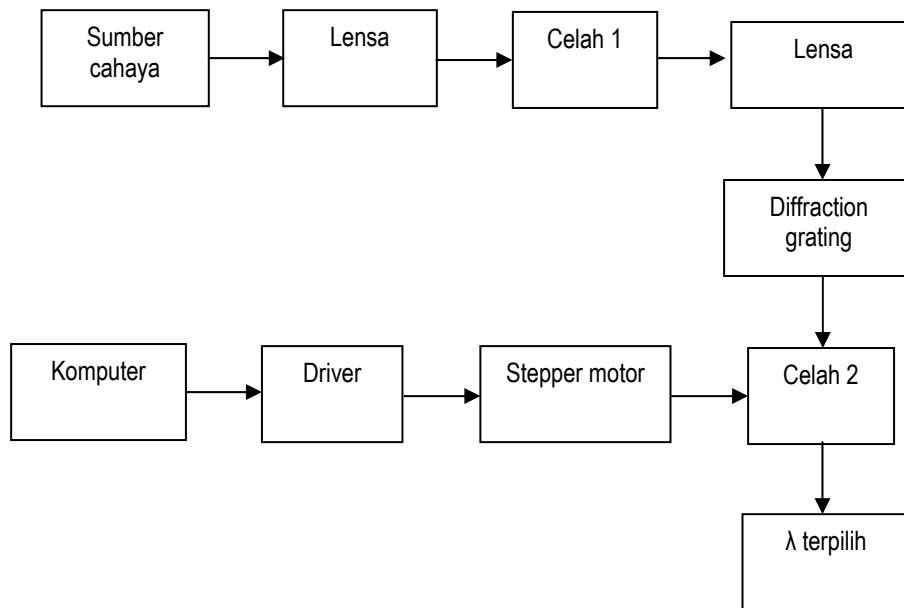
Komponen utama spektrofotometer adalah: (1) sumber radiasi, (2) selektor panjang gelombang (monokromator), (3) wadah sampel (*cuvet*), (4) detektor dan (5) pemroses sinyal serta bacaan (Skoog et.al, 1996). Monokromator sebagai bagian komponen utama spektrofotometer berfungsi sebagai pensuplai gelombang monokromatik pada panjang gelombang tertentu. Spektral *bandwidth* monokromator sangat menentukan ketelitian sebuah spektrofotometer (Bender, 1987). Pada kebanyakan spektrofotometer, monokromator yang digunakan adalah jenis Czerny-Turner atau Fastie-Ebert, yang terdiri dari celah masuk, cermin cekung, grating difraksi jenis refleksi, pemutar grating dan celah keluar (Lerner and Thevenon, 2006). Tetapi monokromator jenis-jenis tersebut sulit ditemukan di pasaran jika mengalami kerusakan dan ingin menggantikannya serta berharga mahal, yaitu 939 US\$ hingga 1149 US\$ (Anonymous (a), 2007).

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat sebuah monokromator sederhana yang bahannya mudah didapat di pasaran dan harganya cukup terjangkau. Pada tahap awal penelitian ini dibuat sebuah monokromator cahaya biru yang dapat digunakan pada spektrofotometer untuk uji kualitas air dengan parameter Nitrogen sebagai nitrit (NO_2), nitrat (NO_3) dan amoniak (NH_3) serta Sulfur sebagai sulfat (SO_4) dan sulfida (H_2S). Monokromator rancangan ini bagian optiknya terdiri dari lampu LED warna putih, lensa cembung pengumpul cahaya putih, celah masuk, lensa cembung pemfokus cahaya ke grating, grating jenis transmisi (300 lines/mm), celah keluar, motor stepper penggerak celah keluar dan komputer sebagai pengontrol gerak motor stepper.

METODE PENELITIAN

Diagram Blok Rancangan Monokromator

Diagram blok rancangan monokromator cahaya biru seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok monokromator

Prinsip kerja monokromator dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sumber cahaya putih berasal dari lampu LED putih.
2. Lensa 1 adalah lensa cembung, berfungsi mengumpulkan cahaya putih dari LED
3. Celah 1 berfungsi untuk membatasi banyaknya cahaya putih yang masuk.
4. Lensa 2 juga lensa cembung, berfungsi memfokuskan cahaya yang akan masuk ke grating.
5. Grating transmisi atau kisi difraksi mempunyai banyak celah 300/mm. Oleh grating inilah cahaya putih diuraikan kedalam 7 warna cahaya monokromatik, yaitu cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu
6. Celah 2 berfungsi untuk membatasi cahaya biru yang keluar. Cahaya biru yang keluar memiliki panjang gelombang tertentu (435 nm – 480 nm dengan step 5 nm). Lebar celah 2 ditentukan berdasarkan lebar spektrum cahaya biru yang ditangkap pada layar (di tempat celah 2) dibagi banyaknya panjang gelombang yang berbeda, yaitu dengan beda 5 nm.

$$\text{lebar celah} = \frac{\text{lebar cahaya pada layar}}{\text{jumlah panjang gelombang setiap 5 nm}} \quad (1)$$

7. Komputer melalui port printer (port data) memberikan perintah ke rangkaian penggerak motor stepper untuk menggerakkan celah 2 agar memilih atau melewatkan cahaya biru dengan panjang gelombang yang diinginkan.

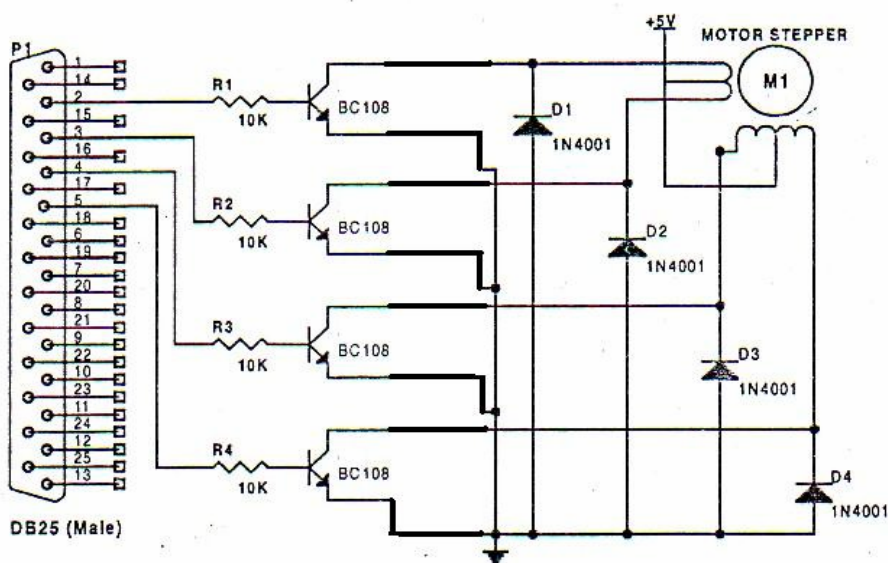
Jarak antar Komponen Penyusun Monokromator

Seperti pada gambar 1, bagian optik monokromator tersusun atas lampu LED, lensa cembung, celah sempit, dan grating. Jarak antar bagian komponen-komponen tersebut ditentukan dengan cara mengubah-ubah posisi komponen-komponen tersebut (kecuali lampu LED tetap) hingga diperoleh (ditangkap) spektrum warna biru yang cukup terang dan lebar pada layar kertas putih. Cahaya biru diusahakan cukup terang (kuat) karena jika ditembakkan pada sampel larutan masih ada sebagian cahaya yang dapat dideteksi oleh sensor fotodioda. Sedangkan lebar spektrum warna biru diusahakan cukup lebar agar mudah dihasilkan lebih banyak lagi panjang gelombang yang berbeda, dalam penelitian ini berbeda 5 nm.

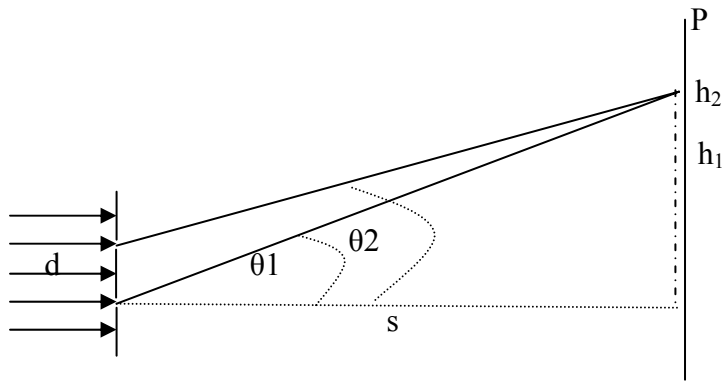
Rangkaian Penggerak Motor Steper

Rangkaian penggerak motor stepper dibuat menggunakan beberapa komponen dasar elektronika, yaitu transistor BC 108, resistor 10 K Ω dan dioda 1N4001 (lihat gambar 2). Dengan rangkaian ini, gerak motor stepper dapat dikontrol melalui komputer. Motor stepper yang digunakan adalah jenis unipolar yang mempunyai 200 step dalam 1 putaran, sehingga sudut setiap 1 step adalah

$$\text{sudut setiap 1 step} = \frac{360^\circ}{\text{jumlah step dalam 1 putaran}} = \frac{360^\circ}{200} = 1,8^\circ \quad (2)$$



Gambar 2. Rangkaian pengendali motor stepper



Gambar 3. Cahaya yang didifraksikan oleh grating

Port data D0 (pin 2) hingga D3 (pin 5) pada port printer dapat digunakan sebagai *interface* untuk memberikan sinyal masukan berupa tegangan (arus listrik) kepada rangkaian pengendali agar menggerakkan motor stepper. (Putra, 2002; Sutadi, 2003). Pemberian masukan ini dilakukan secara bergantian dan berulang-ulang sesuai kebutuhan (pemilihan panjang gelombang). Software yang digunakan untuk mengendalikan rangkaian penggerak motor stepper adalah Turbo Pascal 6.

Perhitungan Pergeseran Celah untuk Memilih Panjang Gelombang Cahaya

Untuk membuat program agar motor stepper mampu menggerakkan celah guna memilih panjang gelombang cahaya biru, maka haruslah diperhitungkan terlebih dahulu sudut yang dihasilkan oleh cahaya yang diuraikan oleh grating terhadap normal grating. Fenomena difraksi cahaya oleh grating transmisi ditunjukkan seperti gambar 3. Pada layar P dapat ditangkap pola-pola difraksi cahaya yang mengalami interferensi cahaya akibat percampuran cahaya-cahaya difraksi dari kisi-kisi grating. Pola terang menandakan terjadi interferensi maksimum dan berlaku persamaan sebagai berikut (Pedroti, 1993):

$$\lambda n = d_n \sin \theta \quad (3)$$

Keterangan :

λ = panjang gelombang cahaya yang diinginkan (nm)

d = jarak antar celah (m)

θ = sudut yang dibentuk oleh cahaya monokromatik terhadap sudut datang cahaya polikromatik

n = orde difraksi (0, 1, 2, ...)

h = jarak antara warna monokromatik dengan beda 5 nm

s = jarak grating dengan layar (m)

Berdasarkan persamaan 3 dapat dihitung sudut difraksi untuk tiap-tiap panjang gelombang cahaya yang berbeda. Selain itu, sesuai dengan gambar 3 maka dapat pula dihitung posisi atau jarak cahaya biru pada layar P untuk panjang gelombang yang berbeda terhadap posisi sudut normal orde 0 dengan menggunakan persamaan :

$$h = \tan \theta \cdot s \quad (4)$$

Misalkan panjang gelombang yang ingin dianalisis antara $\lambda_1 = 450$ nm dan $\lambda_2 = 455$ nm dan tetapan kisi difraksi yang digunakan sebesar $d = 300$ lines/mm, maka

$$\sin \theta = \frac{450 \text{ nm}}{\frac{1}{300} \text{ mm}} \qquad \sin \theta = \frac{455 \text{ nm}}{\frac{1}{300} \text{ mm}}$$

$$\theta_1 = 7,50^\circ \qquad \theta_2 = 7,58^\circ$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapat sudut yang dibentuk oleh cahaya monokromatik dan dapat digunakan untuk mencari jarak antara panjang gelombang cahaya berbeda λ_1 dan λ_2 yang ditangkap pada layar P berjarak 10 cm dari grating dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h_1 = \tan \theta \cdot s &= (\tan 7,50^\circ) (10 \text{ cm}) & h_2 &= (\tan 7,58^\circ) (10 \text{ cm}) \\ &= 1,316256 \text{ cm} & &= 1,331652 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dengan demikian diperoleh $\Delta h = 1,331652 \text{ cm} - 1,316256 \text{ cm} = 0,015 \text{ cm} = 0,15 \text{ mm}$. Jadi jarak antar panjang gelombang yang tampak pada layar P dalam selisih 5 nm sebesar 0,15 mm.

HASIL dan PEMBAHASAN

Spektrum Cahaya Biru

Dengan mengubah-ubah jarak antar komponen optik monokromator diperoleh spektrum cahaya biru yang cerah dan lebar seperti pada gambar 4. Warna biru ditangkap pada layar putih di posisi celah 2 mempunyai lebar sebesar 2,75 mm. Sedangkan jarak antar komponen optik monokromator setelah diperoleh spektrum warna biru tersebut adalah sebagai berikut:

- sumber cahaya LED putih – lensa 1 = 10 cm,
- lensa 1 – celah 1 = 5 cm,
- celah 1 – lensa 2 = 15 cm,
- lensa 2 – grating = 11 cm dan
- grating – celah 2 (layar) = 10 cm.



Gambar 4. Spektrum cahaya biru hasil monokromator

(sumber http://id.wikipedia.org/wiki/Spektrum_optik)

Spektrum atau komposisi cahaya biru yang dihasilkan ternyata cukup sesuai, yaitu dibandingkan dengan standar spektrum cahaya biru seperti pada gambar 5. Dengan kecerahan dan lebar spektrum cahaya biru seperti gambar 4, maka sudah dapat digunakan sebagai sumber cahaya biru yang panjang gelombangnya dapat dipilih/diatur menggunakan sebuah celah sempit. Karena cahaya biru memiliki lebar 2,75 mm, maka lebar celah 2 untuk memilih panjang gelombang dengan beda 5 nm adalah selebar 0,275 mm ($2,75 \text{ mm}/10$).



Gambar 5. Spektrum cahaya lengkap (sebagai standar)

Perhitungan Pergeseran Celah 2 untuk beda Panjang Gelombang Cahaya 5 nm

Monokromator pada penelitian ini telah menghasilkan spektrum cahaya biru lengkap. Spektrum terdiri atas cahaya-cahaya monokromatik dengan sudut yang berlainan sesuai dengan panjang gelombang cahayanya. Cahaya-cahaya monokromatik terbentuk karena terdifraksi oleh grating yang memiliki banyak celah, dalam hal ini 300 lines/mm. Sedangkan jarak antara grating dengan celah keluar yang menghasilkan spektrum cahaya biru optimal adalah pada jarak 10 cm. Dengan jarak 10 cm antara grating dengan celah keluar, spektrum yang dihasilkan terdiri atas beberapa orde. Pada penelitian ini spektrum cahaya biru yang dipakai adalah orde 1. Ini dikarenakan cahaya pada orde 1 memiliki kecerahan warna yang paling terang dan spektrum cahaya cukup lebar (2,75 mm) dibanding dengan spektrum orde lainnya (orde 2, 3 dan seterusnya).

Berdasarkan perhitungan sudut yang dibentuk cahaya-cahaya monokromatik menggunakan persamaan 3 dan jarak antara grating dengan celah pada orde 1, maka jarak (posisi) panjang gelombang cahaya biru pada layar untuk setiap beda 5 nm dapat diperoleh. Tabel 1 menampilkan hasil perhitungan jarak setiap beda panjang

gelombang cahaya 5 nm cahaya biru. Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa menurut perhitungan, lebar cahaya biru adalah selebar 1,5 mm dan jarak panjang gelombang cahaya biru pada spektrum setiap 5 nm adalah tetap sebesar 0,15 mm.

Tabel 1. Jarak setiap beda panjang gelombang sebesar 5 nm

No	λ (m)	d (m)	ϕ	Jarak grating & celah 2 (cm)	Δh (cm)
1	4.35E-07	3.333E-06	7,50	10	0,015
2	4.40E-07	3.333E-06	7,58	10	0,015
3	4.45E-07	3.333E-06	7,67	10	0,015
4	4.50E-07	3.333E-06	7,76	10	0,015
5	4.55E-07	3.333E-06	7,84	10	0,015
6	4.60E-07	3.333E-06	7,93	10	0,015
7	4.65E-07	3.333E-06	8,02	10	0,015
8	4.70E-07	3.333E-06	8,10	10	0,015
9	4.75E-07	3.333E-06	8,19	10	0,015
10	4.80E-07	3.333E-06	8,28	10	0,015

Keterangan:

- λ = panjang gelombang cahaya
d = jarak celah dalam diffraction grating
 ϕ = sudut hasil difraksi
 Δh = selisih jarak panjang gelombang cahaya

Namun lebar cahaya biru yang dihasilkan oleh monokromator pada layar di posisi celah 2 adalah 2,75 mm. Ini berarti terdapat perbedaan lebar cahaya biru selebar 1,25 mm. Perbedaan lebar cahaya biru disebabkan karena pada monokromator hasil rancangan, penggunaan lensa 2 membuat cahaya yang masuk ke *diffraction grating* tidak paralel, tetapi konvergen (fokus) menuju ke suatu titik pada grating sehingga keluar annya sebagai hasil difraksi menjadi melebar. Dengan lebar cahaya biru 2,75 mm dan lebar celah 0,275 untuk memilih panjang gelombang cahaya dalam range 5 nm serta menetapkan panjang gelombang 435 nm sebagai titik awal cahaya biru, maka jarak atau posisi panjang gelombang 440 nm sampai dengan panjang gelombang 480 nm terhadap panjang gelombang 435 nm setiap kelipatan 5 nm adalah 0,275 mm, 0,550 mm, 0,825 mm, 1,100 mm, 1,375 mm, 1,650 mm, 1,925 mm, 2,200 mm dan 2,475 mm.

Berdasarkan jarak panjang gelombang cahaya biru di atas, dilakukan pergeseran celah 2 untuk memilih panjang gelombang cahaya biru dengan beda 5 nm. Pergeseran dilakukan 5 kali dan diukur pergeserannya menggunakan jangka sorong. Hasil pengukuran pergeseran celah 2 selengkapnya seperti pada tabel 2. Sesuai hasil pengukuran pada tabel 2, dapat dikatakan bahwa jarak pergeseran celah selama 5 kali perlakuan dan pengukuran selalu konsisten dan tidak ada perubahan. Hal ini dikarenakan sudut yang dimiliki oleh

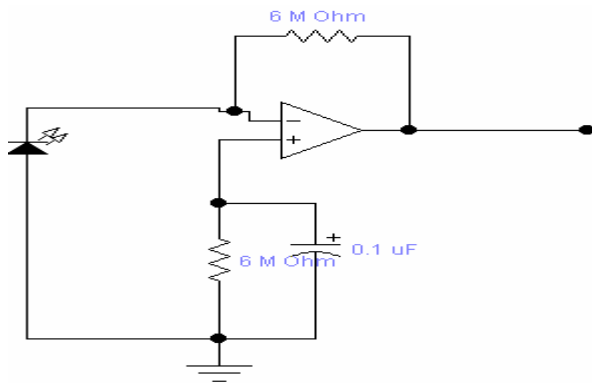
stepper motor per langkahnya tetap sebesar $1,8^\circ$ sehingga pergeserannya juga tetap meski dilakukan beberapa kali.

Tabel 2. Jarak pergeseran celah 2 oleh motor stepper untuk memilih panjang gelombang

λ (nm)	Pergeseran teori (mm)	Pengukuran pergeseran ke-				
		1	2	3	4	5
435	0	0	0	0	0	0
440	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275
445	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550
450	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825
455	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
460	1,375	1,375	1,375	1,375	1,375	1,375
465	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650
470	1,925	1,925	1,925	1,925	1,925	1,925
475	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200
480	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475	2,475

Tanggapan Sensor Fotodioda Terhadap Spektrum Cahaya Biru

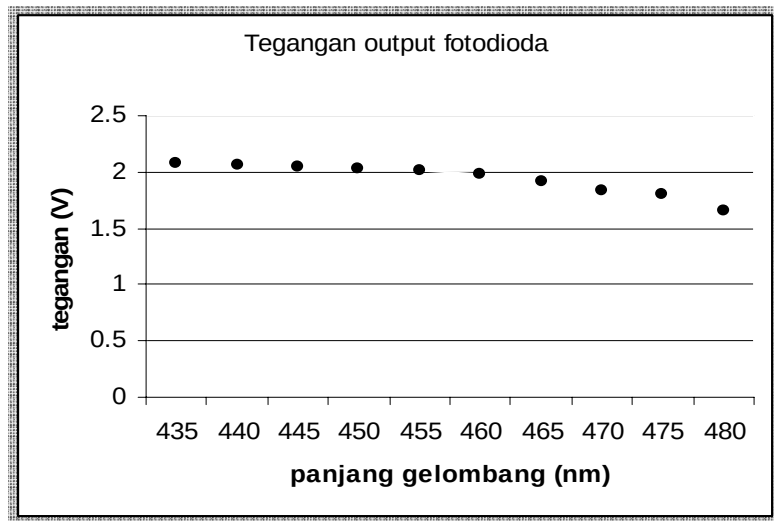
Fotodioda merupakan sensor peka cahaya. Sensor fotodioda dapat digunakan untuk menguji apakah sensor memberikan tanggapan tegangan keluaran yang berbeda terhadap penembakan cahaya biru pada panjang gelombang yang berbeda pula, dari 435 nm hingga 480 nm. Jika tanggapan sensor berbeda maka pergeseran celah 2 setiap langkah 0,275 mm untuk memilih panjang gelombang dengan beda 5 nm telah berhasil baik. Pemilihan panjang gelombang cahaya biru dikontrol melalui komputer dengan cara menembakkan cahaya biru setiap 5 nm pada fotodioda. Sensor fotodioda dirangkai dengan pengkondisi sinyal seperti gambar 6 (Anonymous (c), 1995)



Gambar 6. Rangkaian Pengkondisi Sinyal Fotodioda

Berdasarkan penelitian diperoleh bahwa sensor fotodioda yang ditembak dengan cahaya biru menghasilkan tegangan keluaran. Nilai tegangan keluaran dipengaruhi oleh besarnya panjang gelombang cahaya biru yang ditembakkan. Ketika panjang gelombang cahaya biru 435 nm ditembakkan pada fotodioda, tegangan output fotodioda adalah 2,07 volt, dan ketika panjang gelombang cahaya biru 440 nm ditembakkan pada fotodioda, tegangan output fotodioda mengecil menjadi 2,06 volt. Begitu juga

dengan hasil penembakan untuk panjang gelombang cahaya makin besar maka tegangan keluaran fotodioda semakin kecil. Hal ini sesuai dengan konsep energi foton bahwa foton (paket-paket cahaya) memiliki energi yang tergantung pada frekuensinya ($E = hf$). Semakin besar frekuensi, yang berarti panjang gelombang makin kecil, maka semakin besar energi fotonnya. Akibatnya arus foto pada fotodioda semakin besar dan tegangan keluaran sensor fotodioda makin besar pula. Hasil lengkap tanggapan fotodioda terhadap spektrum cahaya biru ditunjukkan pada gambar 7 dan Tabel 3.



Gambar 7. Tanggapan tegangan keluaran fotodioda terhadap spektrum cahaya biru.

Tabel 3. Tegangan keluaran fotodioda pada spektrum cahaya biru

Panjang gelombang (nm)	Tegangan output fotodioda (V)
435	2.07
440	2.06
445	2.04
450	2.03
455	2.01
460	1.98
465	1.91
470	1.83
475	1.80
485	1.66

Dengan adanya perubahan tegangan fotodioda ketika ditembakkan cahaya biru dengan panjang gelombang yang berbeda, maka dapat dikatakan bahwa monokromator yang dibuat sudah bekerja dengan baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Grating ukuran 300 lines/mm mampu menguraikan cahaya putih kedalam 6 warna cahaya monokromatik, yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru dan ungu dan dalam beberapa orde
2. Spektrum cahaya biru yang optimal dihasilkan monokromator mempunyai lebar 2,75 nm.
3. Jarak atau posisi cahaya biru dengan beda panjang gelombang 5 nm yang dihasilkan monokromator adalah sebesar 0,275 mm
4. Monokromator dengan bandwidth 5 nm dapat direalisasikan dengan menggunakan sebuah komputer, motor stepper, sumber cahaya putih LED, 2 buah lensa cembung dengan jarak fokus 10 cm dan grating transmisi ukuran 300 lines/mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian penulis yang didanai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (DP3M) Dirjen Dikti melalui Proyek Penelitian Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2007. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (DP3M) Dirjen Dikti atas dukungan biayanya sehingga penelitian ini dapat berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous (a), 2007, *Monochromator and Modules*, Optometrics LLC, Nemco Way, Ayer, Massachusset, USA.
- Anonymous (b), 2007, *Spectroscopy – Products Catalog*, Techcomp Limited, Singapore.
- Anonymous (c), 1995, *Photodiode Monitoring With Op-Amps*, Burr-Brown, Tucson.
- Bender, G. T., 1987, *Principles of Chemical Instrumentation*, W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Chsistian, Garry D., 1994, *Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons, Inc., Toronto.
- Lerner, J.M. and Thevenon, A., 2006, *The Optics of Spectroscopy – A Tutorial*, Horiba Scientific.
- Pedrotti, F. L., 1993, *Introduction to Optics*, Prentice-hall, Inc, New Jersey.

- Putra, A. E., 2002, *Teknik Antarmuka Komputer*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Skoog, D.A., West, D.M. and Holler, F.J, 1996, *Fundamentals of Analytical Chemistry*, Saunders College Publishing, Orlando.
- Sutadi, D., 2003 *I/O Bus & Motherboard*, Penerbit Andi, Yogyakarta.

SISTEM PRACETAK SAMBUNGAN-KERING UNTUK PERTEMUAN BALOK-KOLOM

BAYZONI

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung
Telp: (0721) 788217; Fax : (0721) 704947

ABSTRAK

Teknologi beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*off-site fabrication*), terkadang komponen-komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (*pre-assembly*), dan selanjutnya dipasang di lokasi (*instalation*). Dengan demikian, sistem pracetak ini akan berbeda dengan konstuksi beton monolit pada aspek perencanaan yang tergantung atau ditentukan oleh metoda pelaksanaan dari fabrikasi, penyatuan dan pemasangannya, serta ditentukan pula oleh teknis perilaku sistem pracetak dalam hal cara penyambungan antar komponen (*joint*). Beberapa prinsip beton pracetak tersebut dipercaya dapat memberikan manfaat lebih dibandingkan beton monolit antara lain terkait dengan waktu, biaya, kualitas, *predicability*, keandalan, produktifitas, kesehatan, keselamatan, lingkungan, koordinasi, inovasi, *reuseability*, serta *relocatability* (Gibb 1999).

Pada penelitian ini dikembangkan sebuah rancangan sistem sambungan untuk pertemuan balok-kolom beton dengan menggunakan metode sambungan kering (*dry-joint*). Sistem sambungan mengadopsi sistem mur-kopel sebagai konektor.

Hasil penilitan memperlihatkan bahwa teknik desain sistem pracetak yang dilakukan memberikan hasil yang cukup memuaskan ditinjau dari performa sambungan yang ditunjukkan dari hasil uji pembebanan yang dilakukan, serta berdasarkan hasil simulasi instalasi terlihat bahwa proses pemasangan relatif mudah dan efektif

Keywords: pra-cetak, pertemuan balok-kolom, *dry-joint*.

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Biaya yang dibutuhkan untuk proses konstruksi jauh lebih besar bila dibandingkan dengan biaya pada industri manufaktur. Salah satu penyebab terjadinya hal tersebut adalah tingginya upah tenaga lapangan dan metode konstruksi yang konvensional [Winter & Nilson, 1979].

Faktor lain yang menyebabkan masih tingginya suatu harga konstruksi, yakni:

- Semakin tingginya harga bahan baku konstruksi
- Proses perancangan cenderung berlebihan (*Over Design*).

Untuk meminimalkan harga konstruksi karena faktor-faktor di atas, maka perlu dilakukan suatu terobosan baru dalam sistem konstruksi, yaitu dengan menggunakan teknologi beton pracetak yang pengembangannya mengarah pada proses industri. Pada proses industri produk yang dihasilkan dicapai dengan produksi massal yang sifatnya pengulangan.

Metode penyambungan elemen-elemen beton pra-cetak menggunakan teknologi sambungan kering hingga sekarang masih sedikit. Sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut metode penyambungan elemen beton pracetak yang menggunakan sambungan kering (*dry joint*).

2. Tujuan

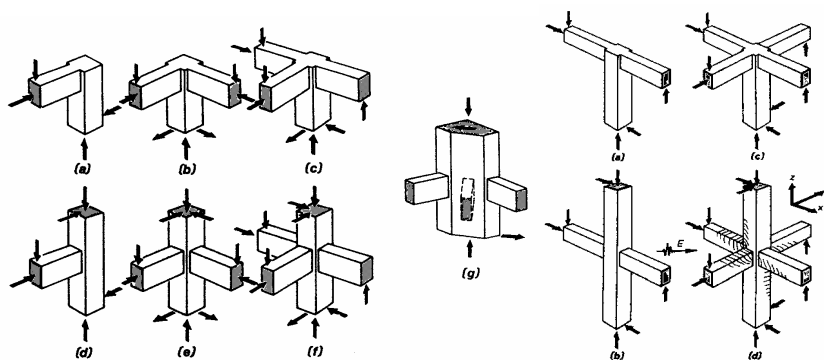
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem sambungan elemen pra-cetak jenis sambungan kering (*dry-joint*) untuk struktur open frame, yang ditinjau dari:

1. Desain sistem sambungan
2. Metode Instalasi

TINJAUAN PUSTAKA

1. Join Balok-Kolom

Join balok-kolom dapat merupakan daerah kritis dalam perancangan rangka beton bertulang yang bertujuan berespon inelastis untuk menahan gempa kuat. Sebagai konsekuensi dari momen akibat gempa pada kolom dan balok yang berlawanan tanda, maka pada join akan bekerja gaya geser horizontal dan vertikal yang memiliki nilai beberapa kali balok dan kolom yang bersebelahan [Paulay 1992]. Hal di atas dapat menyebabkan join akan mengalami kegagalan geser jika tidak dirancang dengan baik.



(a) Join balok-kolom eksterior

(b) Join balok-kolom interior

Gambar 1. Jenis join balok-kolom

Berdasarkan bentuk geometrinya join terbagi atas join eksterior (Gambar 1) dan join interior (Gambar 2). Berdasarkan perilaku join saat mengalami beban gempa, join dapat diklasifikasikan sebagai join elastis dan join inelastis.

Kategori Sambungan Pracetak

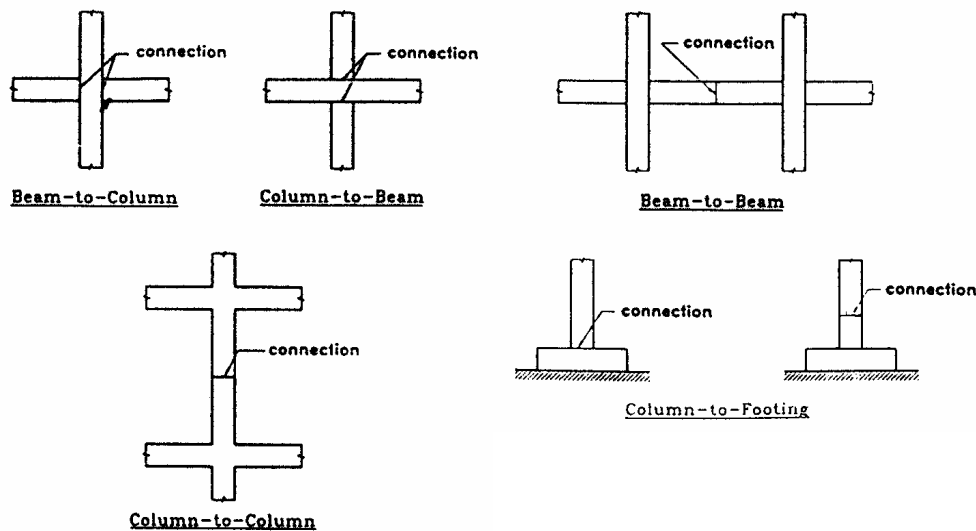
Menurut UBC dan NEHRP [Priestley 1996], pada bangunan pracetak ada dua kategori sambungan yang dapat digunakan yaitu sistem sambungan kuat dan sistem sambungan daktil.

1. Sistem Sambungan Kuat (*Strong Connection System*)

Sebuah rangka beton pracetak dapat dinyatakan memiliki sistem sambungan kuat bila semua sambungan tetap elastis selama respon gempa rencana, dan kontribusi deformasi sambungan kurang dari 10% dari perpindahan struktur total. Tipe sambungan ini terdiri dari beberapa jenis seperti terlihat pada Gambar 2 [Priestley 1996].

Pada sistem sambungan ini, lokasi sendi plastis harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

- ❖ *Sambungan balok ke kolom* : bagian kritis sendi plastis di lokasi yang berjarak tidak kurang dari h_b terhadap sambungan.
- ❖ *Sambungan kolom ke balok* : bagian kritis sendi plastis boleh di lokasi sebarang sepanjang balok diantara muka kolom.
- ❖ *Sambungan balok ke balok* : bagian kritis sendi plastis boleh sebarang dalam daerah sepanjang balok antara muka kolom, tetapi berjarak tidak kurang dari h_b (tinggi balok) terhadap sambungan.
- ❖ *Sambungan kolom ke kolom* : bagian kritis boleh sebarang dalam daerah sepanjang balok diantara muka kolom.
- ❖ *Sambungan kolom ke perletakan* : bagian kritis berada pada kolom bagian bawah dengan jarak lokasi tidak kurang dari h_c (lebar kolom dalam arah yang ditinjau) dari sambungan kolom ke perletakan.



Gambar 2. Jenis-jenis tipe sambungan kuat

2. Sistem Sambungan Duktail (*Ductile Connection System*)

Sebuah rangka beton pracetak dapat dinyatakan memiliki sistem sambungan duktail bila deformasi inelastis dipusatkan pada daerah sambungan, dan balok hingga sambungan tetap elastis [Priestley 1996].

Ada empat kategori sambungan duktail, yaitu :

1. Sambungan elastis nonlinier
2. Sambungan akibat runtutan leleh dari aksial tarik dan tekan
3. Sambungan akibat leleh geser
4. Sambungan akibat penambahan redaman

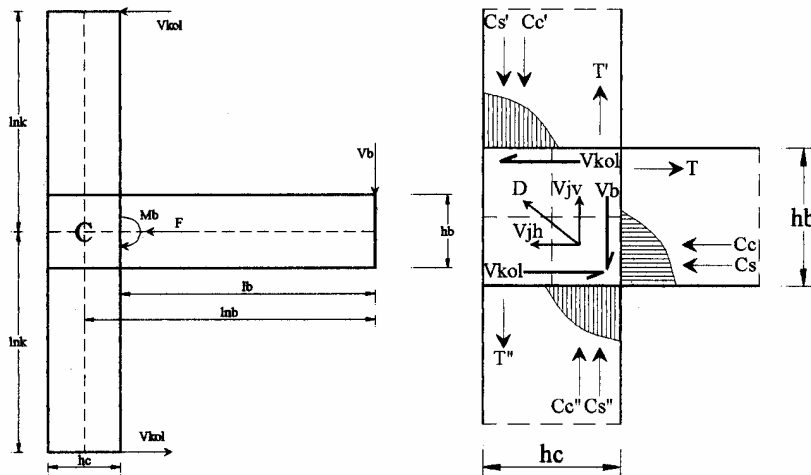
Kriteria Desain dan Mekanisme Join Balok Kolom

Kriteria desain yang disarankan pada saat perencanaan join balok kolom adalah :

- ❖ Kekuatan join minimal harus sama dengan bagian-bagian struktur pembentuk join tetapi harus lebih kuat dari sendi plastis. Hal ini diperlukan untuk mengeliminasi daerah yang tidak dapat dimasuki pada saat perbaikan, mengusahakan disipasi energi yang baik pada daerah join serta pengurangan kekakuan pada saat pembebanan siklik.
- ❖ Kekuatan kolom harus lebih kuat dari pada balok.

- ❖ Selama pembebanan seismik, join direncanakan berdeformasi elastis yang berarti juga deformasi join tidak boleh memperbesar simpangan antar tingkat dan tidak terjadi kerusakan akibat geser.
- ❖ Peraturan penulangan join tidak boleh menimbulkan kerumitan dalam perancangan.

Pada *exterior beam-column joint* bekerja mekanisme gaya-gaya seperti tampak pada Gambar 3.



(a) Mekanisme gaya pada join eksterior (b) Gaya-gaya yang bekerja pada inti join

Gambar 3. Mekanisme Gaya

Dari kesetimbangan momen di titik C (Gambar 3a), diperoleh :

$$V_{kol} = \frac{2M_b + V_b \cdot h_c}{4l_{nk}} \quad \text{Pers. 1}$$

Dari kesetimbangan gaya-gaya diperoleh :

$$V_{jh} = T - V_{kol} \quad \text{Pers. 2}$$

dalam hal ini: $T = A_s \cdot f_s$

V_{kol} = gaya geser kolom

sedangkan gaya geser vertikal pada join (Gambar 3b):

$$V_{jv} = T'' + C_c' + C_s' = T' + C_c'' + C_s'' - V_b \quad \text{Pers. 3}$$

dalam hal ini: T' = gaya tarik baja pada kolom atas

T'' = gaya tarik baja pada kolom bawah

C_c' = gaya tekan beton pada kolom atas

C_c'' = gaya tekan beton pada kolom bawah

C_s' = gaya tekan baja pada kolom atas

C_s'' = gaya tekan baja pada kolom bawah

Gaya geser vertikal juga dapat diperoleh dari persamaan :

$$V_{jv} = \frac{h_c}{h_b} \cdot V_{jh} \quad \text{Pers. 4}$$

Konsep Desain Join Balok-Kolom menurut SK SNI

Menurut SK SNI T-15-1991-03, perhitungan join balok kolom harus memperhitungkan analisis rasional gaya-gaya yang melewati inti join seperti pada Gambar 3 diatas, dimana:

$$V_{kol} = 0.7 \left(\frac{2M_b + V_b \cdot h_c}{4l_{nk}} \right) \quad \text{Pers. 5}$$

$$T = 0.7(1,25A_s \cdot f_y) \quad \text{Pers. 6}$$

Kuat geser join ditentukan dari superposisi dua mekanisme yaitu *diagonal strut action* dari beton dan *panel truss action* dari baja, yaitu :

$$V_{jh} = V_{ch} + V_{sh} \quad \text{Pers. 7}$$

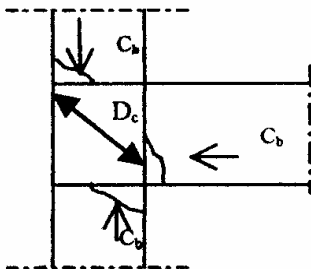
$$V_{jv} = V_{cv} + V_{sv} \quad \text{Pers. 8}$$

dimana :

subscript c adalah kontribusi dari *concrete strut*.

subscript v adalah kontribusi dari mekanisme rangka.

Mekanisme *diagonal strut action* terbentuk karena kontribusi beton C_b pada balok dan C_c pada kolom membentuk gaya diagonal strut D_c . Komponen gaya horizontal dari D_c adalah V_{ch} .



Gambar 4. Mekanisme *diagonal strut action*

Nilai V_{ch} harus diambil sama dengan nol kecuali bila tegangan tekan rata-rata minimal pada penampang bruto kolom beton diatas join termasuk tegangan prategang melebihi $0,1 \times f'_c$, maka V_{ch} diambil :

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \left(\sqrt{\left[\frac{N_{u,k}}{A_g} \right] - 0,1.f_c'} \right) . h_b . h_c \quad \text{Pers. 9}$$

Luas total efektif tulangan geser horizontal yang melewati bidang kritis diagonal di daerah tekan join efektif b_j tidak boleh kurang dari :

$$A_{jh} = \frac{V_{jh}}{f_y} \quad \text{Pers. 10}$$

Sementara itu *panel truss action* terbentuk akibat transfer geser melalui tulangan. Mekanisme ini berfungsi untuk mengimbangi jumlah gaya lekat yang harus disalurkan oleh tulangan balok dan kolom kepada beton inti join.

Setelah terjadi retak diagonal, maka suatu *shear flow* disekeliling penampang akan membentuk daerah-daerah tekan diagonal. Strat-strat diagonal akan segera memikul tegangan-tegangan tekan apabila gaya-gaya kekang vertikal dan horizontal pada tepi-tepi inti join dapat dijamin bekerja.

Untuk itu diperlukan tulangan geser horizontal guna menjamin adanya gaya kekang horizontal pada tepi join. Sementara gaya kekang vertikal pada inti join dijamin oleh adanya gaya tekan kolom. Kegagalan mekanisme akibat keruntuhan lekatan tulangan utama dapat mengakibatkan hanya berfungsinya mekanisme pertama.

Tulangan geser harus dapat memikul gaya geser rencana kolom yang melewati ujung-ujung bidang keruntuhan potensial.

$$V_{sh} = V_{jh} - V_{ch} \quad \text{Pers. 11}$$

$$V_{sv} = V_{jv} - V_{cv} \quad \text{Pers. 12}$$

dimana :

$$V_{cv} = \frac{A_s'}{A_s} . V_{jv} . \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g . f_c'} \right) \quad \text{Pers. 13}$$

Luas total efektif tulangan geser horizontal yang melewati bidang kritis diagonal dan yang diletakkan di daerah lebar join efektif h_b tidak boleh kurang dari

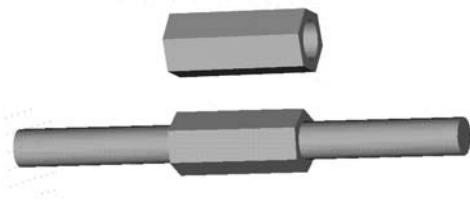
$$A_{sh} = \frac{V_{sh}}{f_y} \quad \text{Pers. 14}$$

METODE PENELITIAN

Rancangan Sambungan

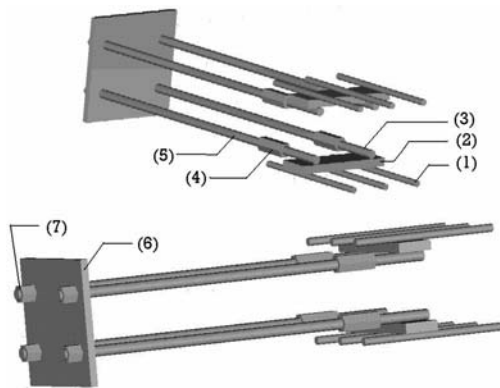
Untuk membentuk salah satu sistem sambungan seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, telah dicoba untuk membuat sistem

sambungan mekanis berupa mur-kopel seperti terlihat pada Gambar 5.



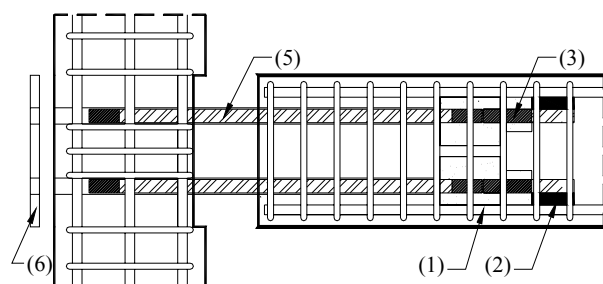
Gambar 5. Sambungan Mekanis

Jika diterapkan pada joint balok kolom eksterior maka rancangan keseluruhan sistem membentuk seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Sambungan Join Balok-Kolom Eksterior

Rancangan teknis sambungan balok-kolom eksterior dengan sistem sambungan ini ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 7. Rancangan Teknis Sambungan Join Balok-Kolom

Dengan memperhatikan Gambar 6 dan Gambar 7 dapat diberikan penjelasan sebagai berikut:

Gaya tarik/tekan pada tulangan-balok (1) melalui pelat-kopel (2) disalurkan ke tulangan-penyambung-tetap (3). Gaya-gaya ini kemudian disalurkan ke tulangan-penyambung-bebas (5) melalui mur-kopel (4).

Pelat-kopel bermanfaat untuk menyatukan jumlah tulangan-balok yang berbeda dengan jumlah tulangan-penyambung.

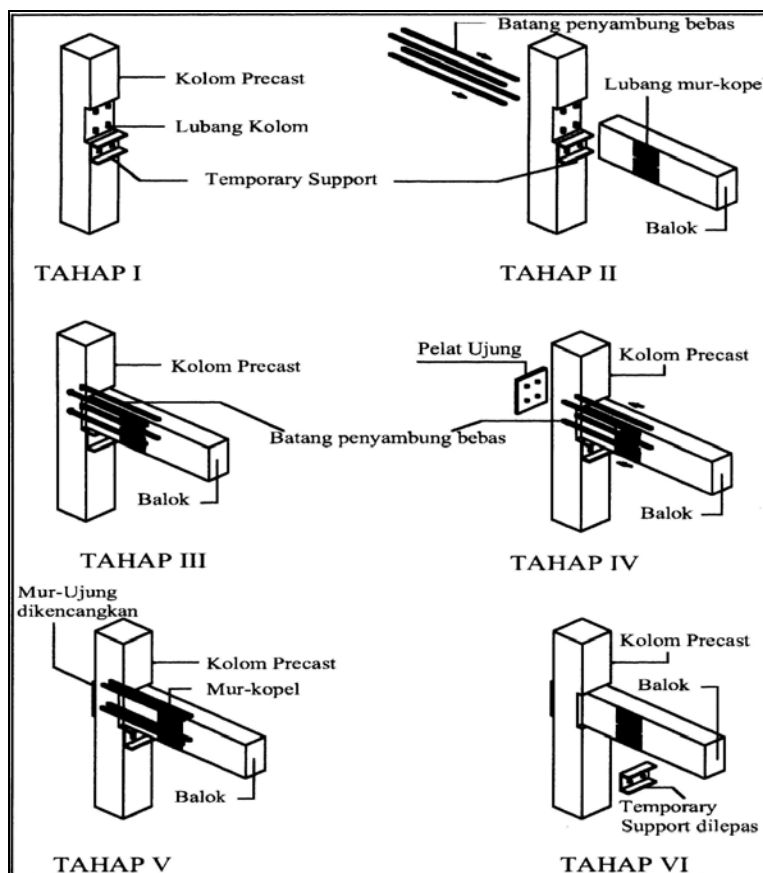
Untuk menyesuaikan kekuatan/kapasitas tulangan-penyambung maka sebagai parameter variasi adalah jumlah tulangan, diameter tulangan, dan mutu baja.

Pelat kopel dan tulangan-penyambung-tetap dipasang pada tulangan balok dengan menggunakan las sebelum proses pengecoran berlangsung. Pada proses ini posisi tulangan-penyambung-tetap harus terpasang presisi sehingga memungkinkan untuk disambung pada tulangan-penyambung-bebas dengan mur-kopel. Pelat ujung (6) diperlukan khusus pada sambungan balok-kolom eksterior, yang bersama-sama mur (7) membentuk *beam stub*.

Metode Instalasi Join Balok-Kolom Pracetak

Langkah proses instalasi balok-kolom berikan pada Gambar 8.

Kolom dipasang terlebih dahulu, kemudian memasang *temporary support*. *Temporary support* merupakan alat bantu berupa baja canal yang dipasang dengan menggunakan baut pada kolom, yang berfungsi untuk meletakkan balok sehingga proses pemasangan sambungan dapat berjalan dengan baik.



Gambar 8. Proses instalasi join balok kolom pracetak

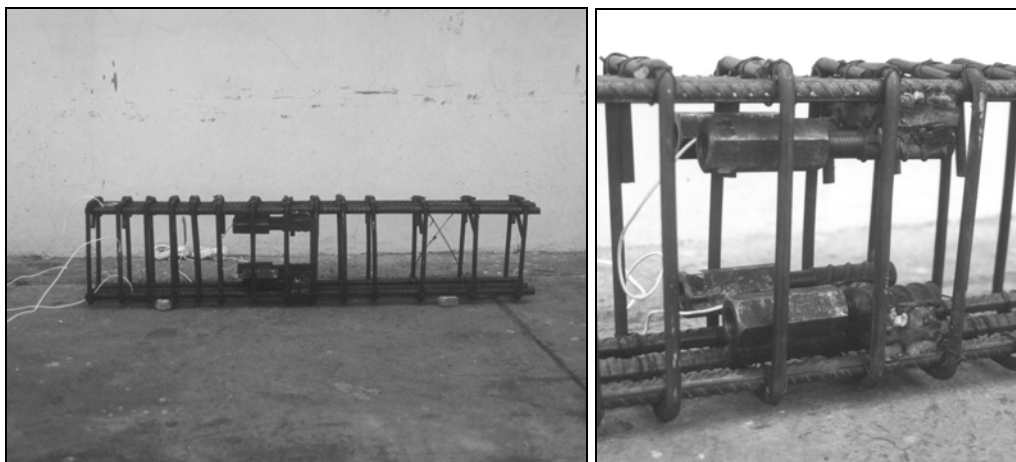
Adapun langkah-langkah instalasi elemen pracetak balok pada kolom adalah sebagai berikut :

1. Balok diletakkan pada *temporary support*, dan dimasukkan ke dalam celah/takikan pada kolom
2. Kemudian batang-penyambung-bebas dimasukkan kedalam kolom hingga ke balok
3. Mur-kopel dipasang melalui celah yang terdapat pada sisi kiri dan kanan balok
4. Pelat-ujung dipasang dan dikencangkan dengan memasang mur, kemudian dilanjutkan dengan proses *grouting*
5. *Temporary support* dilepas

HASIL dan PEMBAHASAN

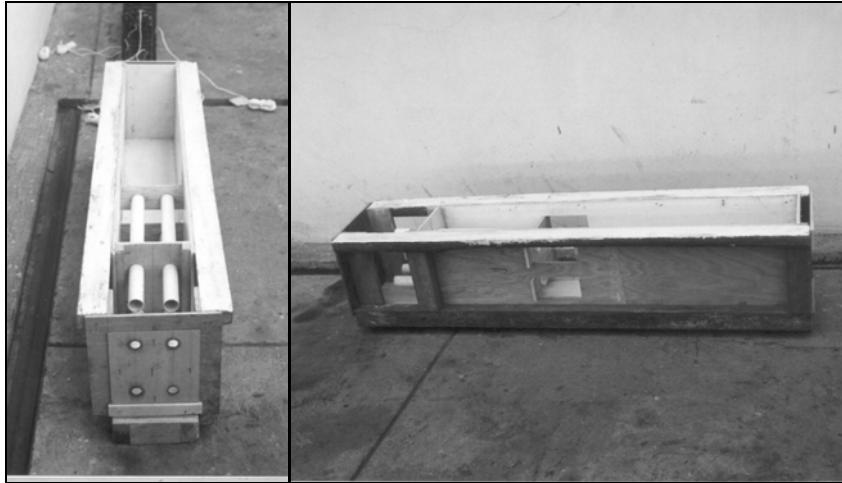
Implementasi Sistem Sambungan

Implementasi dari sambungan yang didesain diberikan dalam Gambar 9. Alat sambung yang berupa mur-kopel dipasang dengan menggunakan metode pengelasan terhadap tulangan utama. Mur-kopel dipasang pada bagian tulangan atas dan tulangan bawah untuk menjamin terjadinya momen dalam arah yang berbalik atau *reversal-loading* yang dimungkinkan terjadi pada beban gempa. Lokasi pemasangan/titik pengelasan ditempatkan diluar lokasi sendi plastis [Bayzoni 2006] untuk menghindari terjadinya kegagalan leleh pada sambungan.



Gambar 9. Sambungan mur-kopel pada tulangan balok.

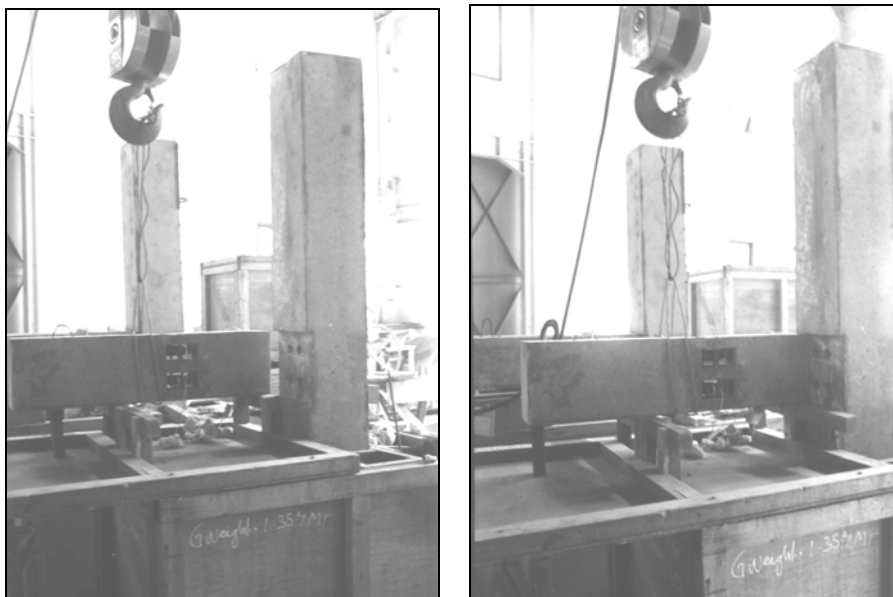
Desain bekisting sistem pracetak merupakan salah-satu bagian yang sangat menentukan terhadap sistem sambungan yang didesain, karena desain bekisting merupakan bagian dari metode fabrikasi elemen secara berulang dan cepat. Gambar desain bekisting diberikan pada Gambar 10.



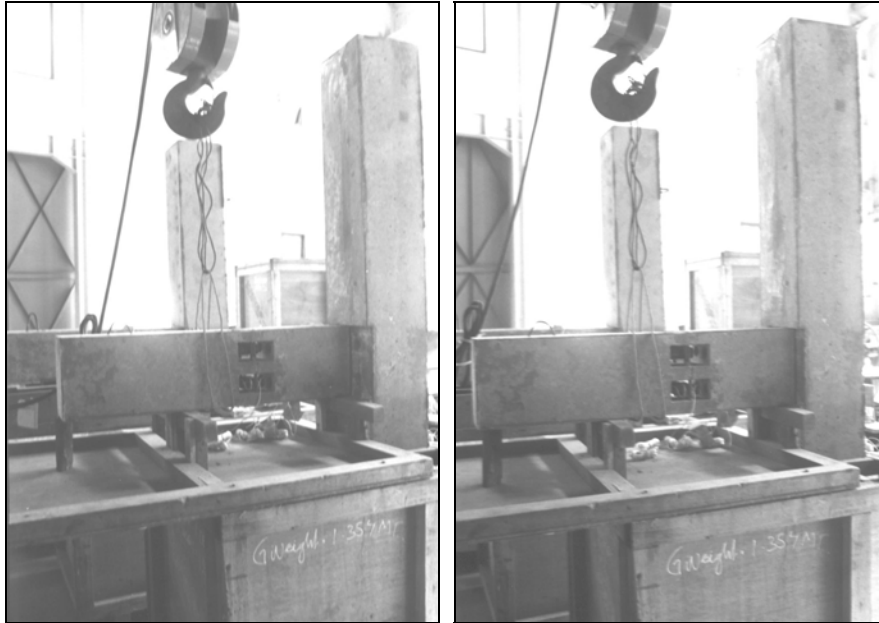
Gambar 10. Bekisting balok pracetak

Implementasi Proses Instalasi

Simulasi pelaksanaan proses instalasi dilaksanakan untuk memberikan gambaran tentang tingkat kemudahan dan kecepatan proses instalasi sistem sambungan yang dikembangkan. Proses instalasi diawali dengan pemasangan kolom pada lokasi yang dikehendaki. Balok yang akan disambung dengan kolom disiapkan disekitar kolom (Gambar 11). Metode pemasangan balok dilakukan dengan melakukan pendekatan dari samping/sisi sehingga balok masuk pada lubang pada kolom yang juga berfungsi sebagai tumpuan sementara balok (Gambar 12). Setelah balok diletakkan pada celah kolom, pada dasarnya alat angkat/crane sudah bisa dilepas untuk pemasangan pada lokasi yang lain.

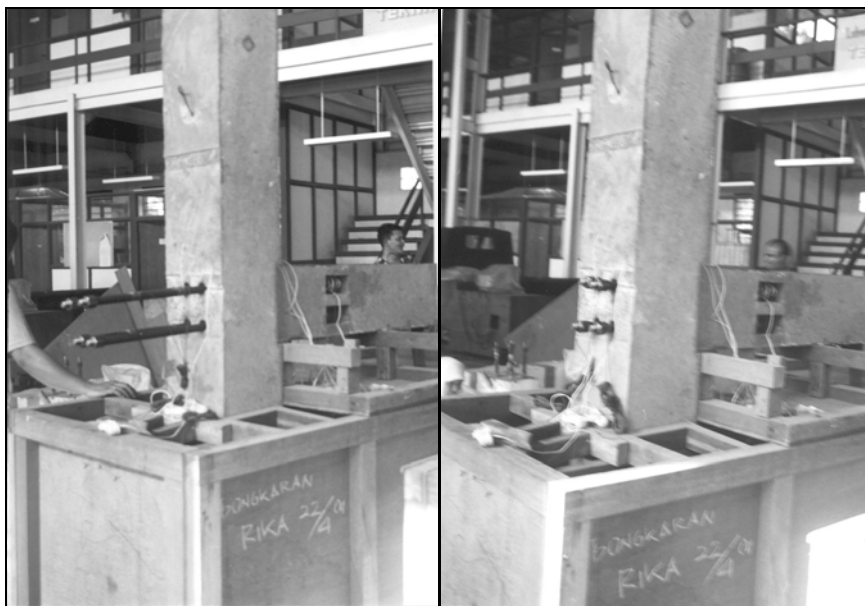


Gambar 11. Pemasangan kolom dan persiapan balok dari arah sisi

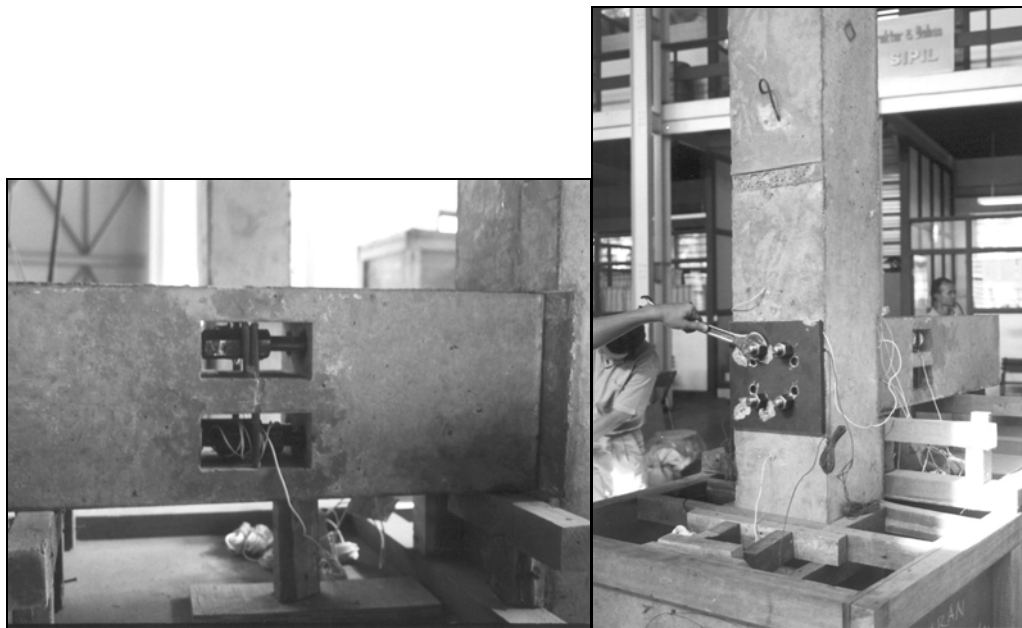


Gambar 12. Balok digeser perlahan hingga posisinya tepat

Pemasangan alat sambung diawali dengan pemasangan batang penyambung bebas (Gambar 13). Pekerjaan dilanjutkan dengan pemasangan mur kopel, pelat ujung dan pengencangan mur-ujung (Gambar 14).



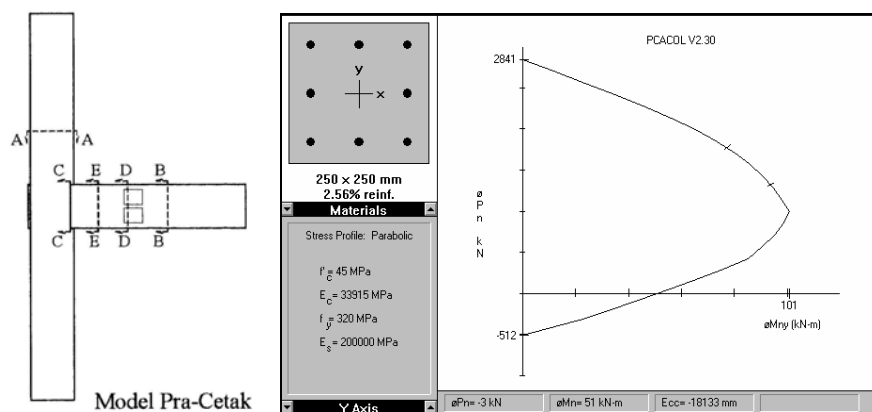
Gambar 13. Pemasangan batang-penyambung-bebas



Gambar 14. Pengencangan mur-kopel dan mur-ujung

Analisis Kapasitas Penampang Balok dan Kolom

Dengan menggunakan Program PCACOL Ver. 2.30 diperoleh kapasitas untuk setiap penampang/potongan sebagai berikut:



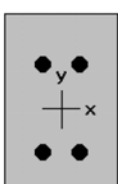
(a) Pemotongan

(b) Diagram Interaksi -N-M Kolom

Hasil perhitungan untuk potongan A-A:				
Bending about	Load, P (kN)	X-Mom. (kN-m)	Y-Mom. (kN-m)	N.A. depth (mm)
Y Pure Comp.	2841	0	0	1007.58
Balanced	987	0	101	138.26
Pure Bend.	-0	0	51	41.29

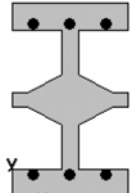
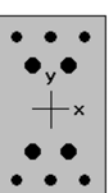
(c) Hasil Analisis

Gambar 15. Analisis Kapasitas Kolom

Potongan B-B				Potongan C-C			
	Bending about	X-Mom. (kN)	N.A. depth (mm)		Bending about	X-Mom. (kN)	N.A. depth (mm)
	X Pure Bend.	39	33.32		X Pure Bend.	40	63.11
150 x 250 mm 3.20% reinf.				150 x 250 mm 4.05% reinf.			

(a) Potongan B-B

(b) Potongan C-C

Potongan D-D				Potongan E-E			
	Bending about	X-Mom. (kN)	N.A. depth (mm)		Bending about	X-Mom. (kN)	N.A. depth (mm)
	X Pure Bend.	39	33.32		X Pure Bend.	76	64.95

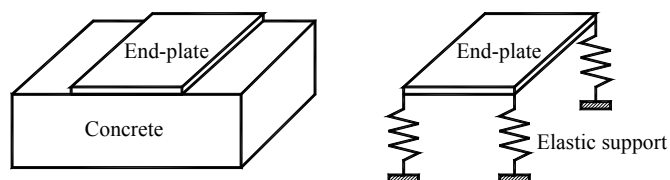
(c) Potongan D-D

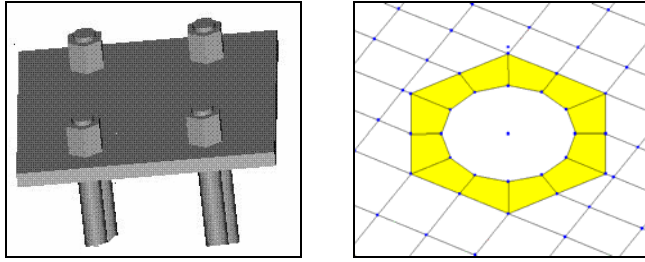
(d) Potongan E-E

Gambar 16. Analisis Kapasitas Balok**Analisis Pelat-Ujung**

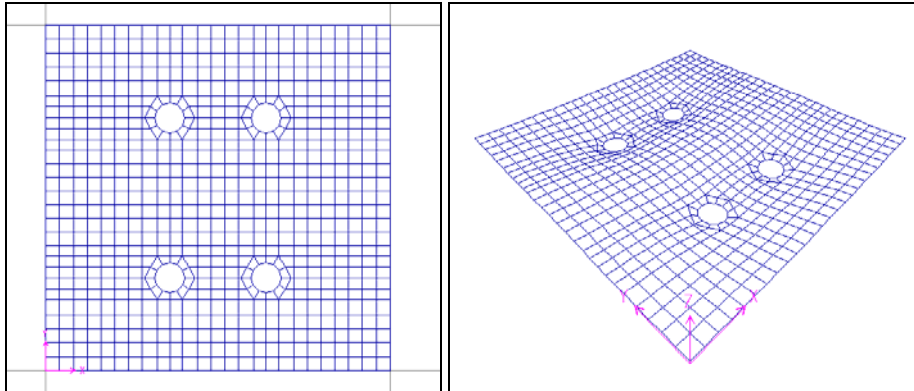
Untuk memeriksa kemampuan pelat ujung dilakukan analisis elemen hingga, dengan asumsi sebagai berikut:

1. Elemen-elemen pelat diasumsikan sebagai elemen cangkang (*shell*)
2. Karena elemen pelat menumpu pada beton, maka dalam analisis ini diasumsikan pelat terlatak pada tumpuan elastis (Gambar 17)
3. Gaya tarik yang bekerja pada batang penyambung ditransfer kepelat sebagai gaya yang bekerja pada area seluas bidang mur-ujung (Gambar 18)

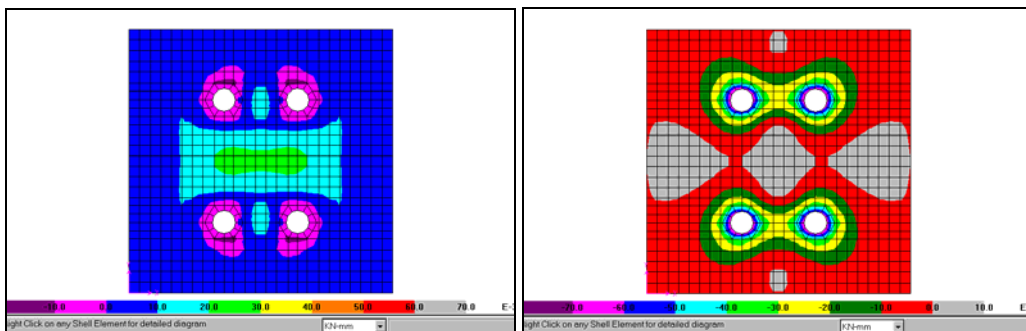
**Gambar 17. Formulasi elemen pelat yang bertumpu pada beton**



Gambar 18. Distribusi gaya pada mur ujung



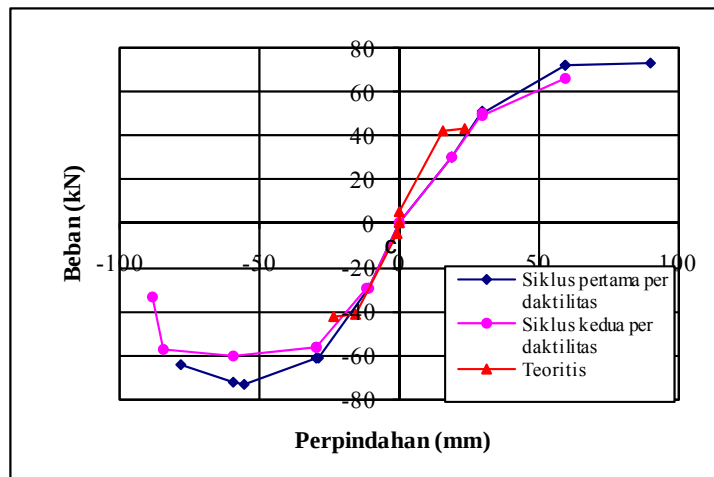
Gambar 19. Pembagian elemen dan deformasi pelat-ujung



Gambar 20. Distribusi tegangan utama maksimum dan minimum pelat-ujung

Pengujian Pembebanan

Uji pembebanan dilakukan untuk melihat kapasitas sambungan yang telah didesain. Hasil pengujian diperoleh kurva beban-perpindahan (Gambar 21). Pada gambar tersebut terlihat bahwa kapasitas yang dimiliki lebih besar dari kapasitas yang direncanakan.



Gambar 21. Kurva beban perpindahan

KESIMPULAN

Dari hasil-hasil yang diperoleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Teknik desain sistem pracetak yang dilakukan memberikan hasil yang cukup memuaskan ditinjau dari performa sambungan yang ditunjukkan dari hasil uji pembebanan yang dilakukan.
2. Berdasarkan hasil simulasi instalasi terlihat bahwa proses pemasangan relatif mudah dan efektif.
3. Sistem sambungan ini mampu memberikan kekuatan yang lebih besar dari sistem monolit tetapi memiliki kemampuan
4. Perlu dikembangkan pemakaian jenis beton alir mutu tinggi mengingat konfigurasi bekisting yang cukup rapat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, Muhamad, 2007, "Inovasi Teknologi dan Sistem Beton Pracetak di Indonesia : Sebuah Analisa Rantai Nilai, Possiding Seminar dan Pameran HAKI 2007.
- Bayzoni, 2006, "Kajian Eksperimental Exterior Beam Column Joint", Jurnal Rekayasa, Vol. 10, No. 3, pp. 11 - 21.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1991, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK-SNI T-15-1991-03)", Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Gibb, A.G.F., 1997, "Off-Site Fabrication", John Wiley and Son, New York, USA.

- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R. 1988, "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No.8, pp. 1804 - 1825.
- Martinez-Rueda, J.E and Elnashai, A.S., 1997, " Confined Concrete Model Under Cyclic Load", *Material and Structures*, Vol. 30, pp. 139 - 147.
- Noguchi, H. and Kashiwazaki, R., 1997, "Finite Element Analysis of RC Beam-Column Joints with High-Strength Materials", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 5, No. 5, pp. 625-677.
- Park, R. and Milburn, J.R., 1983, " Comparison of Recent New Zealand and United States Seismic Design Provisions for Reinforced Concrete Beam-Column Joints and Test Results from Four Units Designed According to The New Zealand Code", *Bulletin of The New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, Vol. 16, No. 1, pp. 3 - 24.
- Park, R., 1990, "Precast Concrete in Seismic-Resisting Building Frames in New Zealand", *Concrete International*.
- Paulay, T., 1989, " Equilibrium Criteria for Reinforced Concrete Beam-Column Joints", *ACI Structural Journal*, pp. 635-643.
- Paulay, T. and Priestley, M.J.N., 1992, "Seismic Design of Reinforce Concrete and Masonry Buildings", John Wiley&Sons.
- Priestley, N., 1996, "Seismic Design Philosophy for Precast Concrete Frame", *Structural Engineering International*, I/96.
- Sofwan, A., Munaf, D.R., Suharwanto, dan Nuroji, 2000, "Perilaku Rambat Retak Diagonal pada Beam-Column Joint", *Jurnal Teknik Sipil*, Vol 7 No. 1, pp. 13-20.
- Warnes, C.E., 1992, " Precast Concrete Connection Details for All Seismic Zones", *Concrete International*, pp. 36 - 44.

KARAKTERISASI SILIKA SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN KERAMIK DENGAN TEKNIK SINTERING

SIMON SEMBIRING

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

ABSTRACT

In this research, silica extracted from rice husk using 5% KOH and 10% HCl solution was processed by sintering temperatures of 750, 850, 950 dan 1050°C. The physical properties *i.e* density, porosity and hardness were investigated. The samples of silica extracted were charaterised by x-ray diffraction (XRD), differential thermal analysis (DTA), thermogravimetry analysis (TGA), scanning electron microscopy (SEM) combined with energy dipersive spectroscopy (EDS). It was found that the maximum values of density and hardness were obtained at sintering temperature of 950°C. XRD results show that the formation of *crystoballite* and *trydimite* started at sintering temperature of 850°C. DTA/TGA thermographs of silica extracted indicated that thermal stability increases with increasing temperature of sintering. SEM/EDS analysis confirmed that the presence of regular particle sizes at temperatures sintering of 850 °C and 950 °C, which believed the exsistence of *crystoballite* and *trydimite* phases.

Keywords: Rice Husk, Silica, Sintering, Thermal, XRD and SEM

PENDAHULUAN

Salah satu tantangan besar yang dihadapi industri keramik dewasa ini adalah ketersediaan bahan baku (Shulka, *et.al*, 1985), yang mencerminkan besarnya tuntutan untuk pencarian sumber bahan baku, terutama sumber yang bersifat terbaharukan. Dalam konteks tantangan di atas, sekam padi yang diketahui mengandung silika, merupakan sumber bahan baku terbaharukan, yang potensinya layak untuk digali.

Gagasan pemanfaatan sekam padi sebagai sumber silika ditunjang oleh beberapa faktor yang relevan dengan pengembangan keramik berbasis silika. Kelayakan sekam padi sebagai bahan baku alternatif ditunjukkan dengan jumlahnya yang melimpah di berbagai daerah di Indonesia, khususnya di Propinsi Lampung, berkisar 300 ton/tahun (Badan Pusat Statistik, Lampung, 2004). Sekam padi diketahui mengandung silika (SiO₂) aktif dengan kadar cukup tinggi, yakni 16-20% dari sekam padi (Daifullah, *et.al*, 2004, Hamdan, *et.al*, 1997, Yalcin dan Sevinc, 2001). Disamping komponen utama silika, dalam sekam padi terdapat komponen lain, CaO, MgO, Al₂O₃ dan NaO (Siriluk dan Yuttapong, 2005) sehingga dari komposisi kimia sekam padi tersebut, dapat digunakan sebagai salah satu bahan baku keramik berbasis silika.

Faktor penunjang lainnya adalah kemudahan silika untuk diekstraksi dari sekam padi, yang dapat dilakukan dengan sederhana dan biaya relatif murah dibandingkan dengan silika mineral, diantaranya dengan metode ekstraksi dan pengabuan. Metode ekstraksi telah diterapkan oleh Daifullah, *et.al*, (2003), Daifullah, *et.al*, (2004) dengan menggunakan larutan KOH 5%, Cheng dan Chang, (1991); Riveros dan Garza, (1986) menggunakan NaOH 1 M dan dilanjutkan dengan pengendapan silika menggunakan HCl 1 M. Metode pengabuan pada suhu 700°C telah dilakukan oleh Della, *et.al*, (2002); Natarajan, *et.al*, (1998); Kalapathy, *et.al*, (2000); Ramli dan Bahruji, (2003). Dari hasil penelitian dengan menggunakan kedua metode, menunjukkan bahwa silika yang diperoleh dapat dimanfaatkan misalnya sebagai bahan baku pembuatan silikon (Ikram dan Akhter, 1988), silika-karbida (Romero dan Reinggo, 1996), silika-nitrida (Rahman, 1994), magnesium-silika (Bose, *et.al*, 1993), lithium-aluminium-silika (Chatterjee dan Naskar, 2006) dan dimanfaatkan sebagai adsorben (Kumer, *et.al*, 2001; Daifullah *et al.*, 2004), bahan filter, katalis, adhesive dan silika gel (Rahman, *et.al*, 2000; Adam dan Hann, 2004; Grisdanurak, *et.al*, 2003; Paya, *et.al*, 2001; Katsuki, *et.al*, 2005; Siriluk dan Yuttapong, 2005; Adam, *et.al*, 2006). Keragaman pemanfaatan silika sekam padi didasarkan pada sifat fisisnya yang sangat menunjang, antara lain berwarna putih, kerapatan 2,6 gr/cm³, dan mempunyai stabilitas termal yang tinggi hingga suhu 1414°C (Malik, 2002, Hamdan, *et.al*, 1997).

Berkaitan dengan sekam padi sebagai bahan keramik, sintering merupakan salah satu teknik pembakaran yang sangat penting karena dapat mengontrol karakteristik silika sekam padi meliputi, jenis kekristalan yang variatif dan densitas, porositas, ukuran partikel, luas permukaan serta kekerasan. Disamping itu, silika sekam padi dalam bentuk sol dapat diperoleh dengan mudah sehingga mempermudah pemanfaatannya dalam pembuatan keramik berbasis silika dengan tingkat homogenitas tinggi. Teknik sintering adalah suatu reaksi yang terjadi pada proses pembakaran dengan suhu yang terkontrol dan densifikasi padatan serbuk dapat diperoleh sekaligus sehingga tingkat porositas berkurang dan densitas relatif bertambah/naik. Dengan teknik ini dapat diperoleh bahan dengan densitas yang relatif tinggi. Suhu sintering sangat penting, karena berkaitan dengan perubahan struktur, sifat termal dan sifat fisis material yang dihasilkan. Hasil penelitian yang dilakukan Rahaman (1995) menunjukkan bahwa proses diffusi selama proses sintering akan memberikan efek terhadap perubahan fisis bahan meliputi, densitas, porositas, penyusutan volum dan kekerasan. serta kekuatan tarik (*mechanical strength*). Dengan pertambahan suhu sintering densitas semakin meningkat dan ukuran partikel akan tersusun dengan teratur yang mengakibatkan jumlah pori (porositas) semakin kecil, perubahan struktur, mikrostruktur dan meningkatnya kekerasan (Dorre dan Hubner, 1984).

Berdasarkan pemaparan di atas, tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakteristik silika sekam padi untuk dapat

dimanfaatkan sebagai bahan keramik melalui variasi suhu sintering meliputi densitas, porositas, kekerasan, srtuktur, mikrostruktur dan sifat termal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material, Kimia Fisik FMIPA UNILA dan Pusat Penelitian Bahan BATAN Serpong, Tangerang. Pada awalnya, sekam padi sebanyak 100 gram untuk menghilangkan bahan yang larut dalam air, dilakukan perendaman selama 6 jam dengan air panas. Ke dalam larutan KOH 5%, sekam padi dimasukkan sebanyak 50 gram dengan perbandingan 1:10 dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit dan didiamkam untuk waktu 24 jam (Daifullah, *et.al*, 2004). Kemudian, larutan disaring untuk mendapatkan filtrat yang mengandung silika terlarut. Filtrat yang diperoleh ditambahkan larutan HCl 10% secara bertahap hingga pembentukan endapan silika terhenti. Endapan selanjutnya dicuci dan disaring dengan pompa vakum sambil dibilas dengan akuades panas, hingga air pencuci bersifat netral (dipantau dengan kertas lakmus). Endapan silika yang diperoleh dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C selama 1/2 jam, digerus hingga halus dengan ukuran butir 300 mesh, kemudian disintering pada suhu 750, 850, 950 dan 1050 °C dengan heating rate 3° /min selama 16 jam. Sampel yang telah disintering, pengukuran densitas dan porositas dilakukan dengan menggunakan prinsip Archimedes (Australian Standard, 1989) sebagai berikut:

$$\rho = M_d \rho_m (1/M_s - M_i)$$

Dimana, ρ = densitas sampel (gr/cm³), ρ_m = densitas media pencelupan (gr/cm³), M_d = massa kering sampel (gr), M_s dan M_i adalah masing-masing massa sampel jenuh (massa immersi) dan massa sampel jenuh di udara (massa saturasi). Mengukur persentasi porositas (%P) dengan menggunakan persamaan:

$$\%P = (M_s - M_i) / (M_s - M_d) \times 100\%$$

Uji kekerasan dilakukan menggunakan *microhardness test*, yakni dengan menekan beberapa titik pada sampel. Nilai kekerasan dihitung dengan persamaan:

$$\text{Vickers Hardness (HV)} = (1.854 P) / d^2$$

Dimana, nilai kekerasan (HV) bahan dalam satuan Pascal (Pa), P adalah tekanan (n/m²), d = diagonal penekanan (m).

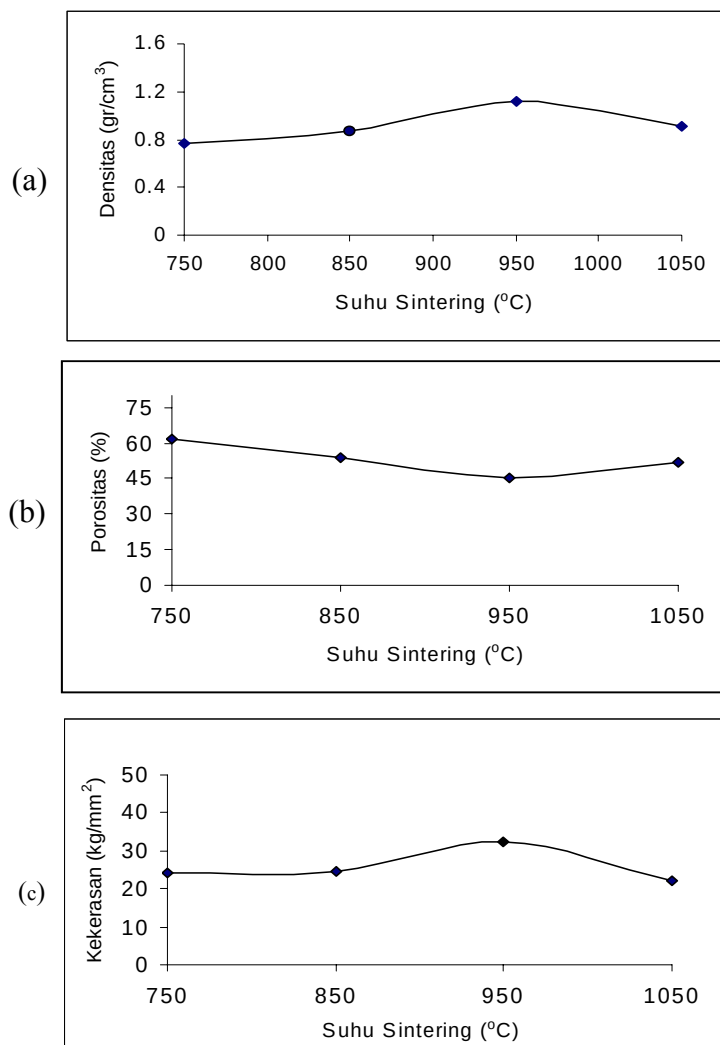
Karakteristik tranformasi/pembentukan struktur kristal dilakukan dengan XRD dan *search-match* menggunakan data PCPDF, 1997, karakteristik perubahan termal dengan DTA/TGA, dan karakteristik permukaan menggunakan SEM/EDS. Untuk analisis SEM/EDS, terlebih dahulu sampel dipolis dengan tahapan 15µm, 9 µm dan

terakhir 1 μm . Pengetsaan akan dilakukan dengan metode termal pada suhu 1300 °C selama 15 menit.

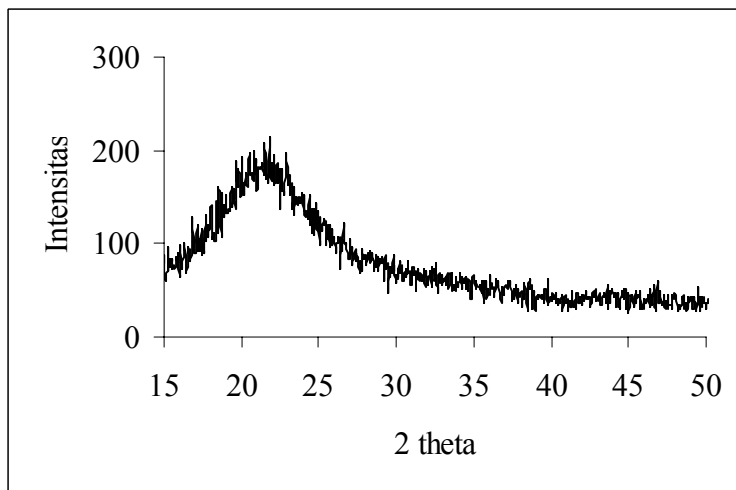
HASIL PENELITIAN dan PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

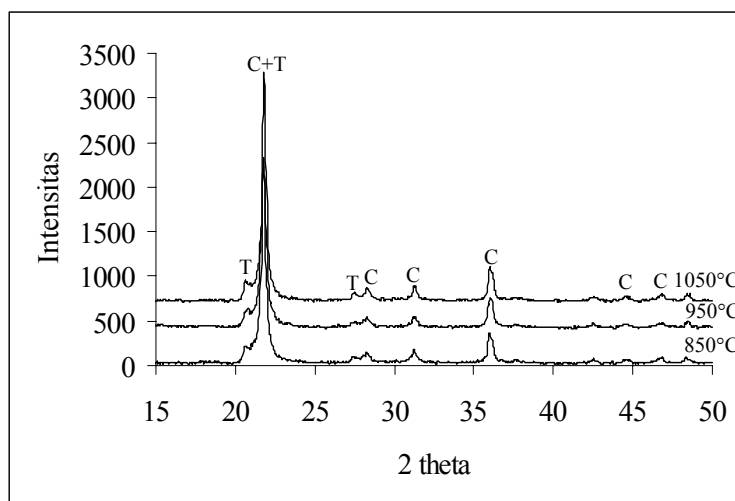
Hasil pengukuran densitas, porositas dan kekerasan silika yang diperoleh dari sekam padi pada suhu sintering 750 °C, 850 °C, 950 °C dan 1050 °C ditunjukkan masing masing pada Gambar 1 (a), (b) dan (c). Hasil analisis struktur masing masing sampel dengan metode difraksi sinar-x (XRD) dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3, sedangkan analisis termal dengan menggunakan DTA/TGA disajikan pada Gambar 4 (a), (b), (c), dan Tabel 1 dan 2. Hasil analisis mikrostruktur masing masing silika sekam padi ditunjukkan pada Gambar 5 (a), (b), (c) dan (d) dan komposisi kimia disajikan pada Gambar 6.



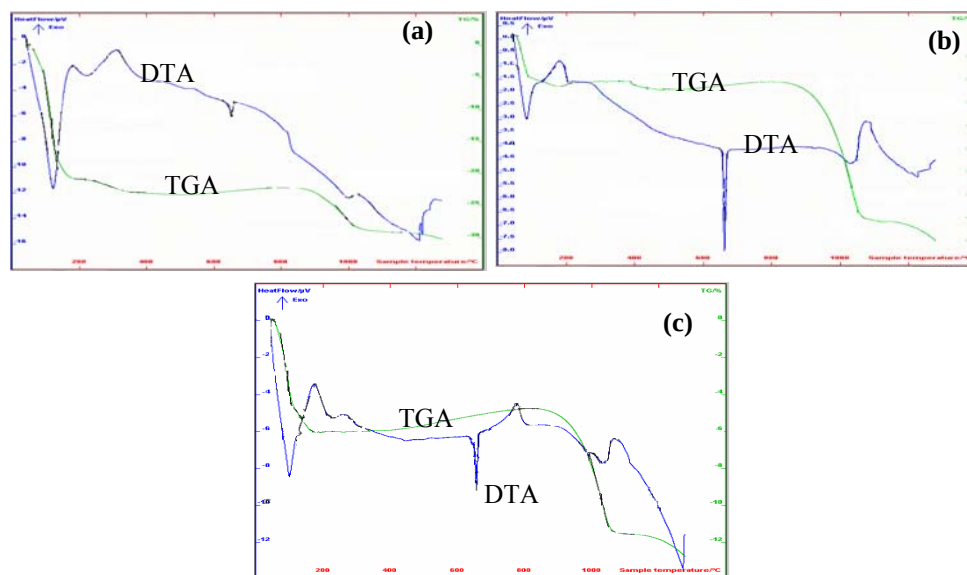
Gambar 1. Perubahan (a) Densitas, (b) Porositas dan (c) Kekerasan silika sekam padi terhadap suhu sintering.



Gambar 2. Pola Diffraksi sinar-x (XRD) silika sekam padi disintering pada suhu 750°C



Gambar 3. Pola Diffraksi sinar-x (XRD) silika sekam padi disintering pada suhu 850°C, 950°C dan 1050°C. Simbol C = *Crystobalite* (PDF 39-1425) dan T = *Trydimite* (PDF-18-1170).



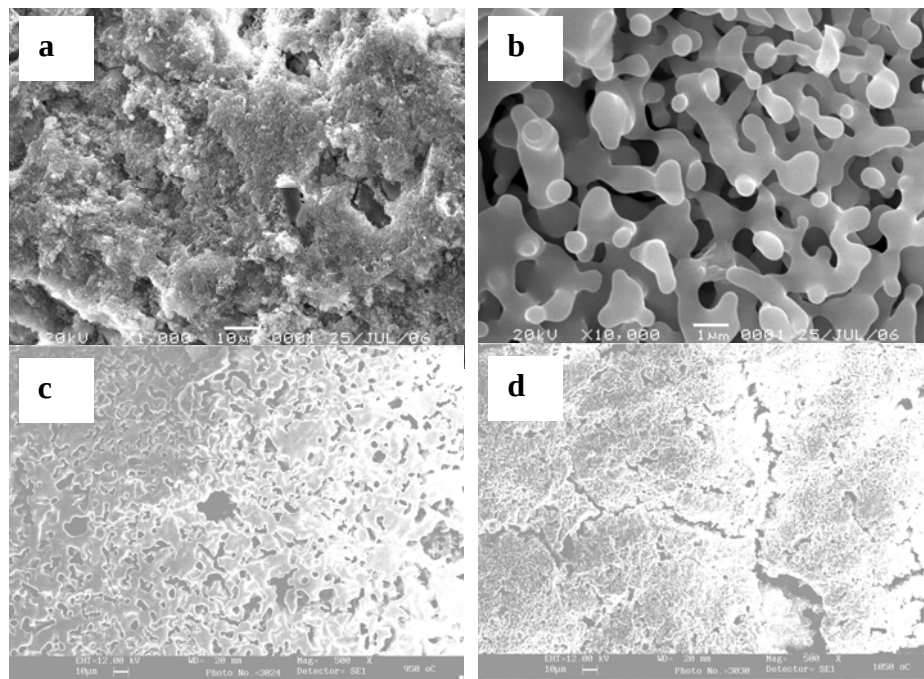
Gambar 4. Termograph DTA/TGA silika sekam padi disintering pada suhu (a) 750°C, (b) 850°C, dan (c) 1050°C.

Tabel 1 Hasil analisis DTA silika sekam padi terhadap variasi suhu sintering

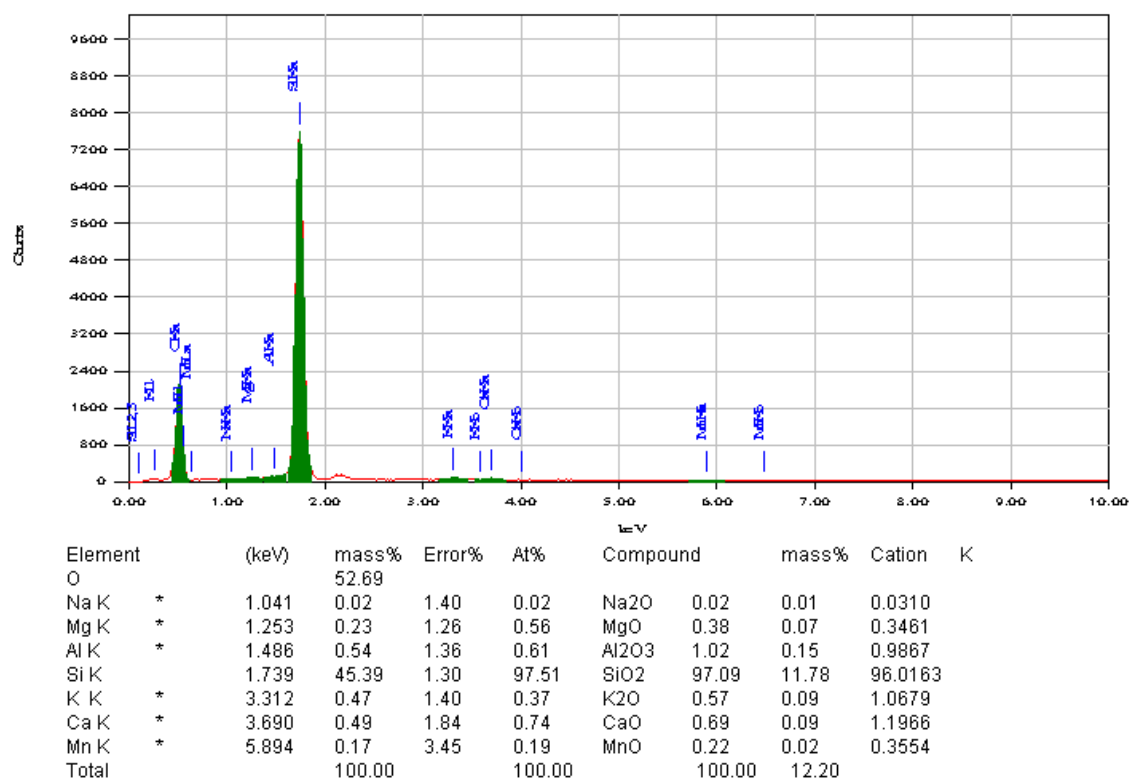
Suhu Sintering (°C)	Puncak Suhu (°C)	
	Endoterm	Exoterm
750	123 dan 652	170, 311, dan 1031
850	85 dan 662	179 dan 1074
1050	100 dan 657	172, 265, 776 dan 1065

Tabel 2 Hasil analisis TGA silika sekam padi terhadap variasi suhu sintering

Suhu Sintering (°C)	Kehilangan berat (%) Pada range suhu (°C)			Total kehilangan berat (%)
	(50-170°C)	(180-700°C)	(700-1100°C)	
750	21,00	-	7,00	30,10
850	2,00	0.4	6,10	8,50
1050	6,20	-	6,80	13,00



Gambar 5. Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) silika sekam padi setelah disintering (a) 750°C, (b) 850°C, dan (c) 950°C dan (d) 1050°C.



Gambar 6. Spektrum EDS dan Komposisi elemen yang terdapat dalam sampel Silika sekam padi yang disintering pada suhu 1050°C

PEMBAHASAN

Perubahan densitas, porositas dan kekerasan silika sekam padi terhadap suhu sintering (Gambar 1 (a), (b) dan (c)) menunjukkan bahwa densitas dan kekerasan mengalami peningkatan, sementara porositas mengalami penurunan hingga mencapai suhu sintering 950°C. Hasil ini mengindikasikan bahwa perlakuan sintering mengakibatkan terjadinya proses saling kontak dan beragglomerasi antar atom-atom sehingga kerapatannya meningkat dan pori (porositas) mengecil dengan konsekwensi kekerasan meningkat. Fenomena ini sesuai dengan yang diperoleh Dorre dan Hubner, (1984) menyimpulkan bahwa peningkatan densitas dan kekerasan seiring dengan kenaikan suhu sintering dan diikuti dengan penurunan porositas, namun dapat juga dipengaruhi beberapa faktor diantaranya, lamanya waktu sintering, ukuran butiran dan impurity dari sampel. Hal ini dapat ditunjukkan, sebaliknya, densitas dan kekerasan mengalami penurunan dan porositas mengalami peningkatan di atas suhu sintering 950°C, menunjukkan bahwa masih banyak partikel-partikel tidak bediffusi dan berpadu sehingga kerapatannya menurun dan porositas meningkat. Hal ini diyakini juga akibat terjadinya pembentukan/dekomposisi fasa (kristal) dan impurity yang terdapat dalam silika sekam padi, sesuai dengan hasil penelitian Tomizaki, *et.al* (1995) menyimpulkan bahwa pembentukan fasa *crystoballite* mengakibatkan penurunan densitas dan peningkatan porositas, dan pada penelitian ini adanya *crystoballite* dapat dilihat dari hasil analisis XRD (Gambar 3).

Gambar 2 menunjukkan hasil pola diffraksi sampel silika sekam padi yang telah mengalami sintering pada suhu 750°C, dengan spektrum analisis yang dihasilkan menunjukkan terbentuknya struktur amorph dengan posisi puncak ($2\theta = 22^\circ$), yang sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Yalcin dan Sevinc (2000), Paya, *et.al*, (2000), Della, *et.al* (2002), akibat adanya unsur karbon yang menghalangi tranformasi amorph menjadi struktur kristal (Goncalves dan Bergmana, 2006). Seiring dengan kenaikan suhu sintering struktur amorph mengalami tranformasi menjadi struktur kristal yang disajikan dalam Gambar 3 (a), (b) dan (c). Dengan menggunakan PDF *diffraction pattern database* (1997) yang dikeluarkan *International Centre for Diffraction Pattern Database* (ICCD) mengindikasikan bahwa struktur kristal yang terbentuk adalah *crystoballite* (PDF-39-1425) dengan puncak tertinggi ($2\theta = 21,9^\circ$) dan *trydimite* (PDF-18-1170) dengan puncak ($2\theta = 21,6^\circ$), sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan Siriluk dan Yuttapong (2005), Kalapathy (2000), Shinohara dan Kohyama, (2004), yang menyimpulkan bahwa kristal *crystoballite* dan *trydimite* meningkat seiring dengan kenaikan suhu sintering.

Analisis perubahan termal/kehilangan berat (DTA/TGA) silika sekam padi yang disintering pada suhu 750°C, 850°C dan 1050°C masing-masing disajikan dalam Gambar 4 (a), (b) dan (c), dengan kurva DTA (Gambar 4 a) menunjukkan 2 puncak endoterm, yakni 123°C dan 652°C, sementara kurva DTA (Gambar 4 b) puncak

endoterm pada suhu 85°C dan 662°C, diikuti puncak endoterm pada suhu 100°C dan 657°C (Gambar 4 c). Dari kurva TGA, kehilangan berat dari suhu 50°C-170°C sebesar 21% (Gambar 4 a), 2% (Gambar 4 b) dan 6,2% (Gambar 4 c), secara keseluruhan suhu puncak dari kurva DTA dan kehilangan berat dari kurva TGA untuk semua perlakuan sintering masing-masing disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2. Puncak endoterm pertama pada suhu 123°C, 85°C dan 100°C (Tabel 1) mengindikasikan terjadinya proses penguapan/hydrasi air dan senyawa volatil yang ada dalam sampel (Daifullah, *et.al*, 2003), serta penguraian gugus hydrosil, yakni ikatan Si-OH atau silanol (Lin, *et.al*, 2001). Suhu puncak endoterm silika yang disintering pada suhu 850°C lebih rendah dibandingkan dengan disintering pada 750°C dan 1050°C mengindikasikan bahwa sampel pada sintering 850°C lebih mudah melepaskan/menyerap molekul air dalam sampel dibandingkan dengan suhu sintering 750° dan 1050°C. Puncak endoterm kedua pada suhu 652°C, 662°C dan 657°C (Tabel 1) mengindikasikan proses kristalisasi dan dekomposisi fasa *crystoballite* yang didukung dari kurva TGA praktis tidak ada kehilangan berat pada range suhu 180°C-700°C (Tabel 2). Puncak eksoterm pada suhu 1031°C, 1074°C dan 1065°C (Tabel 1) mengindikasikan proses kristalisasi dan dekomposisi *crystoballite*, *trydimite*, serta penguapan unsur karbon yang ditunjukkan kehilangan berat pada suhu 700°C-1100°C (Tabel 2). Kehadiran puncak eksoterm pada suhu 776°C (Tabel 1) untuk sampel yang disintering pada suhu 1050°C mengindikasikan terjadinya proses kristalisasi fasa *trydimite*, yang juga dapat dilihat hasil analisis XRD (Gambar 3).

Hasil analisis mikrostruktur dengan SEM silika sekam padi setelah disintering pada suhu 750°C, 850°C, 950°C dan 1050°C masing-masing disajikan dalam Gambar 5 (a), (b), (c) dan (d). Pada Gambar 5 (a) menunjukkan bahwa ukuran pori cukup besar, terdistribusi tidak merata dan membentuk gumpalan (*cluster*) pada permukaan, yang mengindikasikan silika sekam padi mempunyai kestabilan termal rendah mengakibatkan ketidakhomogenan batas butir (*grain boundry*) pada permukaan. Kestabilan termal rendah silika dari sekam padi dapat dilihat dari hasil spektrum XRD (Gambar 2) yang menunjukkan silika amorph dan juga akibat adanya komposisi unsur kimia yang lain meliputi, O, Na, Mg, Al, K, Ca (Siriluk and Yuttapong, 2005) yang tersebar tidak merata dipermukaan sampel. Seiring dengan kenaikan suhu sintering terlihat dengan jelas *grain boundry* yang berbentuk butiran-butiran dengan ukuran relatif besar tersebar homogen pada permukaan sampel (Gambar 5 b) mengindikasikan pembentukan/dekomposisi dan proses kristalisasi fasa *crystoballite* seperti yang ditunjukkan hasil XRD (Gambar 3), dan analisis mikrostruktur (Gambar 5 c) menunjukkan bahwa pori-pori semakin kecil dengan tingkat homogenitas relatif tinggi dan memiliki stabilitas termal tinggi dibandingkan dengan hasil SEM dalam Gambar 5 (a) dan (b). Hasil mikrostruktur Gambar 5 (d) menunjukkan bahwa butiran butiran tersebar merata dengan pori-pori semakin kecil dan adanya keretakan (*microcracking*) tersebar dengan ukuran yang bervariasi akibat meningkatnya tingkat

kritalinitas *crystoballite* dan *trydimite*, yang sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya (Jean, *et.al*, 1995 dan Kalapathy, 2000).

Untuk mendapatkan hasil yang lebih detail yang berkaitan dengan karakteristik struktur dan mikrostruktur, pada penelitian ini dilakukan analisis komposisi kimia dengan EDS yang disajikan dalam Gambar 6, yakni silika sekam padi yang disintering pada suhu 1050°C karena hasil analisis data EDS untuk semua perlakuan sintering relatif sama. Hasil spektrum pada Gambar 6 menunjukkan bahwa adanya berbagai unsur/element pembentuk dalam sampel, yakni O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca dan Mn. Adanya unsur-unsur tersebut mengindikasikan dalam sampel terbentuk berbagai fasa yakni, SiO₂, Na₂O, MgO, Al₂O₃, K₂O dan CaO (Seckin, *et.al*, 2002 dan Siriluk and Yuttapong, 2005), dengan persentase fasa utama adalah SiO₂ sebesar 97,51% dengan kesalahan sebesar 1,3% berada diatas penelitian yang dilakukan Daifullah, *et.al* (2003) sebesar 95,3% dengan menggunakan metode standar ASTM:D-3172-73.

KESIMPULAN dan SARAN

Kesimpulan

Dari hasil serangkaian karakterisasi silika sekam padi hasil ekstraksi yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Suhu sintering dengan nilai maximum densitas dan kekerasan serta porositas minimum diperoleh pada 950°C, dengan karakteristik fasa yang dominan dalam silika sekam padi adalah SiO₂ dengan mineral *crystoballite* dan *trydimite* dan fasa pendukung Na₂O, MgO, Al₂O₃, K₂O dan CaO. Fasa *crystoballite* dan *trydimite* meningkat dengan kenaikan suhu sintering.
2. Hasil analisis mikrostruktur menunjukkan karakteristik butiran dan pori cenderung mengecil, homogen dan karakteristik kestabilan termal meningkat dengan kenaikan suhu sintering.
3. Karakterisasi silika sekam padi mempunyai fasa amorph pada suhu 750°C dan mengalami proses kristalisasi membentuk *crystoballite* dan *trydimite* pada suhu sintering di atas 750°C, dengan tingkat kemurnian sekitat 97,51% sehingga sangat layak untuk dimanfaatkan dalam pengembangan material keramik berbasis silika.

Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan agar dilakukan karakterisasi pada suhu sintering 1300°C dan 1400°C untuk mendapatkan sifat termal yang stabil dengan tingkat kekerasan stabil

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilakukan berkat bantuan Dana DIPA melalui Lembaga Penelitian Universitas Lampung Tahun anggaran 2007. Untuk itu, melalui tulisan ini, peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Lampung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F, Kandasamy, Balakrishnan, S, (2006), " Iron incorporated Catalyst from Rice Husk Ash", *J. Colloid and Interface Science*, 304, 137-143
- Adam and Hann, CJ, (2004), "The adsorption of Palmytic acid on Rice Husk Ash Chemically Modified with Al(III) ion using the Sol-gel Technique, *J. Colloid and Interface. Sci.* 280, 55-61
- Australian Standard, (1989), "Refractories and Refractory Material Physical Test Methods: The Determination of Density, Porosity and Water Adsorption", 1774.
- Badan Pusat Statistik, Lampung, (2004).
- Bose, S; Acharya, H.N; Banerjee, H.D (1993), "Electrical, Thermal Thermoelectric and Related of Magnesium Silicate Semiconductor Prepared from Rice Husk", *Journal of Material Science*, 28, 5461 - 5468.
- Chatterjee, M and Naskar M.K (2006), "Sol-Gel Synthesis of Lithium Aluminium Silicate Powders; The Effect of Silica Sources", *Ceramic International*, 32, 623 - 632.
- Cheng, J.M and Chang, F.W (1991), "The Chlorination Kinetics of Rice Husk", *Indian Engineering Chemical Research* 30, 2241 - 2247.
- Daifullah, A.A.M; Awwad, N.S; El-Reefy (2004), "Purification of Phosphoric Acid from Ferric Ion Using Modified Rice Husk", *Chemical Engineering and Processing*, 43, 193- 201.
- Daifullah, A.A.M; Girgis, B.S and Gad, H.M.H (2003), "Utilization of Agro residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans", *Materials Letters*, 57, 1723 - 1731.
- Della, V.P; Kuhn, I; Hotza, D (2002), "Rice Husk Ash an Alternate Source for Active Silica Production", *Materials Letters*, 57. 818 - 821.
- Dorre and Hubner, H, 1984, "Alumina, Library of Congress Cataloging in Publication Data, Cambridge.

- Goncalves, M.R.F, Bergmann, C.P, (2006), "Thermal Insulator made with Cordierite: *Production and Correlation between Properties and Microstructure*", *Contruction and Building Materials*
- Grisdanurak, N, Chiarakorn, S, Wittayakun, J, (2003), "Utilization of Mesoporous Molecular Sieve Synthesized from Natural Source Rice Husk Silica to Chlorinated Volatile Organic Compunds (CVODCs) Adsorption," *Korean J.Chem. Eng*, 20, 950-955
- Hamdan, H; Muhid, M.N; Endud, S; Listioine, E; Ramli, Z (1997), " ²⁹Si MAS, NMR, XRD and FESEM Studies of Rice Husk Silica for Synthesis Zeolit", *Journal Non Crystal Solids* 211, 126 - 131.
- Ikram, N and Akhter, M (1988), "X-Ray Diffraction Analysis of Silicon Prepared from Rice Husk Ash", *Journal of Materials Science*, 23, 2379 - 2381.
- Jean, J.H, Kuan, T.H and Chang, C.R, (1995), "Low -Temperature-Fired, Low-Dielectric-Constant Silica Glass Composite for Substrate Application, *Materials Chemistry and Physica*, 41, Elsevier Science LtD.
- Kalapathy, C; Protor, A and Shultz, J (2000), "A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Husk Ash", *Biosource Technology*, 73, 257 - 264.
- Katsuki, H, Furuta, S, Watari, T, Komarneni, S, (2005), " ZSM-5/Zeolite/Porous Carbon Composite: Conventional and Microwave Hydrothermal synthesis from Carbonized rice Husk", *Microporous and Mesoporous Materials*, 86, 145-151.
- Kumer, D., Schumucher, K., and Unger, K (2001), "MCM-41, MCM-48 and Related Mesoporous Adsorbens the Synthesis and Characterization", *Colloids and Surfaces A, Physisochem, Eng Aspect*, 187, 109-116.
- Lin J., Siddiqui, J.A., and Ottenbrite, M., (2001), "Surface Modification of Inorganic Oxide Particles with Silane Coupling Agent and Organic Dyes", *Polym, Adv.Technol*, 12 285-292.
- Malik, P.K, (2002), " Used of activated Carbons Prepared from Saw dust and Rice Husk for adsorption of Acid Dyes: A case of Acid Yellow," *Dyes and Pigment elsevier Science, Ltd.*
- Natarajan, E; Nordin, A and Roa, A.N (1998), "Overview of Combustion and Gasification of Rice Husk in Fluidized Bed Reactors", *Biomass, Bioenergy*, 14, 533
- Paya, J, Monzo, J, Borrachero, M.V, Mellado, A, Ordonez, I.M, (2000), "Determination of Amorphous Silica in Rice Husk

Ash by a Rapid Analytical Method", *Cement and Concrete Research*, 31, 227-231

PCPDFWIN, *Powder Diffraction Files*, 1997

Ramli, Z and Bahruji, H (2003), "Synthesis of ZMS 5 Type Zeolite Using Crystalline Silica of Rice Husk Ash", *Malaysian Journal of Chemistry*, 5, 48 – 55.

Riveros, H and Garza, C (1986), "Rice Husk Ash a Source of High Purity Silica", *J. Crys. Growth*, 75, 126 – 131.

Romero, J.N; Reinoso, F.R (1996), "Synthesis SiC from Rice Husk Catalyzed by Iron, Cobalt or Nickel", *Journal Materials Science*, 31, 779 – 784.

Rahman, I.A (1994), "Preparation of Si₃N₄ by Corbothermal Reduction of Digested Rice Husk", *Ceramic International*, 20, 195 – 199.

Rahaman, I.A (1995), "Ceramics pressing and Sintering, Department of Ceramics Engineering University of Missouri-Rolla Rola, Issouri.

Rahman, I.A, Ismail, J and Hasnah, H, (2000),"Adsorption of Zn by Acid Treated Rice Husk", *Malaysian Journal of Chemistry*.

Seckin, T, gulte, A, Icduygu, M.G and Onal, 2002,"Polymerization and Characterisation of Acrylonitrile with γ -methacryloxypropyltrimethoxy-Silane Grafted Bentonite Clay, *J. Appl. Polym, Sci*, 84, 164-171)

Shinohara, Y and Kohyama, N (2004), "Quantitative Analysis of Tridymite and Crystobalite Crystallized in Rice Husk Ash by Heating", *National Institute of Health*.

Siriluk and Yuttapong (2005), "Structure of Mesoporous MCM-41 Prepared from Rice Husk Ash", *Asian Symposium on Visualization, Chaingmai, Thailand*.

Shulka, B.D, Pojha, T, Gupta, S.P, (1985), "Agricultural Mechanisation in Asia, Africa and Latin America", 16 (6) 53-56.

Tomizaki, M.F, Sugiyama, T, (1995),"Study on high silica and porcellain bodies, *Interceram*, 44 (4), 223-228.

Yalcin, N and Sevinc, V (2001), " Study on Silica Obtained From Rice Husk", *Journal Ceramic International*, 29, 219 – 224.

PENGARUH PARAMETER KUAT ARUS DAN WAKTU LAS TERHADAP DISTRIBUSI NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MAKRO HASIL LAS TITIK (*SPOT WELDING*) PELAT BAJA SPTC

HARNOWO SUPRIADI
Jurusan Teknik Mesin, FT UNILA

ABSTRAK

Pengelasan titik banyak digunakan dalam bidang industri, terutama industri otomotif. Pengelasan titik adalah suatu proses penyambungan 2 (dua) material dengan cara permukaan material tersebut ditekan satu sama lain dan pada saat yang bersamaan arus listrik dialirkan sehingga permukaan material mencapai temperatur las kemudian material tersebut menyatu. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh parameter kuat arus dan waktu las terhadap distribusi nilai kekerasan dan struktur makro hasil las titik pelat SPTC.

Bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian adalah pelat baja SPTC tebal 1 mm, mesin las titik tipe YR - 505 SA₂ - ID *Air Operated*. Jenis sambungan las adalah sambungan tumpang. Parameter kuat arus las titik adalah 7200 A, 7700 A dan 8200 A dan waktu las adalah 20 *cycle*, 25 *cycle* dan 35 *cycle*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan terbesar adalah 269 VHN ($I = 8200$ A, $t = 25$ *cycle*). Diameter *weld nugget* rata-rata adalah 6,202 mm dan kedalaman penetrasi yang terbentuk sebesar 1,733 mm.

Kata kunci : *pelat SPTC, las titik, kuat arus, waktu las, kekerasan, struktur makro*

PENDAHULUAN

Latar belakang

Pengelasan titik adalah proses las dimana panas diperoleh karena adanya tahanan listrik yang terdapat diantara dua spesimen dan akan mencapai temperatur las setelah adanya tekanan dan aliran arus listrik (Suharto, 1991). Berdasarkan klasifikasi cara kerja, pengelasan titik termasuk *solid state welding*, karena proses pengelasan dilakukan tanpa pencairan logam induk sebagaimana yang terjadi pada jenis *fusion welding*. Keunggulan las titik diantaranya adalah dapat beroperasi dengan kecepatan tinggi, mampu memproduksi dalam jumlah yang banyak, parameter las dapat dikontrol secara otomatis. Pengelasan titik dapat diterapkan pada hampir semua logam, terutama lembaran pelat baja. Kualitas hasil las titik diantaranya dipengaruhi oleh parameter waktu las (*weld time*) dan kuat arus (*weld current*). Dengan merujuk pada beberapa referensi yang terkait dengan las titik, maka dilakukan penelitian

tentang las titik pada pelat baja SPTC, dimana pengujian hasil las ditekankan pada seberapa besar kekerasan, diameter *weld nugget* dan kedalaman penetrasi yang dihasilkan akibat perubahan parameter kuat arus dan waktu las.

Tujuan Penelitian

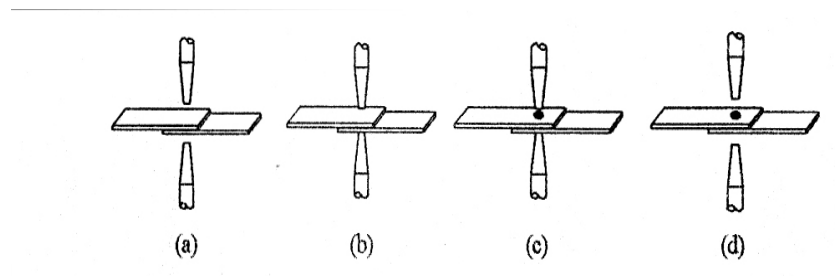
Tujuan utama penelitian ini adalah :

1. Menyelidiki pengaruh parameter kuat arus dan waktu las terhadap kekerasan pelat baja SPTC (*Steel Plate Tin Coated*).
2. Menganalisis hasil las dengan pengujian makro yaitu pengukuran diameter *weld nugget* dan kedalaman penetrasi

LANDASAN TEORI

Las Resistansi Titik

Las resistansi titik adalah proses pengelasan dimana permukaan spesimen digabungkan dan ditekan satu dengan yang lainnya, dan pada saat yang bersamaan arus listrik dialirkan melalui permukaan spesimen, sehingga spesimen menjadi panas dan mencapai temperatur las karena pengaruh panas dan tekanan elektroda (ASM Handbook, 1993). Kontak permukaan antara spesimen dengan elektroda akan menghasilkan panas, sehingga dibagian bidang kontak antar permukaan spesimen terbentuk *weld nugget*. Skema tentang proses las titik dapat dilihat pada gambar 1.

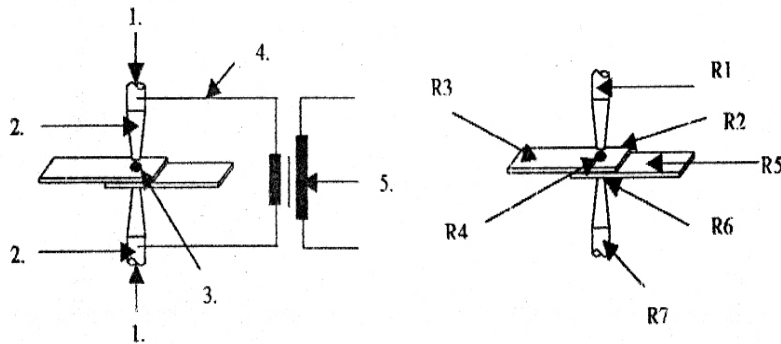


Gambar 1. Skema Las Titik

Besarnya panas yang dihasilkan pada pengelasan titik tergantung pada besarnya kuat arus (I), tahanan (R) dan waktu pemberian arus (t), yang dijabarkan pada persamaan (1) (Kalpakjian, 2001) :

$$H = I^2 \cdot R \cdot t = V \cdot I \cdot t \dots\dots\dots(1)$$

Skema pengelasan titik dengan sambungan tumpang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Skema Proses Pengelasan Titik Jenis Sambungan Tumpang

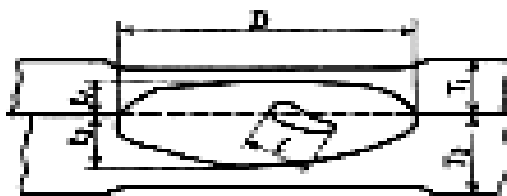
Agar terjadi proses penyambungan, maka diperlukan panas yang cukup supaya daerah kontak antar dua permukaan mencapai temperatur las. Hal itu dapat dicapai bila nilai tahanan pada daerah kontak (R_4) lebih besar dibandingkan nilai tahanan bagian yang lain, yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$R_4 > (R_1 + R_2 + R_3 = R_5 + R_6 + R_7) \dots \dots \dots (2)$$

Parameter-parameter yang mempengaruhi kualitas hasil las titik adalah :

- | | | |
|-----------------|--------------|----------------------------|
| 1. Squeeze Time | 3. Hold time | 5. Welding electrode force |
| 2. Weld Time | 4. Off time | 6. Welding current |

Gambar 3. menunjukkan cara pengukuran diameter weld *nugget* dan penetrasi hasil lasan (JIS Z 3139, 1978).



Gambar 3. Pengukuran diameter weld nugget dan penetrasi hasil lasan

Pengujian Hasil Las

1. Uji kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada daerah *weld nugget*, daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dan daerah logam induk (*base metal*). Nilai kekerasan Vickers didapatkan dari persamaan 3 (Bolton, 1998) :

$$VHN = \frac{2P(\sin \theta / 2)}{(d_1 + d_2)^2 / 4} = 1,854 \frac{P}{(d_1 + d_2) / 4} \dots\dots\dots(3)$$

2. Uji struktur makro

Pengujian struktur makro dimaksudkan untuk mengetahui diameter *weld nugget* yang terbentuk dan kedalaman penetrasi yang terjadi.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan dan alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Baja SPTC (*Steel Plate Tin Coated*), dengan tebal 1 mm.
2. Mesin las titik tipe YR – 505 SA₂ – ID *Air Operated*.
3. Alat uji kekerasan mikro Vickers (*Hardness Tester MFK – F No. 10103*),
4. Mikroskop (*Keyence HD Microscope VH – 7000*), digunakan untuk uji mikro

Cara Penelitian.

Beberapa tahapan yang dilakukan pada penelitian las titik, diantaranya adalah penentuan dimensi spesimen pelat SPTC yang disambung dengan las titik.

Tabel 1. Dimensi spesimen las titik pelat SPTC

Tebal spesimen (mm)	Lebar spesimen (mm)	Jarak lasan (mm)	Panjang Spesimen (mm)	Jarak antara penjepit (mm)
0,3 - <0,8	20	20	75	70
0,8 - < 1,3	30	30	100	90
1,3 - < 2,5	40	40	125	100
2,5 - < 5,0	50	50	150	110

Dimensi spesimen untuk pengujian kekerasan adalah 30 x 50 mm, dengan asumsi bahwa dimensi tersebut cukup untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada daerah *weld nugget*, daerah HAZ dan daerah *base metal*.

Proses Pengelasan Titik

Parameter-parameter pengelasan titik yang digunakan selama penelitian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter las titik

Waktu las	A r u s (A)			sqTime	Hd time	off Time	Diameter Tip Elektroda -mm-				P
	7200	7700	8200	c y c l e	c y c l e	c y c l e	D atas	d atas	D bawah	h	Kgf
20	1	2	3	45	25	25	13	6,3	16	9	210
25	4	5	6								
35	7	8	9								

Pengujian hasil las

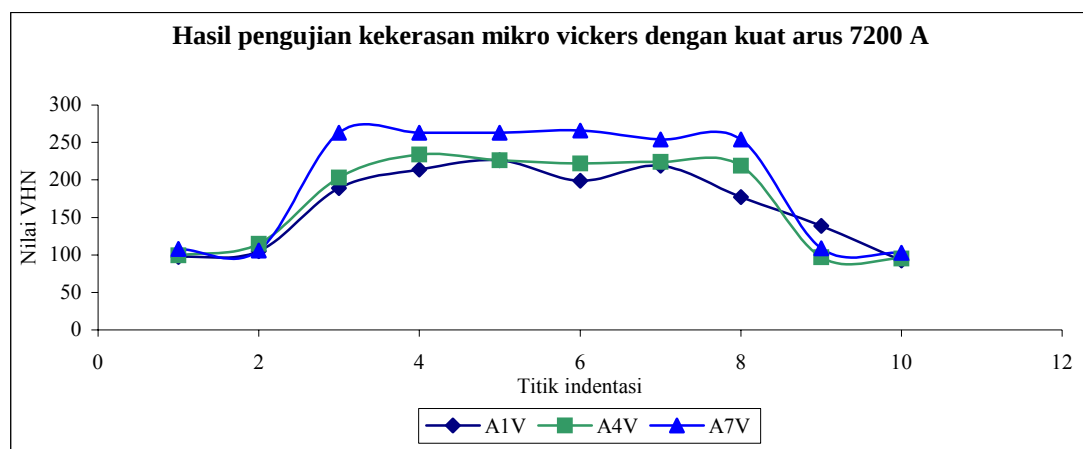
Pengujian kualitas hasil las titik pelat SPTC difokuskan pada pengujian kekerasan. Sedangkan pengujian makro yang berupa pengukuran diameter *weld nugget* dan kedalaman penetrasi dimaksudkan untuk menambah informasi dan sebagai data pendukung terhadap karakteristik hasil las titik akibat perubahan parameter kuat arus dan waktu las.

HASIL dan PEMBAHASAN

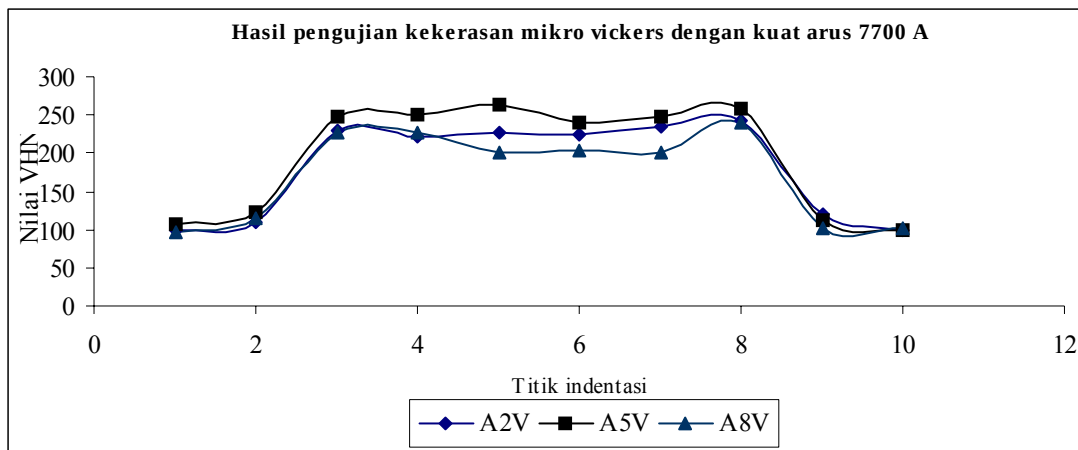
1. Hasil uji kekerasan mikro Vicker

Tabel 3. Hasil perhitungan pengujian kekerasan mikro vickers.

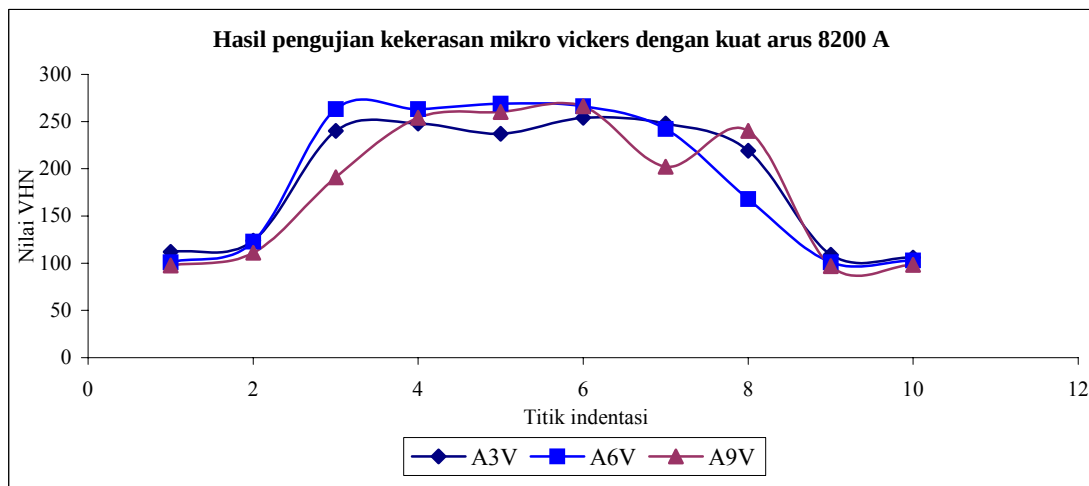
Spesimen Uji	VHN 1	VHN 2	VHN 3	VHN 4	VHN 5	VHN 6	VHN 7	VHN 8	VHN 9	VHN 10
1	97.4	105	189	214	226	199	219	177	138.5	92.6
2	99.5	110	229	222	226	224	234	242	119	99.5
3	112	124	240	248	237	254	248	219	109	106
4	99.5	115	203	234	226	222	224	219	96.7	95.3
5	106	123	248	251	263	240	248	257	111	100
6	101	123	263	263	269	266	242	168	101	103
7	108	106	263	263	263	266	254	254	109	103
8	96.7	116	226	226	201	203	201	240	103	103
9	97.4	111	191	254	260	266	202	240	96.7	98.1



Gambar 4. Distribusi nilai kekerasan pelat SPTC yang dilas titik pada arus 7200 A



Gambar 5. Distribusi nilai kekerasan pelat SPTC yang dilas titik pada arus 7700 A



Gambar 6. Distribusi nilai kekerasan pelat SPTC yang dilas titik pada arus 8200 A

Dari data hasil pengujian kekerasan yang ditampilkan pada tabel 3 dan didukung oleh gambar 4, 5 dan 6, maka secara umum dapat dikatakan bahwa ada pengaruh parameter kuat arus dan waktu las terhadap distribusi kekerasan pada hasil lasan pelat SPTC. Dari gambar 4, 5 dan 6 juga didapat informasi bahwa pola distribusi kekerasan pelat SPTC yang dilas titik adalah sama, yaitu distribusi nilai kekerasan yang tinggi dicapai pada daerah weldment, sementara distribusi nilai kekerasan yang rendah terjadi pada daerah logam induk. Fenomena ini sudah sesuai dengan prediksi awal sebelum penelitian dilakukan, dan sesuai dengan teori yang ada. Daerah logam induk memiliki kekerasan yang rendah karena daerah tersebut tidak mengalami pengaruh panas yang signifikan, sehingga kekerasan yang dihasilkan kurang lebih sama dengan kekerasan bahan SPTC sebelum dilas titik. Sedangkan pada bagian *weldment*, daerah tersebut dapat dikatakan mengalami proses laku panas dan perubahan struktur mikro, yang menjadikan daerah tersebut memiliki nilai kekerasan yang tinggi. Nilai kekerasan tertinggi adalah 269 VHN, terjadi pada daerah *weldment* pada saat proses pengelasan titik dilakukan pada kuat arus sebesar 8200 A dan waktu

las 25 cycle (0,5 detik). Sedangkan nilai kekerasan terendah adalah 92,6 VHN, terjadi pada daerah logam induk pada saat proses pengelasan titik dilakukan pada kuat arus 7200 A dan waktu las 20 cycle (0,4 detik). Hal ini dapat dipahami karena kuat arus dan waktu las akan memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap besarnya masukan panas sewaktu proses pengelasan titik berlangsung. Masukan panas yang cukup akan mampu membuat bidang kontak antara dua permukaan pelat baja mencapai temperatur las, dimana temperatur las ini akan berperan menyatukan dua permukaan pelat baja SPTC membentuk ikatan yang kuat.

2. Pengujian makro

Tabel 4. Hasil pengujian makro (diameter *weld nugget* dan kedalaman penetrasi).

Spesimen Uji	Kedalaman Penetrasi			Diameter <i>Weld nugget</i>
	Penetrasi atas	Penetrasi bawah	Penetrasi total	
	mm	mm	mm	
1	0.919	0.883	1.802	5.943
2	0.891	0.838	1.729	6.245
3	0.849	0.896	1.745	6.085
4	0.88	0.885	1.765	5.952
5	0.868	0.896	1.764	6.632
6	0.823	0.844	1.667	6.443
7	0.836	0.847	1.683	6.915
8	0.937	0.819	1.756	5.708
9	0.943	0.74	1.683	5.896

Sedangkan dari hasil pengujian makro pada tabel 4, didapatkan informasi bahwa diameter *weld nugget* rata-rata yang terbentuk untuk tiap parameter las yang dipilih adalah hampir sama yaitu 6,202 mm, hal ini bersesuaian dengan diameter ujung elektroda yang besarnya 6,3 mm. Sedangkan kedalaman penetrasi rata-rata yang terbentuk adalah 1,733 mm, lebih kecil dari tebal total pelat baja yang sebesar 2 mm. Kedalaman penetrasi yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dikatakan berhasil, karena hasil yang didapat hampir mendekati ketebalan pelat baja SPTC hasil sambungan yang sebesar 2 mm.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis data, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Parameter kuat arus dan waktu las mempengaruhi distribusi nilai kekerasan hasil las titik pelat baja SPTC
2. Nilai kekerasan maksimum adalah 269 VHN, saat pengelasan titik dilakukan pada arus 8200 A dan waktu las 25 *cycle*
3. Diameter *weld nugget* rata-rata adalah 6,202 mm, sedangkan kedalaman penetrasi yang terbentuk adalah 1,733 mm

DAFTAR PUSTAKA

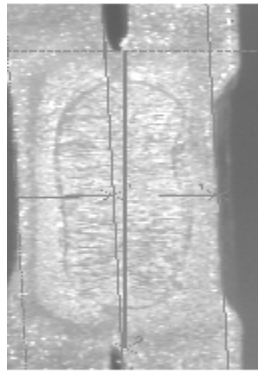
ASM Handbook, 1993, *"Welding, Brazing and Soldering"*, ASM International, USA

Bolton, W., 1998, *"Engineering Materials Technology"*, Butterworth-Heinemann, London

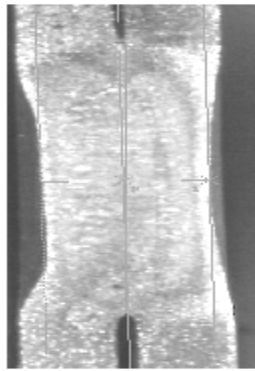
JIZ Z 3139, 1978, *"Method of Macro Test for Section of Spot Welded Joint"*, Japanese Industrial Standards Committee, Tokyo, Japan.

Suharto, 1991, *"Teknologi Pengelasan Logam"*, Rineka Cipta, Jakarta

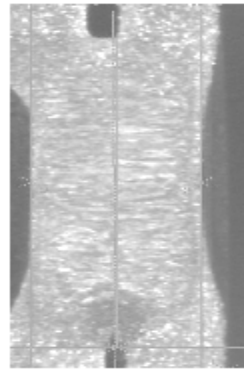
Lampiran 1. Struktur makro dari las titik Pelat SPTC



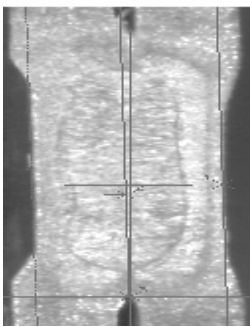
(a)



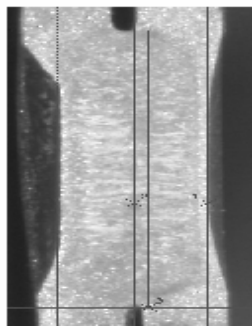
(b)



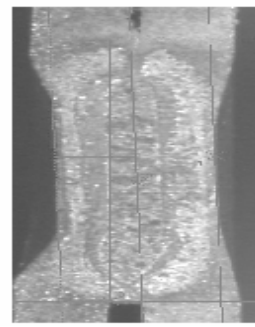
(c)



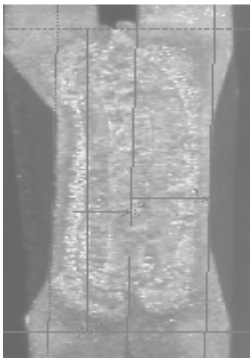
(d)



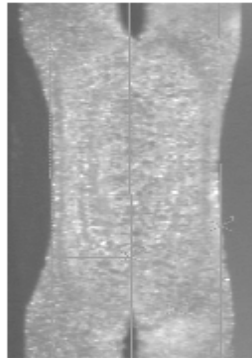
(e)



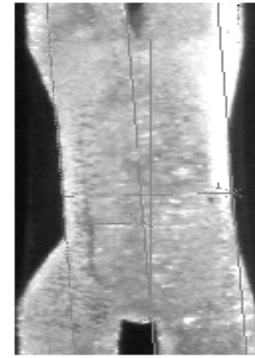
(f)



(g)



(h)



(i)

Hasil pengujian struktur makro spesimen uji 1 (a); spesimen uji 2 (b); spesimen uji 3 (c); spesimen uji 4 (d); spesimen uji 5 (e); spesimen uji 6 (f), spesimen uji 7 (g); spesimen uji 8 (h); dan spesimen uji 9 (i) dengan perbesaran 25x.

EVALUASI KONDISI REGENERASI BENTONIT BEKAS SEBAGAI ADSORBEN PADA PROSES PEMUCATAN *CRUDE PALM OIL* (CPO)

JOI FATMAT P.S. dan SIMPARMIN br. GINTING

Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Lampung

Email: joeyfatmat_72gar@yahoo.com

ABSTRACT

The need on benthonite for many industrial uses are much higher every year, e.g. there is about 200,000 ton/year of benthonite that is required for industrial uses. Benthonite which has been used as adsorbent on CPO bleaching will gradually be deactivated, so that regeneration on used benthonite is highly required in order to reduce use of fresh benthonite which is a renewable resource. The research is aimed to obtain the best condition for regenerating used benthonite including extractor concentrations (1.5 % and 2.5 % NaOH), and ratio of used benthonite/HCl (1:4, 1:6, 1:8, and 1:10 mass/volume) at the activator concentration of HCl 3 % volume/volume. From the experiments, the highest percentage of red color removal obtained was 70.30 %. It occurred at the condition of NaOH concentration of 1.5 %, and ratio of used benthonite/HCl of 1:10 m/v.

Keywords: *Bentonite clays, regeneration, CPO bleaching, adsorbent.*

PENDAHULUAN

Regenerasi bentonit bekas dilakukan dengan membersihkan permukaan bentonit bekas dari impuritas sehingga membuka ruang sisi aktif yang tertutup oleh impuritas. Regenerasi ini dapat dilakukan dengan metoda kimia-fisika, yaitu dengan cara penambahan aktifator asam atau basa, dilanjutkan dengan pemanasan (Kun-She Low, 1998), dan dengan metode proses tiga tahap (United States Patent 5358915). Metode proses tiga tahap inilah yang digunakan pada penelitian ini. Tahap pertama adalah tahap ekstraksi untuk memisahkan minyak yang tertahan, yaitu sekitar 75 % sampai 95 % dari berat minyak yang tertahan. Pengekstrak yang digunakan adalah larutan alkali yaitu NaOH. Berikutnya adalah tahap oksidasi untuk memisahkan kebanyakan adsorbat-adsorbat karbon yang tersisa, seperti minyak, karoten dan lecithin yang tidak dapat terpisahkan pada tahap pertama. Tahap yang terakhir adalah tahap pencucian dengan asam untuk mengembalikan *keasaman* yang secara normal dimiliki oleh bentonit.

Tahap oksidasi dan pencucian dengan asam dapat digabung menjadi satu tahap dengan menggunakan oksidan yang tepat, misalnya sumber-sumber proton asam, seperti asam parasetik, asam sulfur, asam sulfat, dan yang sejenisnya (U.S. Patent 5358915). Konsentrasi

asam dan rasio bentonit bekas terhadap asam mineral merupakan parameter yang perlu diamati untuk menentukan kondisi terbaik dalam melakukan regenerasi bentonit bekas.

METODE PENELITIAN

1. Ekstraksi dengan larutan alkali (NaOH)

Larutan NaOH dibuat dengan cara melarutkan 0,75 gr NaOH dalam 100 ml *aquades* (untuk rasio 1,5 % berat dari bentonit bekas), dan melarutkan 1,25 gr NaOH dalam 100 ml *aquades* (untuk rasio 2,5 % berat dari bentonit bekas). Setelah itu, larutan NaOH dicampur dengan bentonit bekas sebanyak 50 gr, kemudian dipanaskan sampai mendidih dan disertai pengadukan menggunakan *shaker* selama 20 menit. Setelah 20 menit, pemanasan dan pengadukan campuran dihentikan. Setelah didinginkan lapisan cairan-minyak didekantasi, dan diikuti pencucian bentonit dengan *aquades* sebanyak 200 ml, lalu disentrifugasi untuk memisahkan bentonit dari cairan sisa. Masing-masing dari Bentonit bekas yang telah diekstraksi dengan NaOH selanjutnya dioksidasi.

2. Tahap Oksidasi dengan H₂O₂

Bentonit bekas yang telah diekstrak sebanyak 9 gr dicampur dengan 20 ml 30 % berat H₂O₂ dengan pemanasan pada temperatur 85 °C. Lalu ditambahkan 5 ml 30 % berat H₂O₂ sampai total 50 ml 30 % berat H₂O₂. Kemudian bentonit bekas yang teroksidasi dicuci menggunakan 200 ml *aquades*, lalu diaduk menggunakan *shaker* selama 30 menit, kemudian disaring untuk memisahkan bentonit bekas dari *aquades*. Setelah itu dilakukan pencucian dengan asam terhadap semua sampel bentonit bekas yang telah dioksidasi.

3. Pencucian dengan Asam

Bentonit bekas yang teroksidasi dikontakkan dengan larutan HCl encer menggunakan *shaker* selama 1 jam dengan variasi rasio bentonit bekas/HCl (massa/volum) 1:4, 1:6, 1:8, dan 1:10 (m/v) untuk kedua rasio larutan pengektak yaitu rasio NaOH 1,5 % dan 2,5 % berat dari bentonit bekas, dengan konsentrasi HCl (volum/volum) dijaga tetap pada 3 % (v/v). Bentonit bekas hasil regenerasi yang telah dicuci dengan asam, dicuci dengan menggunakan 200 ml *aquades* lalu diaduk menggunakan *shaker* selama 30 menit, kemudian disaring untuk memisahkan bentonit bekas teregenerasi dari *aquades*. Bentonit bekas hasil regenerasi dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105 °C dan setelah itu diteruskan dengan tahap pemucatan CPO. Kemudian bentonit hasil regenerasi ini sudah siap untuk diuji daya adsorpsinya pada pemucatan CPO.

4. Tahap Pemucatan CPO

CPO sebanyak 50 gr dimasukan dalam gelas beaker lalu dipanaskan sampai mencapai temperatur 70 °C. Bentonit bekas hasil regenerasi sebanyak 0,75 gr (1,5 % berat CPO) dikontakkan dengan CPO sambil terus diaduk dan dipanaskan hingga mencapai suhu proses yaitu 105 °C. CPO yang telah melalui tahap pemucatan ditempatkan dalam *glass cell*. *Glass cell* diletakan dalam Lovibond Tintometer. Warna sampel dicek dengan mengukur rak warna sampai diperoleh warna yang sesuai. Pengambilan sampel dilakukan tiap 10 menit kemudian diamati perubahan warnanya, dan dihentikan sampai diperoleh warna yang konstan, yang berarti keadaan setimbang telah tercapai. Data diperoleh dalam bentuk perbandingan warna merah dan kuning.

HASIL dan PEMBAHASAN

Pada Penelitian ini, proses regenerasi bentonit untuk pemucatan *Crude Palm Oil* (CPO) dilakukan dengan metode proses tiga tahap yaitu, tahap ekstraksi, oksidasi dan tahap pencucian dengan asam. Tahap ekstraksi dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH dengan dua parameter yaitu 1,5 % dan 2,5 % berat dari bentonit bekas. Lapisan minyak pada bentonit bekas dapat terekstrak oleh larutan NaOH yang mencuci minyak pada permukaan bentonit bekas seperti sabun. Hal ini dapat dilihat dari busa-busa sabun yang terdapat pada lapisan cairan-minyak hasil pencucian bentonit bekas. Pada tahap ini lapisan minyak yang dapat dipisahkan sekitar 75 % sampai 95 % dari berat minyak yang tertahan. Dari hasil pengamatan diketahui bahwa larutan 1,5 % NaOH mengekstrak lebih banyak minyak dibandingkan dengan larutan 2,5 % NaOH, yaitu dilihat dari banyaknya lapisan minyak yang berhasil terekstrak.

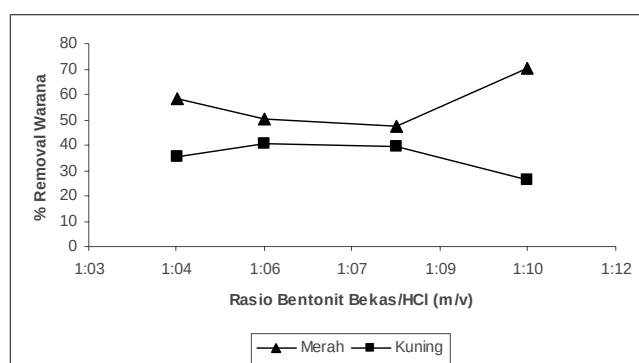
Untuk memisahkan adsorbat-adsorbat karbon (seperti minyak dan karoten) yang tidak terpisahkan pada tahap ekstraksi, maka dilakukan pengoksidasian dengan menggunakan Hidrogen Peroksida (H_2O_2 30 %). Dengan Oksidasi ini, komponen-komponen karbon dapat dipatahkan menjadi molekul-molekul yang dapat dicuci dari bentonit bekas yang diregenerasi. Disamping itu, H_2O_2 juga merupakan *bleaching agent* yang memiliki sifat-sifat pengoksidasi kuat, yang dapat mengoksidasi sampai habis β -carotene dan α -lecithin secara sempurna menjadi CO_2 dan H_2O (U.S. Patent 5358915).

Tahap ekstraksi dan oksidasi berperan sangat penting dalam regenerasi bentonit bekas sebelum memasuki tahap pencucian dengan asam, karena semakin banyak lapisan minyak dan adsorbat-adsorbat karbon yang berhasil dipisahkan pada kedua tahap tersebut, maka permukaan bentonit bekas yang akan direaktifasi akan semakin luas. Tahap pencucian dengan asam dilakukan untuk mengaktifkan kembali kemampuan bentonit dalam memisahkan

warna, yaitu dengan mengembalikan tingkat keasaman yang secara normal dimiliki oleh bentonit. Asam berfungsi membersihkan permukaan pori bentonit, yaitu melarutkan kation-kation yang mengotori permukaan bentonit, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Ion H^+ yang berasal dari asam akan menggantikan kation-kation logam alkali dan alkali tanah yang terlarut pada bentonit. Ion H^+ inilah yang akan mengikat karoten dengan ikatan van der Waals pada proses pemucatan CPO (Regina, 2002).

Salah satu syarat dalam menentukan kualitas minyak adalah berdasarkan tingkat warna merah dan kuning dari minyak tersebut, dan yang lebih menentukan adalah tingkat warna merah, karena perubahan warna kuning akan mengikuti warna merah untuk membentuk warna *orange* (U.S. Patent 5358915). Pada penelitian kali ini, berdasarkan tingkat warna yang ditunjukkan pada *lovibond tintometer*, *fresh* CPO yang digunakan memiliki tingkat warna merah sebesar 10,1 dan warna kuning sebesar 13,0. Unjuk kerja (*performance*) dari bentonit dilihat dari tingginya persen *removal* warna merah yang dapat dicapai atau banyaknya warna merah yang dapat teradsorb oleh bentonit. Semakin tinggi persen *removal* warna merah yang dapat dicapai oleh bentonit, berarti kinerja bentonit semakin baik dan produk yang dihasilkan semakin baik juga (U.S. Patent 5358915). Dari hasil penelitian didapatkan bahwa *fresh* bentonit memiliki persen removal warna merah dan kuning sebesar 55,45 dan 42,31 %. Sedangkan untuk bentonit bekas, persen removal warna merah dan kuning yang dapat dicapai sebesar 2,97 dan 24,62 %.

Hubungan rasio bentonit bekas/HCl (m/v) terhadap persen removal warna untuk larutan pengestrak NaOH 1,5 % berat dari bentonit bekas dapat dilihat pada **Gambar 1**.

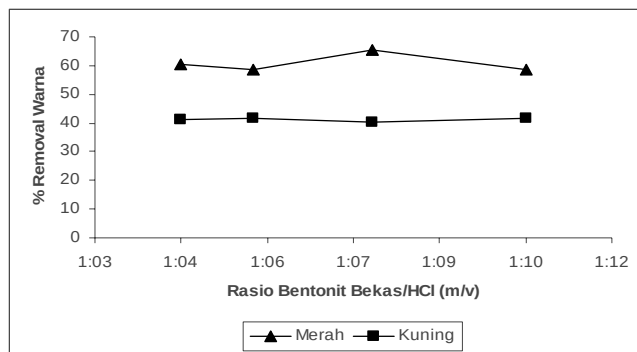


Gambar 1 Hubungan rasio bentonit bekas/HCl (m/v) terhadap persen removal warna untuk larutan pengestrak NaOH 1,5 %

Pada gambar 1, terlihat bahwa persen removal warna merah yang dapat dicapai dengan rasio bentonit bekas/HCl 1:4, 1:6 dan 1:8 (m/v) tidak jauh berbeda, yang berarti pengaruh rasio-rasio tersebut tidak signifikan untuk menaikkan persen removal warna merah. Sementara pada rasio bentonit bekas/HCl 1:10 (m/v), persen

removal warna merah mengalami kenaikan yang signifikan dan mencapai hasil terbaik dengan persen removal warna merah sebesar 70,30 %. Hal ini dikarenakan pada rasio tersebut, kebutuhan ion-ion H^+ untuk menggantikan ion-ion logam yang menutupi pori-pori bentonit bekas telah tercukupi untuk mengembalikan tingkat keasaman yang secara normal dimiliki bentonit, dimana ion H^+ mengikat karoten dalam ikatan van der Waals (Regina, 2002), sehingga kondisi ini dapat memberikan persen removal warna merah yang tinggi.

Hubungan Rasio Bentonit Bekas/HCL (m/v) terhadap persen removal warna untuk larutan pengeksrak NaOH 2,5 % berat dari bentonit bekas dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hubungan rasio bentonit bekas/HCL (m/v) terhadap persen removal warna untuk larutan pengeksrak NaOH 2,5 %

Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa perubahan persen removal warna merah pada rasio bentonit bekas/HCL 1:4, 1:6, 1:8 dan 1:10 (m/v) tidak jauh berbeda. Akan tetapi hasil terbaik diperoleh pada rasio bentonit bekas/HCL 1:8 (m/v) dengan persen removal warna merah sebesar 65,35 %. Sedangkan pada rasio bentonit bekas/HCL 1:4, 1:6, dan 1:10 (m/v) terjadi penurunan persen removal warna merah. Hal ini disebabkan karena pada rasio-rasio tersebut, kebutuhan ion-ion H^+ dari larutan HCL tidak cukup atau berlebih untuk menggantikan ion-ion logam yang menutupi pori-pori bentonit bekas, sehingga dapat mengurangi persen removal warna merah. Pada *lovibond tintometer*, nilai warna merah yang ditunjukkan untuk kedua larutan yaitu untuk larutan NaOH 1,5 % dan 2,5 % berat dari bentonit bekas adalah 3,0 dan 3,5. Berdasarkan U.S. Patent 5358915, minyak tidak dapat diterima apabila nilai warna merah berada diatas 5,0. Maka dapat disimpulkan bahwa CPO hasil pemucatan dengan bentonit bekas hasil regenerasi pada penelitian ini dapat diterima karena memiliki nilai warna merah dibawah 5,0.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, kinerja bentonit hasil regenerasi ini lebih baik dari kinerja *fresh*

bentonit dalam memucatkan CPO dengan persen removal warna merah adalah 70,30 %, sedangkan *fresh* bentonit sebesar 55,45 %. Kondisi regenerasi terbaik pada penelitian ini adalah pada larutan NaOH 1,5 % berat bentonit bekas untuk tahap ekstraksi dan rasio bentonit bekas/HCL 1:10 (massa/volum), dimana CPO hasil pemucatan dengan bentonit bekas hasil regenerasi pada penelitian ini dapat diterima karena memiliki nilai warna merah dibawah 5,0 (yaitu 3,0)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, peneliti mengucapkan terima kasih kepada Ibu Simparmin br. Ginting selaku peneliti utama dan pembimbing dari penelitian yang didanai oleh DIPA-UNILA. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada kepala laboratorium THP-FP Unila, serta Ira dan Sylvia selaku partner penelitian yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Kun-She Low, Chnoong-Kheng Lee, Lee-Yong Kong. 1998. *Decolorisation of CPO by Acid Activated Spent Bleaching Earth. Journal of Chemical Technology and biotechnology*. Vol. 72. hlm 67 – 73.
- Regina, Friga S., 2002, *Kajian Pemucatan Minyak Kelapa Sawit Saebagai Bahan Dasar Rolling Oil dengan Menggunakan Bentomit dan Asam Sitrat*, IPB, Bogor.
- United States patent 5358915. 1997. *Process for Regenerating Spent Acid Activated Bentonite Clays and Smectite Catalysts*.

RASIO BENTONIT BEKAS/HCL PADA REGENERASI BENTONIT BEKAS DENGAN PENGEKSTRAKSI KOH PADA PROSES PEMUCATAN CRUDE PALM OIL (CPO)

SYLVIA INARCE dan SIMPARMIN br. GINTING

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung

E-mail: joeyfatmat_72gar@yahoo.com

ABSTRACT

The regeneration of used benthonite using KOH as extractor has been performed. The research was purposed to reactivate used benthonites, so that the benthonites capacity to remove red color on CPO is much higher, and to obtain the best experimental condition. Regeneration was performed at 3 kinds of stages, namely extraction using KOH, oxidation using H_2O_2 , and washing with HCl-activator. Parameters used in the experiments were KOH concentrations of 1,5 % dan 2,5 %, and ratio of used benthonite/HCl of 1:4, 1:6, 1:8 and 1:10 mass/ volume. The best condition obtained was at KOH concentration of 2.5 % with ratio of used benthonite/HCl of 1:10 m/v. At this best condition, the mean red color produced on *lovibond tintometer* of 4,0 with the mean removal percentage on red color as big as 60,40 %.

Keywords : *Bentonite clays, regeneration, CPO bleaching, adsorbent.*

PENDAHULUAN

Bentonit yang telah digunakan sebagai pengadsorb impuritas pada *Crude Palm Oil* (CPO), lama kelamaan akan terdeaktifasi dikarenakan bentonit tersebut telah menjadi jenuh (seluruh pori-pori telah terisi penuh) atau bentonit tersebut menjadi jenuh karena sisi aktifnya tertutupi oleh impuritas. Hal ini menyebabkan bentonit telah kehilangan daya adsorbnnya dan tidak dapat dipakai lagi sebagai adsorben. Bentonit yang telah terdeaktifasi tersebut jika dibuang ke lingkungan membutuhkan luas permukaan yang besar, misalnya sekitar 250 – 350 m^2/gm , dan ketika bentonit bekas menjadi jenuh dengan minyak-minyak tertahan, bentonit bekas secara spontan menjadi *ignite* (menyebabkan terbakar) sehingga berbahaya bagi lingkungan (United States Patent 5358915). Hal ini membuat proses regenerasi diperlukan sebagai suatu cara untuk mengatasi masalah lingkungan dan untuk memanfaatkan bentonit bekas.

Regenerasi bentonit bekas dapat dilakukan dengan metoda kimia-fisika, yaitu dengan cara penambahan aktifator asam atau basa, dilanjutkan dengan pemanasan. Penambahan larutan aktifator dan pemanasan ini bertujuan untuk menyingkirkan/membersihkan impuritis-impuritis yang menutupi area sisi aktif/ volume pori-pori, sehingga dapat membuka kembali area sisi aktif/ volume pori-pori dari bentonit bekas hasil regenerasi ini. Dengan demikian bentonit

bekas hasil regenerasi ini sudah aktif kembali, dan siap digunakan sebagai adsorben pada tahap pemucatan CPO (Kun-She Low, 1998).

Selain metode kimia-fisika metode lain yang dapat digunakan untuk meregenerasi bentonit bekas adalah dengan proses tiga tahap (United States Patent 5358915). Pada penelitian ini digunakan Metode tiga tahap.

METODE PENELITIAN

1. Ekstraksi dengan larutan alkali (KOH)

Larutan KOH dibuat dengan cara melarutkan 0,75 gram KOH dalam 100 ml *aquades* (untuk rasio 1,5% berat dari bentonit), dan melarutkan 1,25 gram KOH dalam 100 ml *aquades* (untuk rasio 2,5% berat dari bentonit). Setelah itu, larutan KOH dicampur dengan bentonit bekas sebanyak 50 gram, kemudian dipanaskan sampai mendidih, dan disertai pengadukan menggunakan *shaker* selama 20 menit. Setelah 20 menit, pemanasan dan pengadukan campuran dihentikan. Setelah didinginkan lapisan cairan-minyak didekantasi, dan diikuti dengan penencucian bentonit dengan *aquades* sebanyak 200 ml, lalu disentrifugasi untuk memisahkan bentonit dari cairan sisa. Masing-masing dari Bentonit bekas yang telah diekstraksi dengan KOH selanjutnya dioksidasi.

2. Tahap Oksidasi dengan H₂O₂

Bentonit bekas yang telah diekstrak sebanyak 9 gr dicampur dengan 20 ml 30 % berat H₂O₂ dengan pemanasan pada temperatur 85°C. Lalu ditambahkan 5 ml 30 % berat H₂O₂, sampai total 50 ml 30 % berat H₂O₂. Kemudian bentonit bekas yang teroksidasi dicuci menggunakan 200 ml *aquades*, lalu diaduk menggunakan *shaker* selama 30 menit, kemudian disaring untuk memisahkan bentonit bekas dari *aquades*. Setelah itu dilakukan pencucian dengan asam terhadap semua sampel bentonit bekas yang telah dioksidasi.

3. Pencucian dengan Asam

Bentonit bekas yang teroksidasi dikontakkan dengan larutan HCl encer menggunakan *shaker* selama 1 jam pada konsentrasi aktivator HCl 4 % v/v dengan variasi rasio bentonit bekas/HCL sebesar 1:4, 1:6, 1:8 dan 1:10 massa/volume Pencucian dengan asam ini dilakukan untuk kedua rasio KOH yaitu 1,5% berat dari bentonit, dan 2,5% berat dari bentonit pada beragam rasio bentonit bekas/HCL, kemudian bentonit bekas hasil regenerasi yang telah dicuci dengan asam, dicuci dengan menggunakan 200 ml *aquades* lalu diaduk menggunakan *shaker* selama 30 menit, setelah itu disaring untuk memisahkan bentonit bekas teregenerasi dari *aquades*. Bentonit bekas hasil regenerasi dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105°C. Kemudian adsorben bentonit hasil regenerasi tersebut sudah siap digunakan pada proses pemucatan CPO.

4. Tahap Pemucatan CPO

CPO sebanyak 50 g dimasukan dalam gelas beaker lalu dipanaskan sampai mencapai temperatur 70°C. Bentonit bekas hasil regenerasi sebanyak 0,75 g (1,5 % berat CPO) dikontakkan dengan CPO sambil terus diaduk dan dipanaskan hingga mencapai suhu proses yaitu 105°C. Sampel diambil tiap 10 menit kemudian diamati warnanya, pengambilan sampel dihentikan sampai diperoleh warna yang konstan yang berarti keadaan setimbang telah tercapai. Minyak disaring dari bentonit bekas hasil regenerasi dengan menggunakan kertas saring. Minyak yang telah melalui tahap pemucatan ditempatkan dalam *glass cell*. *Glass cell* diletakan dalam Lovibond Tintometer. Warna sampel dicek dengan mengukur rak warna sampai diperoleh warna yang sesuai. Data diperoleh dalam bentuk perbandingan warna merah dan kuning. Data-data yang diperoleh pada penelitian ini didapatkan dengan dua kali pengulangan.

HASIL dan PEMBAHASAN

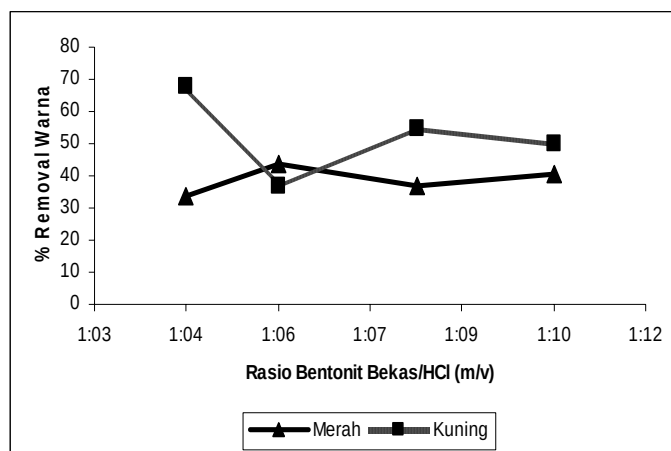
Pada tahap ekstraksi larutan 2,5 % KOH lebih banyak mengekstrak minyak dari bentonit bekas dibandingkan dengan larutan 1,5 % KOH, terlihat dari banyaknya lapisan minyak yang teremulsi oleh larutan 2,5 % KOH.

Tahap oksidasi digunakan untuk memisahkan adsorbat-adsorbat karbon (seperti minyak, karoten pada bentonit bekas) yang tidak terpisahkan oleh tahap ekstraksi. Pada tahap ini oksidan yang digunakan adalah Hidrogen Peroksida (H_2O_2 30 %). Hidrogen Peroksida merupakan *bleaching agent* yang memiliki sifat-sifat pengoksidasi kuat, yang dapat mengoksidasi sampai habis β -carotene dan *a-lecithin* secara sempurna menjadi CO_2 dan H_2O (U.S. Patent 5358915). Setelah dioksidasi bentonit bekas tersebut dicuci dengan menggunakan *aquades* untuk mencuci bentonit bekas dari molekul-molekul karbon serta dari H_2O_2 yang melekat pada bentonit bekas yang diregenerasi.

Kinerja dari bentonit hasil regenerasi ditentukan dari besarnya persen removal warna merah atau banyaknya warna merah yang teradsorb oleh bentonit (U.S Patent 5358915). Dimana pada *fresh* bentonit persen removal warna merah yang didapatkan sebesar 55,45 % dan 42,31 % untuk warna kuning. Sedangkan pada bentonit bekas warna merah yang teradsorb hanya sebesar 2,97 % dan warna kuning sebesar 24,62 %. Dengan warna merah pada *fresh* CPO sebesar 10,1 dan warna kuning sebesar 13,0.

Hasil penelitian untuk larutan KOH rasio 1,5 % berat bentonit pada konsentrasi HCL 4 % (v/v), didapatkan rasio bentonit bekas/HCL yang terbaik yaitu pada rasio 1:6 (massa/volume) dimana persen removal warna merah yag didapatkan sebesar 43,56 %.

Hubungan rasio bentonit bekas/HCl terhadap persen removal warna rata-rata untuk larutan pengestrak KOH 1,5% berat dari bentonit bekas dapat dilihat pada Gambar 1.

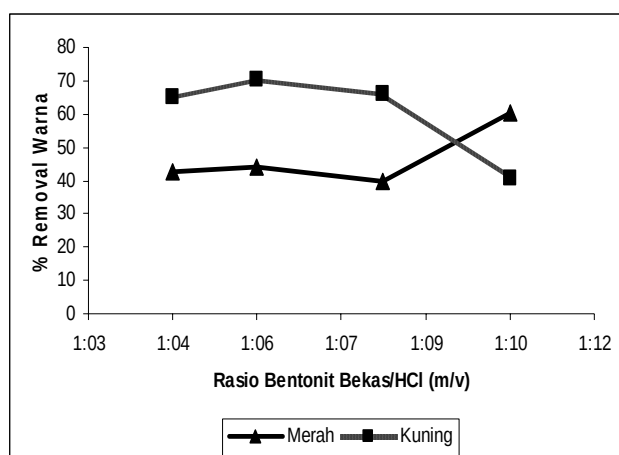


Gambar 1. Hubungan rasio bentonit bekas/HCl terhadap persen removal warna untuk larutan pengestrak KOH 1,5 %

Pada Gambar 1, terlihat bahwa untuk warna merah, pada rasio bentonit bekas/HCl 1:4 sampai 1:6 (m/v) terjadi kenaikan persen removal warna merah. Ini disebabkan kebutuhan ion H^+ dari larutan HCl pada rasio 1:6 (m/v) telah cukup untuk menggantikan ion-ion logam yang menutupi pori-pori bentonit bekas yang telah terlarut pada tahap ekstraksi maupun oksidasi, sehingga dapat mengembalikan tingkat keaktifan dari bentonit bekas dan memberikan persen removal warna merah yang tinggi, dimana ion H^+ ini berfungsi membentuk ikatan bersama yaitu ikatan van der Waals dengan karoten (Regina, 2002). Sebaliknya pada rasio bentonit bekas/HCL 1:6 sampai 1:8 (m/v) terjadi penurunan persen removal warna merah. Hal ini disebabkan karena pada rasio bentonit bekas/HCl 1:8 (m/v) ion H^+ -nya berlebihan, sehingga dapat meningkatkan pembentukan asam lemak bebas pada minyak dan menyebabkan terjadinya pelarutan Al^{3+} , sehingga meningkatkan tingkat oksidasi dan mengurangi daya adsorb adsorben terhadap warna merah (Ketaren, 1987).

Dalam industri minyak yang berperan penting dalam menentukan kualitas minyak adalah warna merah, sedangkan warna kuning hanya mengikuti untuk membentuk warna *orange* (U.S Patent 5358915). Sedangkan untuk konsentrasi KOH 2,5 % berat bentonit didapatkan kondisi regenerasi terbaik pada rasio bentonit bekas/HCL 1:10 m/v pada konsentrasi HCL 4 % v/v yang tetap, dengan persen removal warna merah sebesar 60,4 %.

Hubungan rasio bentonit bekas/HCL (massa/volum) terhadap persen removal warna rata-rata untuk larutan pengestrak KOH 2,5% berat dari bentonit bekas dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pengaruh rasio bentonit bekas/HCL terhadap persen removal warna untuk larutan pengestrak KOH 2,5 %

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa pada rasio bentonit bekas/HCL sebesar 1:8 sampai 1:10 terjadi kenaikan persen removal. Hal ini disebabkan karena pada rasio bentonit bekas/HCL 1:10 m/v, kebutuhan ion H^+ dari larutan HCL telah cukup untuk menggantikan ion-ion logam yang menutupi pori-pori bentonit bekas, maka luas permukaan sisi aktif dari bentonit bekas yang teregenerasi semakin luas, sehingga persen removal pada rasio 1:10 meningkat. Sedangkan pada rasio bentonit bekas 1:4 sampai 1:8 (m/v) terjadi perubahan persen removal warna merah rata-rata yang tidak terlalu signifikan.

Hasil terbaik yang memberikan persentase removal warna merah tertinggi dari masing-masing rasio larutan KOH (1,5% dan 2,5% berat) pada konsentrasi HCL 4 % v/v yang tetap untuk rasio bentonit bekas/HCL (1:6 dan 1:10 m/v) adalah 43,56 % dan 60,4% secara berturut-turut. Ini menandakan bahwa semakin besar konsentrasi larutan KOH semakin besar minyak yang tertahan didalam bentonit bekas yang teremulsi atau teresttrak pada proses tahap ekstraksi.

Berdasarkan U.S Patent 5358915 minyak tidak dapat diterima apabila nilai warna merah yang ditunjukkan pada *Lovibond tintometer* diatas 5,0. Pada penelitian ini warna merah yang didapatkan sebesar 4,0 untuk ekstraksi larutan KOH 2,5 % berat bentonit, konsentrasi HCL 4 % dan rasio bentonit bekas/HCL 1:10. Ini menandakan bahwa CPO dari hasil pemucatan dengan bentonit bekas teregenerasi dapat diterima dipasaran.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, kinerja bentonit hasil regenerasi ini lebih baik dari kinerja *fresh* bentonit dalam memucatkan CPO dengan persen removal warna merah rata-rata adalah 60,40 % dan 55,45 % secara berturut-turut. Kondisi regenerasi terbaik diperoleh saat ekstraksi dengan larutan KOH 2,5 % berat bentonit, konsentrasi HCL 4% (volum/volum) dengan rasio bentonit bekas/HCL 1:10 m/v.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Ibu Simparmin br Ginting selaku peneliti utama dan pembimbing penelitian yang didanai oleh DIPA-UNILA, juga kepada Kepala Laboratorium Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Lampung, serta Ira dan Joey sebagai patner penelitian, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Kun - She Low, Chnoong - Kheng Lee, Lee - Yong Kong. 1998. *Decolorisation of CPO by Acid Activated Spent Bleaching Earth. Journal of Chemical Technology and biotechnology*. Vol. 72. hlm 67 – 73.
- Regina, Friga S., 2002, *Kajian Pemucatan Minyak Kelapa Sawit Saebagai Bahan Dasar Rolling Oil dengan Menggunakan Bentomit dan Asam Sitrat*, IPB, Bogor.
- United States patent 5358915. 1997. *Process for Regenerating Spent Acid Activated Bentonite Clays and Smectite Catalysts*.

ESTIMASI NILAI TEMPERATUR FORMASI PADA SUMUR MINYAK MENGGUNAKAN METODE CORE DAN LOG

ORDAS DEWANTO¹⁾ dan HERMANTO²⁾

¹⁾ Jurusan Fisika FMIPA Unila

Telp: 0721-7439329, email: ordas@unila.ac.id

²⁾ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Lampung

ABSTRAK

Nilai temperatur di dalam suatu ruang batuan merupakan parameter yang penting dalam proses memprediksi kematangan hidrokarbon di dalam batuan sedimen atau karbonat, selain itu dapat digunakan juga sebagai salah satu dasar penelitian yang berhubungan dengan reservoir panas bumi. Riset ini memperkirakan besarnya temperatur pada masing-masing kedalaman, dengan syarat sumur tersebut diketahui harga temperatur permukaan dan *Bore Hole Temperature (BHT)* nya. Metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai temperatur tersebut adalah dengan cara mengembangkan konsep dasar aliran panas bumi yang diharapkan dapat membantu menentukan nilai temperatur pada masing-masing kedalaman formasi, yaitu dengan cara pengukuran core di laboratorium dan perhitungan berdasarkan data log. Riset ini menghasilkan perkiraan nilai temperatur berdasarkan hasil perhitungan konduktivitas panas batuan, mempunyai nilai yang hampir sama dengan nilai temperatur berdasarkan hasil pengukuran konduktivitas panas batuan, untuk masing-masing formasi pada sumur minyak. Nilai-nilai temperatur pada sumur A-1 dengan kedalaman 6443.4 ft berkisar antara 27°C (dari permukaan) sampai 127°C (basement), sedangkan sumur B-1 dengan kedalaman 4606 ft berkisar antara 30°C (dari permukaan) sampai 100°C (basement).

Kata Kunci: temperatur, konduktivitas panas batuan, formasi

PENDAHULUAN

Temperatur dapat mempengaruhi zat organik yang terkandung dalam sedimen. Peningkatan temperatur akan mengubah minyak bumi berat menjadi minyak bumi ringan, kemudian menjadi kondensat dan terakhir hanya gas. Kecepatan pembentukan minyak bumi dari pembebasan lemak atau lipid dari kerogen merupakan suatu proses yang berhubungan dengan temperatur, yang bersifat eksponensial dan dimulai pada temperatur di sekitar 93°C (Klemme, 1972). Nilai temperatur di dalam suatu ruang batuan merupakan parameter yang penting dalam proses memprediksi kematangan hidrokarbon di dalam batuan sedimen atau karbonat, selain itu dapat digunakan juga sebagai salah satu dasar penelitian yang berhubungan dengan reservoir panas bumi. Panas yang mengalir dari bawah ke atas menyebar menuju ke permukaan bumi mempengaruhi ruang batuan, sehingga pada setiap ruang batuan

mempunyai temperatur. Temperatur pada masing-masing ruang batuan berbeda-beda, karena adanya porositas dan konduktivitas panas yang berbeda, serta adanya perbedaan tekanan hidrostatik dari batuan tersebut (Nakayama dan Lerche, 1987). Pada sumur pengeboran biasanya dilakukan pengukuran langsung (logging), untuk mengetahui harga temperatur pada setiap kedalaman yang sudah ditentukan. Pengukuran temperatur ini biasanya dilakukan tidak secara menyeluruh pada sumur tersebut, bahkan ada yang hanya dilakukan pengukuran pada dasar sumur saja (BHT).

Riset ini memperkirakan besarnya temperatur pada masing-masing kedalaman, dengan syarat sumur tersebut diketahui harga temperatur permukaan dan *Bore Hole Temperature (BHT)* nya. Metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai temperatur tersebut adalah dengan cara mengembangkan konsep dasar aliran panas bumi yang diharapkan dapat membantu menentukan nilai temperatur pada masing-masing kedalaman formasi, yaitu dengan cara: (a) menghitung konduktivitas panas kelompok formasi; (b) menghitung gradien temperatur kelompok formasi; (c) menghitung heat flow. Kemudian ketiga parameter (a, b, c) tersebut sebagai dasar untuk menentukan perubahan kedalaman pada setiap kenaikan temperatur 10°C atau 5°C. Kontribusi penelitian ini adalah: (1) Nilai temperatur pada masing-masing formasi dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk menghitung jumlah kalor dalam batuan reservoir; (2) Nilai Temperatur yang dihasilkan merupakan parameter pokok untuk mendukung estimasi kematangan hidrokarbon (migas).

BAHAN dan METODE

Penelitian ini merupakan penelitian laboratorium yang meliputi: 1) Analisa dan pengukuran batuan; 2) Pengolahan dan analisa data; 3) Pembuatan laporan hasil; 4) Persiapan seminar dan presentasi hasil penelitian. Data-Data yang diperlukan yaitu: BHT (*Bore Hole Temperature*), stratigrafi (litologi) dan umur batuan, konduktivitas panas batuan, gradien temperatur, heat flow (Q) dan Data Log sumur (sebagai pendukung)

1. Analisa dan Pengukuran Batuan

Batuan yang dianalisa menggunakan batuan berupa *conventional plug pore*, yaitu sampel batuan dari formasi hasil pengeboran secara vertikal. Pemilihan litologi batuan digunakan litologi batuan yang sesuai dengan data lapangan. Untuk mengukur konduktivitas panas batuan dipergunakan alat yang disebut *three needle device* atau *three needle control box*. Alat pengukur konduktivitas panas batuan *three needle device* adalah modifikasi dari peralatan yang dipergunakan oleh Von Herzen dan Maxwell (1959), yaitu *hot needle device* yang dipakai pada pengukuran sedimen dasar samudera. Alat pengukur konduktivitas panas *three needle device* terdiri dari beberapa blok rangkain antara lain, Sensor, Control BOX, dan Recorder.

2. Pengolahan Data

Konduktivitas panas kelompok formasi (K_{KF}) adalah kemampuan suatu kelompok formasi pada sumur untuk menghantarkan panas. Harga konduktivitas panas kelompok formasi (K_{KF}) ditentukan dengan cara perhitungan berdasarkan harga konduktivitas panas formasi dan ketebalan dalam kelompok formasi tersebut. Cara penentuannya yaitu dengan menjumlahkan masing-masing harga konduktivitas panas formasi yang ada pada kelompok formasi tersebut. Konduktivitas panas kelompok formasi ini diperlukan untuk kepentingan penentuan temperatur sumur. Penentuan kelompok formasi ini disesuaikan dengan kondisi dari formasi pada sumur tersebut.

Konduktivitas panas sumur (K_{SM}) adalah konduktivitas panas yang dihitung dari kedalaman akhir sumur sampai dengan permukaan. Harga konduktivitas panas sumur (K_{SM}) ditentukan dengan cara perhitungan berdasarkan harga konduktivitas panas formasi dan ketebalan formasi tersebut. Cara penentuannya yaitu dengan menjumlahkan masing-masing harga konduktivitas panas formasi yang ada pada sumur tersebut.

Selanjutnya menentukan gradien temperatur sumur, menghitung *heat flow*, menghitung gradien temperatur kelompok formasi, membuat model untuk menentukan perubahan kedalaman pada setiap kenaikan temperatur 10°C , dan terakhir memperkirakan nilai temperatur pada masing-masing kedalaman formasi.

3. Analisa Hasil

- a. Membuat model gambar perbedaan kedalaman pada setiap bertambah temperatur 10°C .
- b. Menganalisis nilai temperatur pada masing-masing kedalaman formasi.

HASIL dan PEMBAHASAN

Penelitian ini mengenai estimasi temperatur formasi pada dua sumur dengan memakai metode core dan log. Sumur pertama dengan nama A-1 mempunyai kedalaman total 6443.4 ft (1963.9 m). Sumur kedua dengan nama B-1 mempunyai kedalaman total 4606 ft (1403.8 m). Dua sumur tersebut terletak pada suatu daerah di Cekungan Sumatera Tengah.

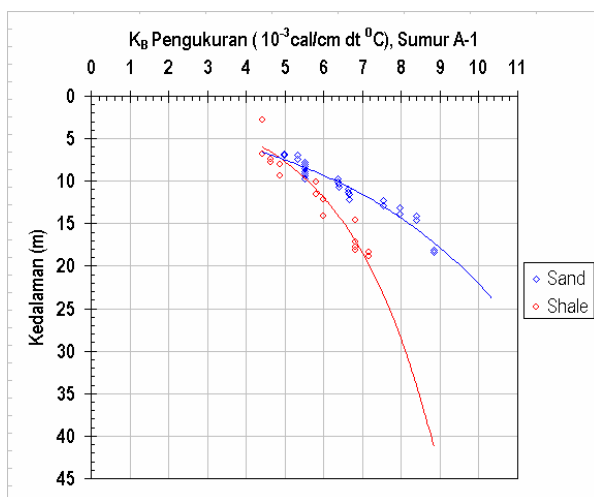
Perkiraan temperatur pada masing-masing formasi dilakukan dengan mengukur dan menghitung konduktivitas panas batuan (K_B), *heat flow* (Q) dan *gradien temperatur* (GT). Heat Flow adalah aliran panas yang berasal dari dalam bumi mengalir ke permukaan yang melewati suatu ruang/material batuan. Karena sifat dan kepadatan atau kekompakan dari batuan berbeda-beda, maka harga heat flow (Q) untuk setiap sumur pada suatu daerah juga berbeda-beda

disamping itu tentunya ada yang sama. Terjadinya perbedaan harga heat flow tersebut, selain adanya perbedaan gradien temperatur dipengaruhi juga oleh konduktivitas panas batuan (K_B) pada batuan tersebut. Konduktivitas panas batuan dapat ditentukan dari pengukuran perconton batuan (core) langsung di laboratorium. Selain itu dapat juga ditentukan dengan perhitungan berdasarkan harga porositas batuan tersebut (data log). Peneliti menentukan harga konduktivitas panas batuan (K_B) dengan cara pengukuran langsung dan perhitungan.

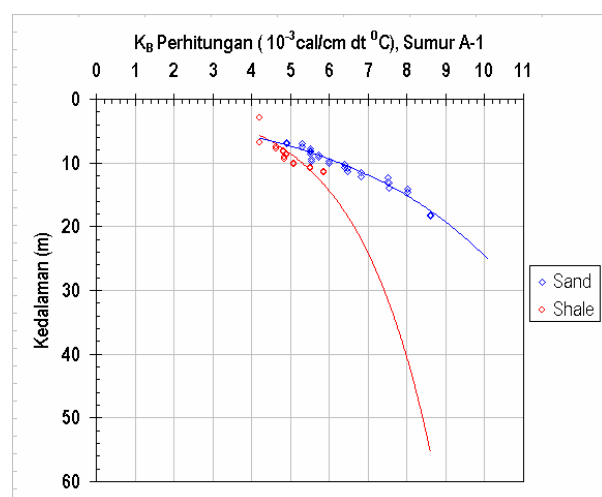
1. Konduktivitas Panas Batuan

Pada sumur A-1 dan B-1, semakin bertambah kedalamannya, konduktivitas panas batuan (untuk *sand* dan *shale*) semakin besar. Hubungan antara K_B dengan kedalaman (Z), menunjukkan hubungan yang eksponensial, terlihat pada Gambar 1 s/d 4. Semakin bertambah kedalaman (Z), K_B semakin membesar. Harga K_B yang berbeda tersebut, dipengaruhi oleh banyak faktor.

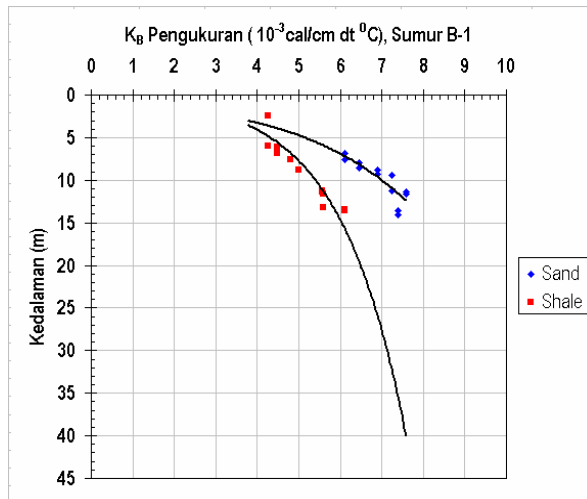
Harga konduktivitas panas batuan yang diperoleh dengan cara mengukur *core* di laboratorium, mempunyai harga yang hampir sama dengan cara perhitungan konduktivitas panas batuan berdasarkan data log. Dari persamaan $K_B = K_F^\phi \times K_S^{1-\phi}$ (Nakayama, 1987), jelas sekali bahwa ϕ sangat mempengaruhi konduktivitas panas batuan. Pada Gambar 5 s/d 8, menunjukkan grafik hubungan antara ϕ dan K_B . Grafiknya menunjukkan hubungan yang eksponensial, terlihat bahwa semakin kecil harga ϕ , K_B semakin besar. Sesuai dengan teori bahwa semakin bertambah kedalaman (Z), harga ϕ akan menurun secara eksponensial (Sclater dan Christie, 1980).



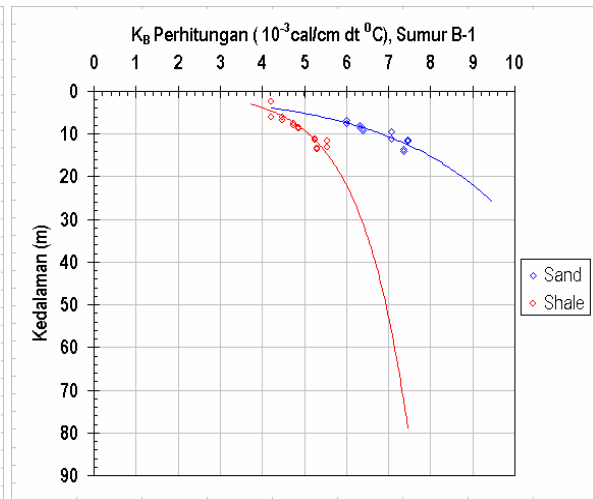
Gambar 1
Hubungan antara konduktivitas panas batuan hasil pengukuran core terhadap kedalaman pada Sumur A-1



Gambar 2
Hubungan antara konduktivitas panas batuan hasil perhitungan (data log) terhadap kedalaman pada Sumur A-1



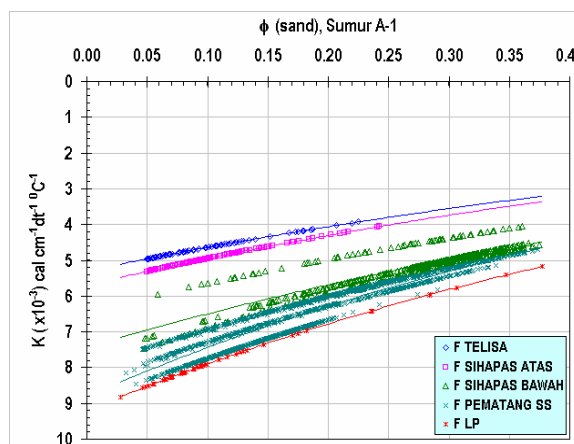
Gambar 3
Hubungan antara konduktivitas panas batuan hasil pengukuran core terhadap kedalaman pada Sumur B-1



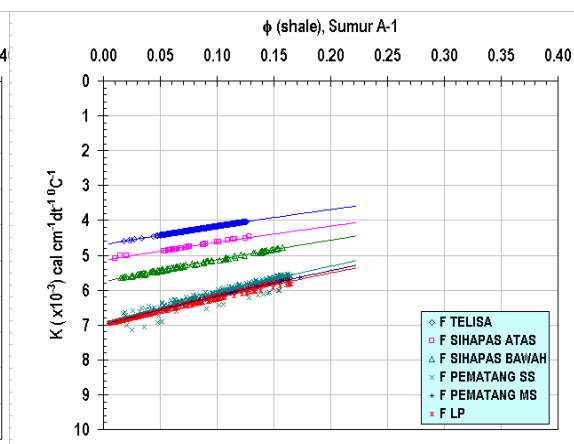
Gambar 4
Hubungan antara konduktivitas panas batuan hasil perhitungan (data log) terhadap kedalaman pada Sumur B-1

Harga porositas (ϕ) yang menurun secara eksponensial setiap bertambah kedalamannya disebabkan karena adanya pengaruh tekanan *overburden*, yang mempengaruhi setiap ruang batuan di dalam bumi. Sehingga ruang batuan tersebut mempunyai bentuk dan sifat yang berbeda-beda. Diantaranya adalah harga ϕ pada batuan tersebut, yang menjadi kecil setiap bertambah kedalamannya (Nakayama, 1987, dari Rubey dan Hubbert, 1959). Karena harga ϕ semakin kecil, maka K semakin besar setiap bertambah kedalamannya.

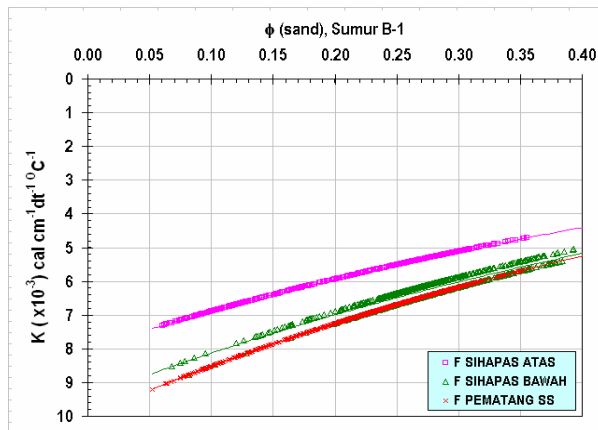
Perbedaan harga ϕ tersebut juga dipengaruhi oleh temperatur. Kita lihat pada sumur A-1 dan B-1, perubahan harga ϕ dan K, tidak terlalu besar untuk setiap bertambah kedalamannya. Hal tersebut bukan berarti tekanan tidak mempunyai pengaruh, tetapi di daerah kedua sumur tersebut tidak terjadi *over pressure*. Jika kita bandingkan harga konduktivitas panas pada sumur A-1 dan B-1, terjadi perbedaan yang tidak begitu besar.



Gambar 5
Hubungan antara konduktivitas panas batuan hasil pengukuran terhadap porositas sand, pada Sumur A-1

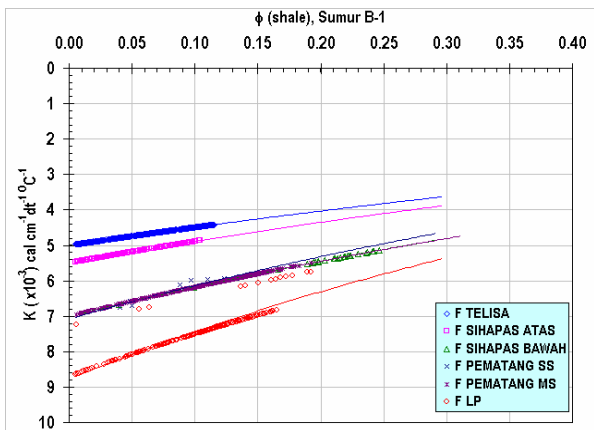


Gambar 6
Hubungan antara konduktivitas panas batuan hasil pengukuran terhadap porositas shale, pada Sumur A-1



Gambar 7

Hubungan antara konduktivitas panas batuan hasil pengukuran terhadap porositas sand, pada Sumur B-1



Gambar 8

Hubungan antara konduktivitas panas batuan hasil pengukuran terhadap porositas shale, pada Sumur B-1

3.2 Temperatur Formasi

Dari hasil perhitungan K_B , untuk Formasi Minas sumur A-1 (0-170 m), mempunyai $K_F = 4.14 \times 10^{-3}$ cgs, dan Formasi Minas, sumur B-1 (0-120 m), mempunyai $K_F = 4.52 \times 10^{-3}$ cgs. Terjadi perbedaan harga K_F , karena pada Formasi Minas, sumur B-1, hanya mempunyai satu macam litologi yaitu *sand* dengan ketebalan 120 m. Sedangkan Formasi Minas, sumur A-1, terdiri dari litologi *shale* dengan ketebalan 75 m dan *sand* dengan ketebalan 95 m. Litologi Formasi Minas, pada sumur A-1 dan B-1, masing-masing mempunyai umur yang sama. Hal ini sesuai dengan teori *thermal conductivity*, bahwa pada kondisi dekat permukaan, K_{SAND} lebih besar dari pada K_{shale} (Gretener, 1982). Nilai temperature pada formasi Minas untuk Sumur A-1 berkisar antara 27°C s/d 37°C, dan Sumur B-1 berkisar 30°C s/d 40°C, ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

Formasi Petani, sumur A-1 (170-284 m), mempunyai $K_F = 4.26 \times 10^{-3}$ cgs dan Formasi Petani, sumur B-1 (120-240 m), mempunyai $K_F = 3.97 \times 10^{-3}$ cgs. Masing-masing mempunyai litologi *shale* dan umur yang sama. Tampak bahwa Formasi Petani, sumur A-1, mempunyai harga konduktivitas panas batuan yang lebih besar dibandingkan Formasi Petani, sumur B-1. Karena litologi pada Formasi Petani, sumur A-1, berada pada daerah yang lebih dalam (170-284 m), dimana tekanan yang mempengaruhi ruang batuan lebih besar sehingga mempengaruhi harga ϕ . Akibatnya konduktivitas panas batuan berubah, sesuai dengan grafik hubungan K_B vs ϕ dan K_B vs Z (lihat Gambar 4.1 s/d 4.8). Nilai temperature pada formasi Petani untuk Sumur A-1 berkisar antara 37°C s/d 47°C, dan Sumur B-1 bernilai $\pm 40^\circ\text{C}$, ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

Formasi Telisa, sumur A-1 (284-698 m), mempunyai $K_F = 4.23 \times 10^{-3}$ cgs dan Formasi Telisa, sumur B-1 (240-605 m), mempunyai $K_F = 4.22 \times 10^{-3}$ cgs. Pada Formasi Telisa, sumur A-1 terdiri dari litologi *shale* atau *clay* dengan ketebalan 394 meter, dan *sand* dengan ketebalan 20 meter, sumur B-1 hanya mempunyai satu macam

litologi yaitu clay dengan ketebalan 365 meter. Litologi Formasi Telisa, sumur A-1 mempunyai umur yang sama dengan litologi sumur B-1. Tampak bahwa Formasi Telisa, sumur A-1 mempunyai harga konduktivitas panas batuan yang lebih besar dibandingkan sumur B-1. Karena litologi pada Formasi Telisa, sumur A-1, selain mempunyai umur yang sama, juga berada pada daerah yang lebih dalam (284-698 m), dimana tekanan yang mempengaruhi ruang batuan lebih besar, sehingga mempengaruhi harga ϕ . Dan juga pada Formasi Telisa, sumur A-1 terdapat litologi *sand*. Akibatnya konduktivitas panas batuan lebih besar. Nilai temperature pada formasi Telisa untuk Sumur A-1 berkisar antara 47°C s/d 67°C, dan Sumur B-1 berkisar 50°C s/d 60°C, ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

Formasi Sihapas Atas, pada sumur A-1 (698-778 m) mempunyai harga $K_F = 4.95 \times 10^{-3}$ cgs, dan sumur B-1 (605-685 m), $K_F = 4.47 \times 10^{-3}$ cgs. Masing-masing mempunyai umur yang sama. Formasi Sihapas Atas, sumur A-1 mempunyai harga K_F yang lebih besar, karena litologi pada Formasi Sihapas Atas, sumur A-1, berada pada daerah yang lebih dalam (698-778 m), dimana tekanan yang mempengaruhi ruang batuan lebih besar, sehingga mempengaruhi harga ϕ . Akibatnya konduktivitas panas batuan lebih besar. Bentuk litologinya juga berpengaruh terhadap konduktivitas panas batuan (Gretener, P.E., 1982), dimana pada Formasi Sihapas Atas, sumur A-1 mempunyai litologi *shale* (40 meter) dan *sand* (40 meter), sedangkan sumur B-1 mempunyai litologi *claystone* (80 meter). Nilai temperature pada formasi Sihapas-Up untuk Sumur A-1 berkisar antara 67°C s/d 77°C, dan Sumur B-1 berkisar 60°C s/d 70°C, ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

Untuk Formasi Sihapas Bawah, sumur A-1 (778-969 m) mempunyai harga $K_F = 5.25 \times 10^{-3}$ cgs, dan Formasi Sihapas Bawah, sumur B-1 (685-930 m) mempunyai harga $K_F = 5.79 \times 10^{-3}$ cgs. Masing-masing mempunyai umur yang sama. Tampak pada Formasi Sihapas Bawah, sumur B-1 mempunyai harga konduktivitas panas batuan yang lebih besar dibandingkan sumur A-1. Karena pada Formasi Sihapas Bawah, sumur B-1 mempunyai litologi *sand* yang lebih banyak (dominan). Formasi Sihapas Bawah, sumur A-1, mempunyai dua macam litologi yaitu *sand* (111m) dan *shale* (80m), sedangkan sumur B-1, juga mempunyai dua macam litologi yaitu *sand* (185m) dan *shale* (60m). Tampak dominasi litologi *sand* terdapat pada Formasi Sihapas Bawah, sumur B-1. Hal ini sesuai dengan teori *thermal conductivity*, bahwa pada kondisi dekat permukaan, K_{SAND} lebih besar dari pada K_{SHALE} (Gretener, P.E., 1982). Akibatnya konduktivitas panas batuan lebih besar harganya. Untuk Formasi Sihapas Bawah kedua sumur berada pada kedalaman yang hampir sama, sehingga faktor kedalaman pengaruhnya kecil terhadap K_F . Nilai temperature pada formasi Sihapas Bawah untuk Sumur A-1 berkisar antara 77°C s/d 87°C, dan Sumur B-1 berkisar 70°C s/d 80°C, ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

Formasi “Pematang Sand Stone”, sumur A-1 (969-1457 m), harga $K_F=6.65 \times 10^{-3}$ cgs, dan sumur B-1 (930-1160 m), mempunyai $K_F = 6.90 \times 10^{-3}$ cgs. Formasi “Pematang Sand Stone”, sumur A-1, mempunyai dua macam litologi yaitu *sand* (368 meter) dan *shale* (120 meter). Sedangkan sumur B-1, mempunyai dua macam litologi, yaitu *sand* (210 meter) dan *shale* (20 meter). Litologi Formasi “Pematang Sand Stone”, sumur A-1 mempunyai umur yang sama dengan sumur B-1. Jika kita lihat keadaan pada Formasi “Pematang Sand Stone” ini, tentunya K_F pada sumur A-1 lebih besar dari pada sumur B-1. Tetapi ternyata pada sumur B-1 harga K_F nya lebih besar. Hal tersebut dapat terjadi karena K_F ini ditentukan dengan cara perhitungan berdasarkan porositas (ϕ). Dan pada Formasi “Pematang Sand Stone”, sumur A-1 mempunyai harga porositas (ϕ) yang bagus (besar), sedangkan pada sumur B-1 mempunyai harga porositas (ϕ) yang kurang bagus (kecil). Sesuai dengan grafik hubungan antara K_B vs ϕ , bahwa jika porositas semakin kecil maka konduktivitas panas batuan semakin besar. Nilai temperature pada formasi Pematang SS untuk Sumur A-1 berkisar antara 87°C s/d 97°C, dan Sumur B-1 berkisar 80°C s/d 90°C, ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

Formasi “Pematang Mud Stone”, pada sumur A-1 (1457-1719 m) mempunyai harga $K_F=6.60 \times 10^{-3}$ cgs, dan pada sumur B-1 (1160-1318 m) mempunyai $K_F=5.55 \times 10^{-3}$ cgs. Litologi Formasi “Pematang Mud Stone”, untuk kedua sumur tersebut adalah *mudstone* atau *shale*. Umur Litologi Formasi “Pematang Mud Stone”, sumur A-1 lebih muda dibanding sumur B-1. Tampak pada Formasi “Pematang Mud Stone”, sumur A-1 mempunyai K_F yang lebih besar, meskipun umurnya lebih muda. Hal tersebut disebabkan karena litologi pada Formasi “Pematang Mud Stone”, sumur A-1 berada pada kedalaman yang sangat dalam dibandingkan sumur B-1. Sehingga tekanan yang mempengaruhi ruang batuan sangat besar, kemudian mempengaruhi harga ϕ (kecil), dan konduktivitas panas batuan nya besar. Nilai temperature pada formasi Pematang MS untuk Sumur A-1 berkisar $\pm 107^\circ\text{C}$, dan Sumur B-1 berkisar 90°C s/d 100°C, ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

Formasi “Pematang Brown Shale”, sumur A-1 (1719-1780 m) mempunyai $K_F = 6.8 \times 10^{-3}$ cgs, dan sumur B-1 (1318-1342 m) mempunyai $K_F = 5.08 \times 10^{-3}$ cgs. Litologi Formasi “Pematang Brown Shale”, untuk kedua sumur tersebut adalah *coal*. Umur litologi Formasi “Pematang Brown Shale”, pada sumur A-1 lebih tua dibanding sumur B-1. Tampak pada Formasi Pematang BRSH, sumur A-1 mempunyai K_F yang lebih besar, meskipun umurnya lebih pendek. Hal tersebut disebabkan karena litologi pada Formasi “Pematang Brown Shale”, sumur A-1 berada pada kedalaman yang sangat dalam dibandingkan sumur B-1. Dimana tekanan yang mempengaruhi ruang batuan sangat besar, sehingga mempengaruhi harga ϕ (kecil), dan K_B besar. Nilai temperature pada formasi BRS untuk Sumur A-1 berkisar antara 107°C s/d 117°C, dan Sumur B-1 berkisar 90°C s/d 100°C, ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

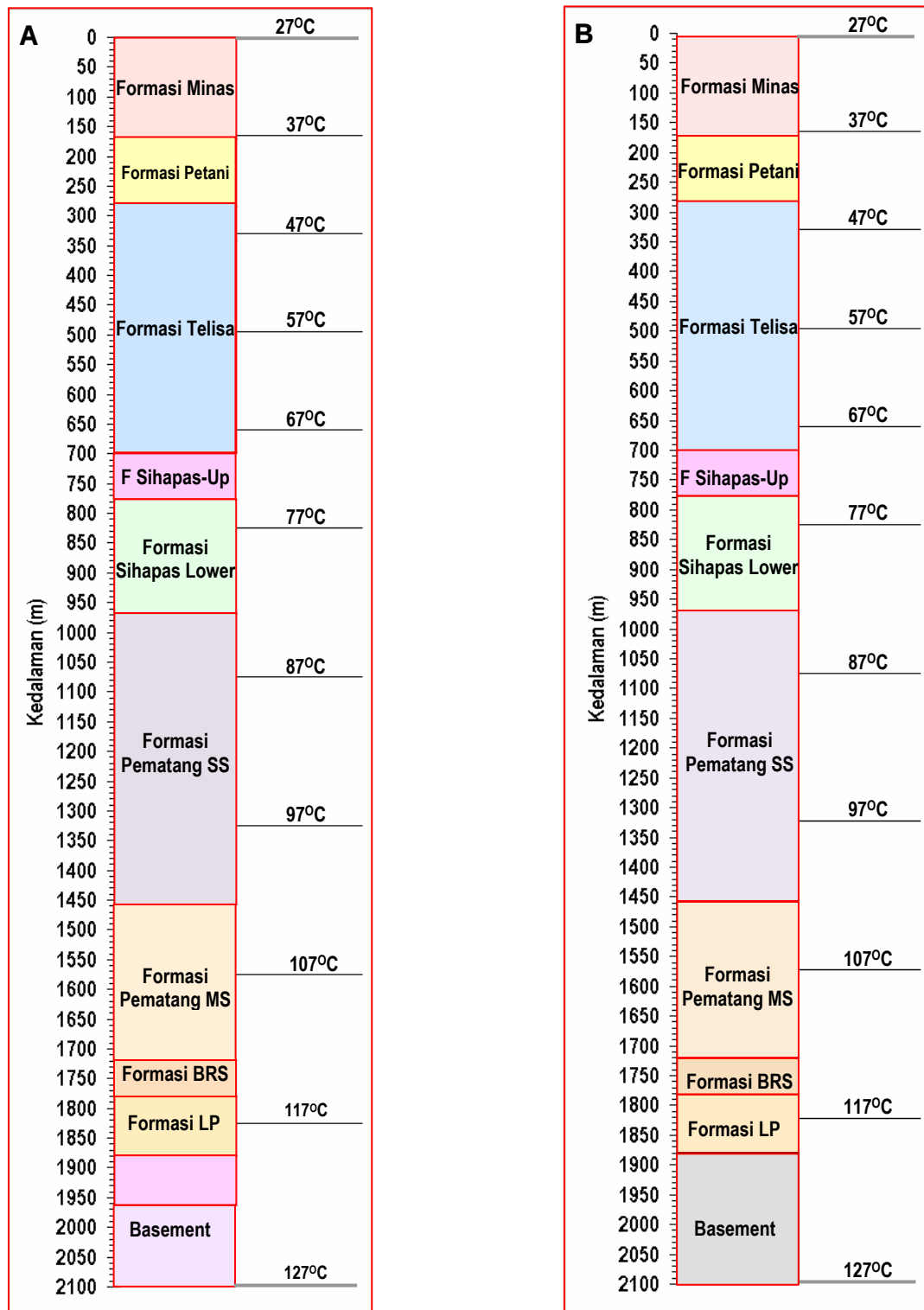
Formasi “Pematang LP”, sumur A-1 (1780 - 1880 m) mempunyai $K_F=7.01 \times 10^{-3}$ cgs, dan sumur B-1 (1342-1362 m), mempunyai $K_F=5.30 \times 10^{-3}$ cgs. Formasi “Pematang LP”, sumur A-1 mempunyai dua macam litologi yaitu *sand* (25 meter) dan *shale* (75 meter), sedangkan sumur B-1 mempunyai satu macam litologi, yaitu *shale* (20m). Litologi Formasi “Pematang LP”, untuk sumur A-1 mempunyai umur yang lebih tua dibanding sumur B-1. Pada Formasi “Pematang LP”, sumur A-1 mempunyai harga K_F yang lebih besar dibanding sumur B-1, meskipun umurnya sama. Hal tersebut disebabkan karena litologi pada Formasi “Pematang LP”, sumur A-1 berada pada kedalaman yang sangat dalam dibandingkan sumur B-1. Sehingga tekanan yang mempengaruhi ruang batuan sangat besar, sehingga mempengaruhi harga ϕ (kecil), dan konduktivitas panas batuan (besar). Nilai temperature pada formasi LP untuk Sumur A-1 berkisar $\pm 117^\circ\text{C}$ dan Sumur B-1 berkisar 90°C s/d 100°C , ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.

Sekarang kita tinjau hasil pengukuran *core*, dalam penentuan konduktivitas panas batuan. Perbandingan K_F sumur A-1 dan B-1 dari hasil pengukuran konduktivitas panas batuan, mempunyai kesamaan dengan hasil perhitungan konduktivitas panas batuan. Faktor-faktor yang mempengaruhi harga K_F sumur A-1 dan B-1, sama dengan hasil perhitungan K_B .

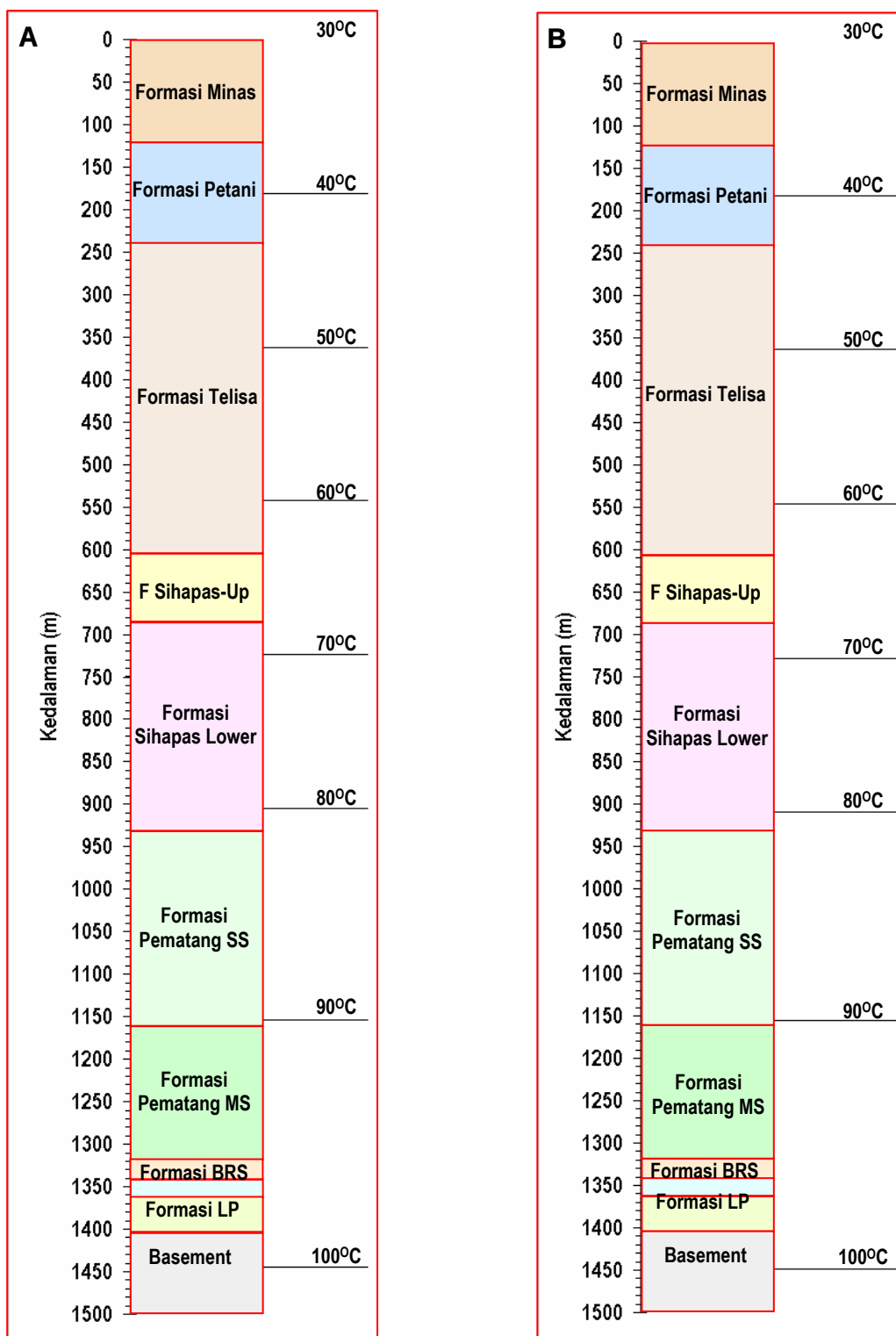
KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data, pembahasan dan analisa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Konduktivitas panas batuan yang diperoleh dengan cara mengukur *core* di laboratorium ($K_B \rightarrow$ pengukuran), mempunyai harga yang hampir sama (selisihnya kecil), dengan cara perhitungan konduktivitas panas batuan berdasarkan ϕ ($K_B \rightarrow$ perhitungan).
2. Hasil nomor 1 menyebabkan nilai-nilai K_{FM} , K_{KFM} , GT , K_{SM} , dan Heat Flow mempunyai harga yang sama dari hasil pengukuran dan perhitungan K_B (untuk sumur A-1 dan B-1).
3. Perkiraan nilai temperatur berdasarkan hasil perhitungan konduktivitas panas batuan, mempunyai nilai yang hampir sama dengan nilai temperatur berdasarkan hasil pengukuran konduktivitas panas batuan, untuk masing-masing formasi pada sumur minyak (ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10).
4. Nilai-nilai temperatur pada sumur A-1 dengan kedalaman 6443.4 ft (1963.9 m), berkisar antara 27°C (dari permukaan) sampai 127°C (basement), sedangkan sumur B-1 dengan kedalaman 4606 ft (1403.8 m), berkisar antara 30°C (dari permukaan) sampai 100°C (basement), ditunjukkan dalam Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Nilai temperatur masing-masing formasi pada Sumur A-1 berdasarkan hasil pengukuran K_B (A) dan perhitungan K_B (B)



Gambar 10. Nilai temperatur masing-masing formasi pada Sumur B-1 berdasarkan hasil pengukuran K_B (A) dan perhitungan K_B (B)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Dr. Sandjojo Subono dan Siswoyo (Lemigas Jakarta), yang telah banyak membimbing dalam menyelesaikan riset ini.
2. Lemigas Jakarta dan Kondur Petroleum, yang telah mengijinkan kami mendapatkan beberapa literatur yang berhubungan dengan riset ini.
3. Roviky (Kondur Petroleum), Ginanjar (Chevron Jakarta) dan Muh Dahyar (Geofisika Universitas Indonesia), yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan riset ini, terutama dalam pengolahan data log.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewanto, O., 2001, Analisa Hubungan Aliran Panas Bumi Terhadap Awal Maturasi Hidrokarbon pada Cekungan Minyak di Jawa Barat-Utara. *Jurnal Sains dan Teknologi Unila* ISSN 0853-733X Vol. 7 No. 3, Tahun 2001 hal. 29-42.
- Dewanto, O., 2002, Analisa Hubungan Porositas Terhadap Konduktivitas Panas Batuan Hasil Pengukuran dan Perhitungan pada Sumur Minyak, *Jurnal Sains dan Teknologi Unila* ISSN 0853-733X Vol. 8 No. 2, Tahun 2002 hal. 27-41.
- Dresser Atlas, 1982, *Well Logging and Interpretation Techniques, The Course For Home Study*, Dresser Industries Inc., p. 22-32, 39-94, 102-129, 165-178.
- Eckman, D.P., 1958, 'Automatic Process Control', *Wiley Eastern Private Limited, New Delhi*, p.22-26.
- Gretener, P.E., 1982, *Geothermics: Using Temperature in Hydrocarbone Exploration*, Short Course San Francisco Annual Meeting May 1981, The American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma, USA, p.1-67.
- Klemme, H.D., 1972, *Heat Influences size of oil giants-geothermal gradients*, *The Oil and Gas J.*, Juli 17, p. 136-144 (pt.I), dan July 24, p. 76-78 (pt.II).
- Koesoemadinata, R.P., 1978, *Geologi Minyak dan Gas Bumi*, ITB, Bandung, p. 194-204.
- Landes, K.K., 1967, 'Eometamorphism, and oil and gas in time and space', *Am. Assoc. Petroleum Geol. Bull.*, v.44, n.10, p. 1682-1691.

- Nakayama, K., 1987, 'Hydrocarbon-Expulsion Model and Its Application to Niigata Area Japan', *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.71, No.7 (July 1987), p. 810-812, 2 Figs.
- Nakayama, K., and Lerche, I., 1987, 'Basin Analysis by Model Simulation: Effect of Geologic Parameters on 1D and 2D Fluid Flow Systems with Applications to an Oil Field', *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc Trans*, v.37, p.175-184.
- Siswoyo dan S. Subono, 1995, 'Heat Flow, Hydrocarbon Maturity and Migration in Northwest Java', *CCOP Technical Bulletin*, March 1995, Vol. 25, p. 23-36.
- Subono, S., dan Siswoyo, 1995, 'Thermal Studies of Indonesian Oil Basin', *CCOP Technical Bulletin*, March 1995, Vol. 25, pp. 37 to 54.

PENGGUNAAN *MATHEMATICA* UNTUK PENYESUAIAN KURVA SINUSOID DAN PEROLEHAN BENTUK *DERET FOURIER* SEBAGAI MODEL MATEMATIS

Studi Kasus: (*Debit Air Dps Way Besai Sumber Jaya-Lampung*)

LA ZAKARIA

Jurusan Matematika, FMIPA Unila

ABSTRAK

Penyesuaian kurva (*curve fitting*) umumnya digunakan untuk mendisain model matematis yang bersesuaian dengan data pengamatan langsung (empiris). Untuk mendapatkan model matematis terhadap data sinusoid (bergetar dan berperiodik) sangat dianjurkan menggunakan aproksimasi yang bersesuaian dengan data yang diberikan. Aproksimasi dengan menggunakan deret Fourier merupakan suatu pilihan yang tepat untuk mendapatkan model matematis untuk data sinusoid. Namun aproksimasi dengan deret seharusnya melibatkan orde (suku) yang lebih banyak karena semakin tinggi orde semakin akurat aproksimasi yang dilakukan. Artikel ini, memaparkan teknik menggunakan komputer berbasis *MATHEMATICA* untuk melakukan aproksimasi data sinusoid dengan mengambil kasus data debit air sungai pada DPS Way Besai-Sumber Jaya-Lampung untuk kurun waktu Juni 1987 hingga Pebruari 1997. Teknik penggunaan *MATHEMATICA* yang dipaparkan dalam artikel ini secara umum dapat digunakan untuk data sinusoid lainnya.

Key Word : *Deret Fourier, MATHEMATICA, DPS Way Besai, Penyesuaian Kurva, Kurva Sinusoid.*

PENDAHULUAN

Deret Fourier untuk $f(x)$ didefinisikan dalam bentuk

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (1)$$

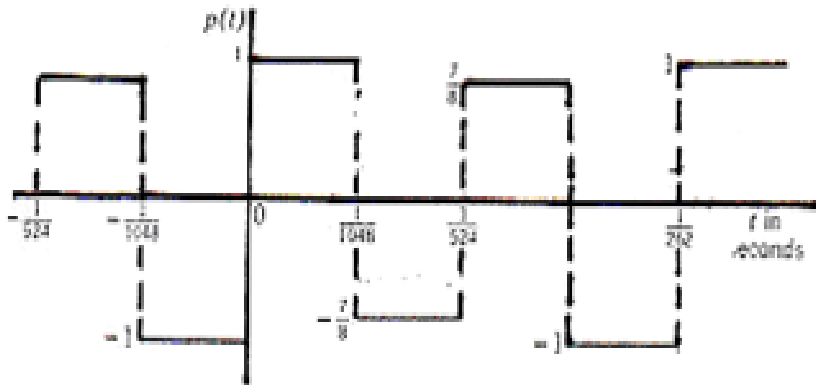
dengan

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx ; a_n = \int_{-L}^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx ; b_n = \int_{-L}^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx \quad (2)$$

adalah koefisien-koefisien Fourier. (Spigel, 1994; Gerald&Wheatley, 1994).

Ada sejumlah aplikasi yang menggunakan deret Fourier sebagai model matematis untuk mengkaji fenomena-fenomena alam. Dalam

ilmu fisika misalnya, tekanan atmosfer dalam suatu gelombang bunyi sehingga bunyi dapat didengar memiliki bentuk grafik fungsi sebagaimana ditampilkan di bawah ini. (lihat Dwi, 2005)



Gambar 1. Fungsi $f(x)$ untuk grafik yang diperlihatkan dalam Gambar 1, didefinisikan dalam bentuk :

$$f(x) = \begin{cases} 1; & 0 < x < \frac{1}{1048} \\ -\frac{7}{8}; & \frac{1}{1048} < x < \frac{1}{524} \\ \frac{7}{8}; & \frac{1}{524} < x < \frac{3}{1048} \\ -1; & \frac{3}{1048} < x < \frac{1}{262} \end{cases} \quad (3)$$

Fungsi gelombang bunyi (3) dalam bentuk deret Fourier (1)-(2) ditulis sebagai

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{15}{8n\pi} \cdot \cos \frac{n\pi}{2} + \frac{2}{n\pi} + \frac{7}{4n\pi} \cdot \cos n\pi - \frac{15}{8n\pi} \cdot \cos \frac{3n\pi}{2} \right) \sin 524n\pi x$$

atau

$$f(x) = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{\sin 524\pi x}{1} + \frac{30 \cdot \sin 524 \cdot 2\pi x}{2} + \frac{\sin 254 \cdot 3\pi x}{3} + \frac{\sin 524 \cdot 5\pi x}{5} + \frac{\sin 524 \cdot 6\pi x}{6} + \frac{\sin 524 \cdot 7\pi x}{7} + \dots \right) \quad (4)$$

Persamaan (4) diperoleh dengan memberikan nilai-nilai

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx = \frac{1}{524} \int_0^{262} f(x) dx = 0;$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx = 524 \int_0^{262} f(x) \cos 524 n \pi x dx = 0; \text{ dan}$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx$$

$$= 524 \int_0^{262} f(x) \sin 524 n \pi x dx = -\frac{15}{8n\pi} \cdot \cos \frac{n\pi}{2} + \frac{2}{n\pi} + \frac{7}{4n\pi} \cdot \cos n\pi - \frac{15}{8n\pi} \cdot \cos \frac{3n\pi}{2}$$

ke dalam persamaan (1).

Ekspansi deret Fourier dari fenomena gelombang bunyi (4) dikategorikan ke dalam fungsi ganjil karena hanya suku sinus yang muncul dalam ekspansi tersebut.

Selain fenomena bunyi di atas, deret Fourier juga digunakan dalam penentuan model matematis untuk debit air sungai pada Daerah Pengaliran Sungai (DPS) Way Besai, Sumber Jaya-Lampung (Fahri, 2001). Penggunaan deret Fourier dalam menentukan model matematis debit air sungai adalah cukup beralasan karena kurva terukur debit air sungai yang dikemukakan oleh Fahri memperlihatkan bahwa nilai *plotting data/penyesuaian kurva (curve fitting)* terukur debit air pada DPS Way Besai Sumber Jaya-Lampung untuk kurun waktu 1989–2000 mengikuti pola fungsi sinusoid (bergetar atau berosilasi). Sayangnya, aproksimasi deret Fourier yang diperolehnya (koefisien–koefisien deret) dikerjakan secara terbatas pada orde sepuluh. Sementara itu, secara teori semakin tinggi suku suatu deret digunakan akan memberikan nilai aproksimasi semakin mendekati fungsi solusi sebenarnya. Sejalan dengan teori tersebut, Fahri (2001) dan Dwi (2005) menyimpulkan terhadap penelitian mereka bahwa jika diperoleh fungsi deret Fourier orde yang lebih tinggi maka hasil dari perhitungan akan semakin mendekati kurva terukur. Oleh karena itu penggunaan teknologi komputer yang dilengkapi perangkat lunak *scientific* (MAPLE, MATLAB, dan MATHEMATICA misalnya) sangat dianjurkan untuk menghasilkan bentuk kurva yang sesuai dengan data terukur (primer) jika memang itu dibutuhkan.

MATHEMATICA merupakan perangkat lunak yang memiliki kemampuan tinggi untuk memperkerjakan perhitungan aritmatika. Perangkat lunak tersebut dilengkapi dengan penangaan perhitungan berkelanjutan dan berulang yang dapat membantu proses perhitungan tanpa adanya kekhawatiran terjadi kesalahan aritmatika. Selain itu secara khusus *software* MATEMATICA menyediakan sejumlah fungsi makro yang dibutuhkan dalam mendapatkan sebuah aproksimasi deret Fourier. Ada sejumlah artikel yang telah membahas penggunaan MATHEMATICA baik sebagai alat bantu maupun sebagai metode suatu penelitian. Dua di antaranya adalah artikel yang membicarakan penggunaan

MATHEMATICA dalam membantu mendapatkan solusi eksak suatu sistem persamaan diferensial (Widiarti & Zakaria, 2006) dan visualisasi perilaku trayektori sistem dinamik non linear (Zakaria & Faisol, 2002).

Dalam artikel ini, dipaparkan teknik menggunakan MATHEMATICA guna mendapatkan bentuk model matematis dari sekumpulan data yang berperilaku *sinusoid*. Sebagai contoh kasus dipilih data debit air sungai pada DPS Way Besai Sumber Jaya-Lampung untuk kurun waktu 10 (sepuluh) tahun (1987-1997).

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2006/2007 di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Metode Penelitian

Guna mencapai tujuan penelitian ini digunakan pendekatan studi literatur dan simulasi data dengan menggunakan alat bantu komputer. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini adalah :

1. Observasi pustaka/referensi (terutama terkait data empirik debit air sungai Way Besai Sumber Jaya-Lampung) dengan cara mendatangi secara langsung atau via internet ke perpustakaan yang ada di Unila dan/atau luar Unila.
2. Melakukan eksplorasi MATHEMATICA dan penyusunan prosedur teknis terkait dengan topik penyesuaian kurva dengan menggunakan konsep deret fourier.
3. Pemakaian teknik hasil eksplorasi MATHEMATICA terhadap data empirik debit air sungai DPS Way Besai Sumber Jaya-Lampung..

HASIL dan PEMBAHASAN

a. Paket `NumericalMath`TrigFit``

Pada prinsipnya semua fungsi polinomial atau transenden (asalkan kontinu) baik berperiodik ataupun tidak dapat diaproksimasi dengan menggunakan deret (*series*) Fourier. *Procedure* aproksimasi deret Fourier disediakan secara khusus dalam sebuah paket pada MATHEMATICA yakni **NumericalMath**. Paket yang diajikan berikut ini di tulis oleh Jerry B. Keiper, 1994. (Wolfram, 1998).

```
Message[General::obspkg, "NumericalMath`TrigFit`"]
```



```

BeginPackage["NumericalMath`TrigFit`"]

TrigFit::usage =

"TrigFit[data, n, x] gives the least squares trigonometric fit to data
much \

as Fit[data, {1, Cos[x], Sin[x], Cos[2x], Sin[2x, ... Cos[n x], Sin[n x]], x]
\

would do, except that the calculation is done using Fourier[ ]. The
data must \

be a list of numbers sampled at equally spaced points over one
period \

starting at 0. TrigFit[data, n, {x, L}] can be used if the fundamental \
period is not 2Pi. TrigFit[data, n, {x, x0, x1}] can be used for \
data starting at x0 and ending at the sample point immediately before
x1."

Begin["NumericalMath`TrigFit`Private`"]

issueObsoleteFunMessage[fun_, context_] := (Message[fun::obspkgfn,
fun, context];)

TrigFit[data_List, n_Integer, {x_, x0_:0, x1_}] :=

(issueObsoleteFunMessage[TrigFit,"NumericalMath`TrigFit`"];

[{answer = SinAndCos[data, Min[n, Floor[(Length[data]-1)/2]], Pi (x-
x0)/(x1-x0)]}, /; answer != $Failed ])

TrigFit[data_List, n_Integer, x_] :=

(issueObsoleteFunMessage[TrigFit,"NumericalMath`TrigFit`"];

[{answer = SinAndCos[data, Min[n, Floor[(Length[data]-1)/2]], x]}, /;
answer != $Failed ])

SinAndCos[data_, n_, x_] :=

Module[{fclist, clist, slist, c0, len, k, rflag},

= Length[data];

= If[Precision[data] === Infinity, N[data], data];

= (Union[Im[fclist], SameTest -> SameQ] === {0});

= Drop[fclist, 1];

```

```

= Reverse[clist];

= Prepend[(clist+slist)/2 + I (clist-slist)/2, fcslist[[1]]];

= Fourier[fcslist, FourierParameters -> {-1, 1}];

[!VectorQ[fcslist, NumberQ], Return[$Failed]];

= First[fcslist];

= Drop[fcslist, 1];

= Reverse[clist]; {clist, slist} = {Take[clist + slist, n], Take[clist - slist,
n]};

[rflag, c0 = Re[c0]; clist = Re[clist]; slist = Re[slist]];

+ Table[Cos[k x], {k, n}] . clist - Table[Sin[k x], {k, n}] . slist];

End[] (* NumericalMath`TrigFit`Private` *)

EndPackage[] (* NumericalMath`TrigFit` *)

```

Dalam paket tersebut terdapat prosedur `TrigFit`. TrigFit menggunakan fungsi Fourier untuk menemukan kuadrat terkecil trigonometri yang sesuai dengan data. Data tersebut diasumsikan memiliki hubungan fungsional secara tepat. TrigFit mengasumsikan bahwa data berasal dari titik sampel yang sama. Data memenuhi fungsi priodik tepat satu priode. Selain itu, TrigFit tidak memerlukan data dalam bentuk berpasangan. Dengan keadaan ini, peubah bebas dalam suatu fungsi diasumsikan memiliki satuan ukuran yang sama untuk setiap titik pengamatan. Berikut ini beberapa *command* yang digunakan sehubungan dengan aproksimasi deret Fourier :

- TrigFit [*data*, *n*, *x*] *command* ini dimaksudkan untuk menemukan kuadrat terkecil trigonometri yang sesuai dengan *data* ke dalam bentuk $\cos(nx)$ dan $\sin(nx)$, dengan dasar priode 2π .
- TrigFit [*data*, *n*, {*x*, *L*}] *command* ini dimaksudkan untuk mengubah kuadrat terkecil dalam bentuk trigonometri ke *data* ke dalam bentuk $\cos(2\pi nx / L)$ dan $\sin(2\pi nx / L)$ dengan priode *L*.
- TrigFit [*data*, *n*, {*x*, *x₀*, *x₁*}] *command* ini dimaksudkan untuk merubah kuadrat terkecil dalam bentuk trigonometri ke *data* ke dalam bentuk $\cos(2\pi n(x-x_0) / (x_1-x_0))$ dan $\sin(2\pi n(x-x_0) / (x_1-x_0))$ dengan priode x_1-x_0 .

Sebelum memulai proses pemodelan, data yang akan ditentukan modelnya disimpan dalam file data dengan ekstensi **dat** (data) atau **txt** (teks) atau **xls** (excel)). Sebut saja nama file data yang akan ditentukan model matematisnya adalah **debit1.dat** yang tersimpan di direktori/ folder **d** yakni **d:\debit1.dat**. Untuk penggunaan TrigFit,

data tidak perlu ditulis berpasangan (x spasi y misalnya untuk menyatakan nilai x memberikan nilai fungsi y) tetapi cukup dengan menulis nilai fungsinya. Setelah file data tersedia, diperlukan pemanggilan prosedur **TrigFit** dan pengaktifan paket **NumericalMath** dengan cara menulis perintah `<<NumericalMath`TrigFit`` pada kertas kerja (notebook) MATHEMATICA. Berikut ini upaya mendapatkan model matematis untuk debit air sungai pada Daerah Pengaliran Sungai (DPS) Way Besai, Sumber Jaya-Lampung dalam kurun waktu 1987-1997.

Tabel 1: Data Debit Air Sungai Way Besay Sumber Jaya -Lampung Kurun Waktu Juni 1987 hingga Pebruari 1997*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	565.31	443.80	321.09	245.33	295.68	446.76	962.80	1660.72	1036.06	1163.71
2	513.97	695.22	463.33	362.39	295.03	229.75	381.03	869.24	2024.87	1033.94
3	890.68	900.36	810.57	619.76	657.44	564.13	404.67	463.90	375.32	712.67
4	1226.54	661.00	812.90	756.80	603.90	559.90	474.66	307.21	389.64	279.96
5	147.67	164.81	790.27	1158.05	767.60	1070.80	1221.30	881.10	396.42	240.17
6	181.30	159.70	119.03	499.81	1031.90	669.10	874.80	1227.60	888.50	790.40
7	345.25	438.28	393.48	507.20	657.90	941.20	1038.70	1283.30	822.50	860.50
8	870.70	921.91	466.84	474.42	427.70	231.63	235.99	583.10	1170.00	1083.10
9	874.70	915.50	872.50	539.50	307.24	246.44	134.38	185.19	121.17	114.07
10	554.61	1080.00	1494.20	1561.80	1999.40	1014.40	719.00	891.60	374.21	239.98
11	293.62	878.50	664.01	778.50	1265.00	1037.70	1175.50	445.90	451.20	489.30
12	469.40	617.30	1137.50	927.30	506.40	546.00	408.00	-	-	-

* Disalin dari Fahri 2001.

Tabel 2. Data Kumulatif Debit Air Sungai Way Besay Sumber Jaya -Lampung Kurun Waktu Juni 1987 hingga Pebruari 1997*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	14814.63	15288.50	15608.85	15812.83	16117.91	16672.26	17467.80	19304.02	20163.96	21510.60
2	21831.37	22626.07	23174.67	23339.25	23816.71	23923.56	24316.80	25407.06	27009.81	28462.36
3	29145.93	30015.26	30943.55	31449.54	32146.96	32729.26	33185.67	33462.20	34187.77	34450.22
4	36066.07	36548.83	37319.61	38263.73	38623.24	39357.26	39803.34	40000.77	40527.89	40803.89
5	40825.79	41206.02	41848.21	43089.84	43793.64	44913.38	46172.58	46901.75	47480.80	47610.34
6	47755.17	48114.92	48290.28	49068.44	49949.52	50618.92	51566.57	52687.13	53675.30	54501.23
7	54656.22	55285.08	55634.43	55975.24	56953.02	57567.91	58829.23	59960.15	60903.64	61714.62
8	62609.16	63461.58	64048.67	64424.76	64862.39	65182.69	65208.05	66075.04	66945.44	68356.53
9	68919.87	70012.75	70921.62	71273.24	71735.17	71982.81	72012.78	72303.39	72362.63	72432.68
10	73153.41	74061.31	75654.57	77136.21	79229.46	80180.56	80916.10	81820.18	82203.53	82424.46
11	82603.57	83794.61	84100.24	85078.58	86279.93	87413.20	88408.22	89090.51	89303.93	89930.64
12	90371.44	91004.89	92148.71	92993.17	93615.19	94069.51	94504.54	-	-	-

* Disalin dari Fahri 2001.

Dalam Tabel 1. dan Tabel 2. di atas, sel 1-1 menunjukkan keadaan (debit air) pada bulan Juni 1987, sel 1-2 keadaan bulan Juli 1987, dan seterusnya hingga sel 15-3 menunjukkan keadaan bulan Pebruari 1997.

b. Penyesuaian Kurva

Berikut ini *command* yang diperlukan dalam menggunakan MATHEMATICA untuk penyesuaian kurva.

```
<<NumericalMath`TrigFit`
```

```
variabel1 = ReadList["c:\debit1.dat", {Number,Number}];
```

```
variabel2 = ListPlot[variabel1, PlotJoined → True, PlotRange → All,  
AspectRatio → Automatic, PlotStyle → RGBColor[1,0,0],  
DisplayFunction → Identity];
```

```
Remove[variabel1]
```

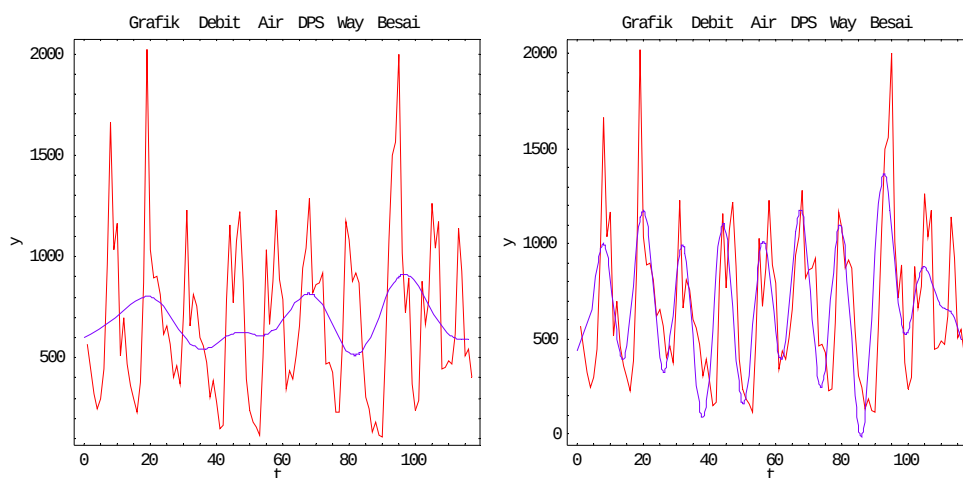
```
variabel3 = ReadList["c:\debit2.dat",Number];
```

```
variabel4 = TrigFit[variabel3, banyaknya_orde, {peubah_bebas, periode}];
```

```
variabel5 = Plot[variabel4, {peubah_bebas, selang data }, AspectRatio →  
Automatic, PlotStyle → RGBColor[0,0,1], DisplayFunction →  
Identity];
```

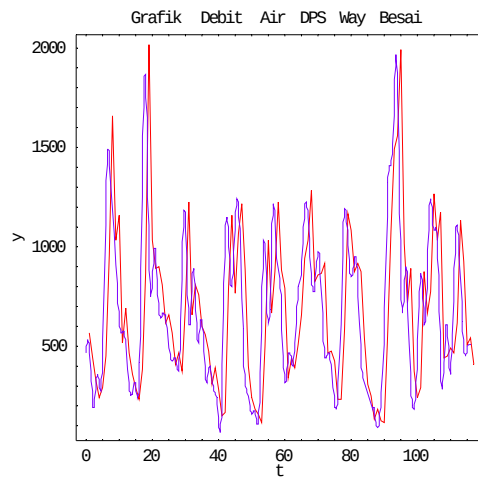
```
Show[variabel2, variabel5, PlotLabel->" Nama_Grafik ", Axes → False,  
Frame → True, FrameLabel → {" peubah_bebas ", " peubah_takbebas "},  
DisplayFunction → $DisplayFunction, AspectRatio → 1];
```

Output dari penggunaan *command* di atas untuk data dalam Tabel 2 memberikan hasil sebagai mana ditampilkan dalam Gambar 2. Dengan *command* yang sama untuk data dalam Tabel 3, diperoleh hasil sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 3.

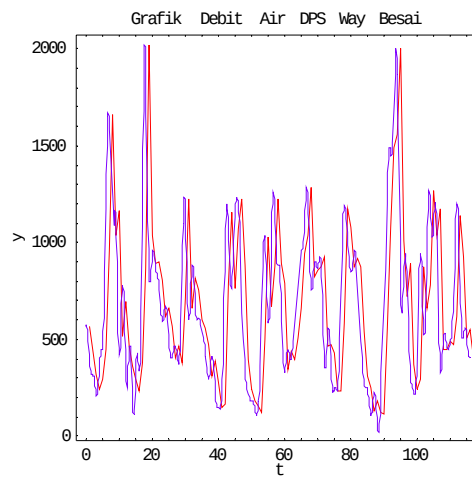


a

b

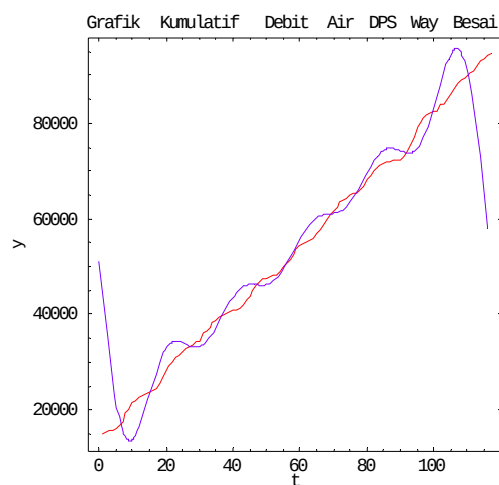


c

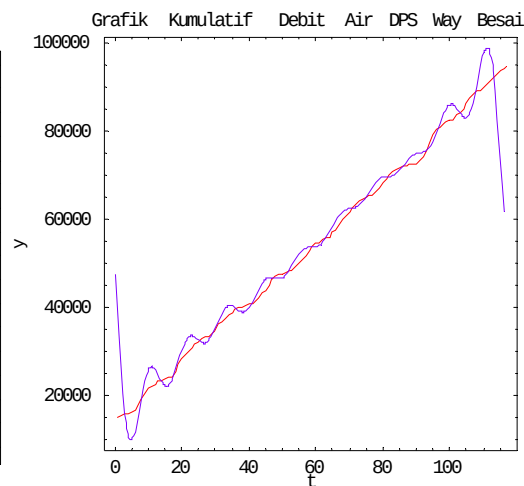


d

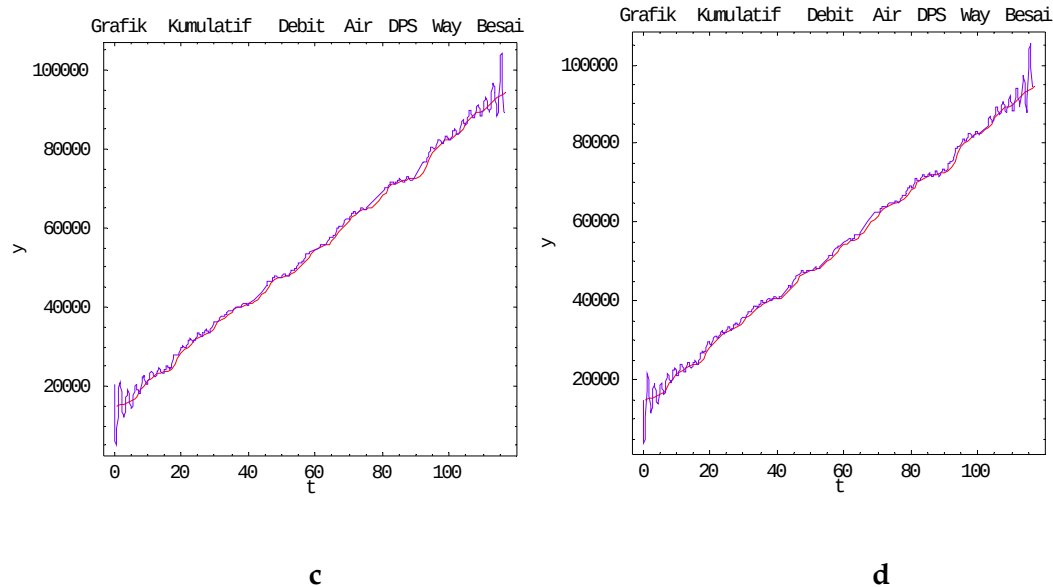
Gambar 2. Tampilan penyesuaian kurva (*curve fitting*) terhadap data debit air pada DPS Way Besai Sumber Jaya-Lampung berdasarkan data Tabel 1 (garis grafik merah) dengan menggunakan deret Fourier (garis grafik biru). Hasil aproksimasi deret Fourier 5 suku sinus-cosinus (a), 10 suku sinus-cosinus (b), 50 suku sinus-cosinus (c), dan 500 suku sinus-cosinus (d) menunjukkan bahwa semakin tinggi orde (suku) yang dilibatkan semakin mendekati kurva terukur.



a



b



Gambar 3. Tampilan penyesuaian kurva (*curve fitting*) terhadap data kumulatif debit air pada DPS Way Besai Sumber Jaya-Lampung berdasarkan data Tabel 2 (garis grafik merah) dengan menggunakan deret Fourier (garis grafik biru). Hasil aproksimasi deret Fourier 5 suku sinus-cosinus (a), 10 suku sinus-cosinus (b), 50 suku sinus-cosinus (c), dan 500 suku sinus-cosinus (d) menunjukkan bahwa semakin tinggi orde (suku) yang dilibatkan semakin mendekati kurva terukur.

Perlu diingat bahwa, file data (debit1.txt) dibuat dalam array 2 dimensi (x, y) sehingga dalam *command* MATHEMATICA ia dipanggil dengan $\{Number, Number\}$. Sementara itu file data (debit2.txt) dibuat dalam bentuk array 1 dimensi dan dipanggil dalam *command* MATHEMATICA dengan *Number*.

c. Aproksimasi Fungsi dengan Deret Fourier

Berikut ini *command* yang diperlukan dalam menggunakan MATHEMATICA untuk aproksimasi fungsi dengan menggunakan deret Fourier yang dipanggil melalui prosedur TrigFit dalam paket NumericalMath.

```
<<NumericalMath`TrigFit`  
  
variabel1 = ReadList["c:\debit4.dat",Number];  
  
variabel2 = TrigFit[variabel1,banyaknya_orde,{peubah_bebas,periode}];  
  
Table[variabel2,{peubah_bebas,0,periode-1,step_size}]
```

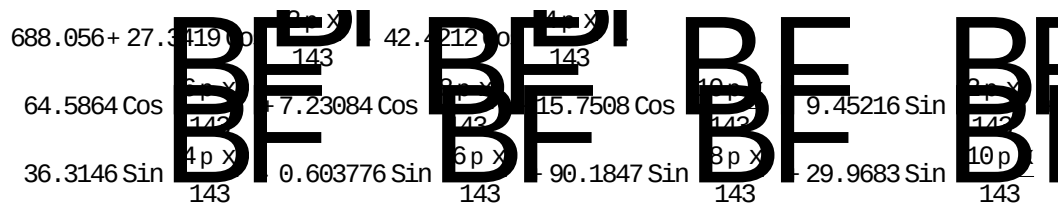
Dalam *command-command* di atas yang dimaksud dengan...

Contoh

Dari data dalam Tabel 1, buat file data debit4.txt dalam bentuk array 1 dimensi simpan dalam direktori c. Tulis *command* berikut pada *notebook* MATHEMATICA

```
<<NumericalMath`TrigFit`  
  
vr1 = ReadList["c:\debit4.txt",Number];  
  
vr2 = TrigFit[vr1, 5, {t, 117}]
```

Running dengan menggunakan SHIFT-ENTER, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.



688.056 + 27.3419 Cos[...]
42.4212 Cos[...]
15.7508 Cos[...]
9.45216 Sin[...]
36.3146 Sin[...]
0.603776 Sin[...]
90.1847 Sin[...]
29.9683 Sin[...]

Output di atas merupakan bentuk aproksimasi deret Fourier dengan banyak suku sinus-kosinus berjumlah 5 (orde = 5). Dengan data dan *command* yang sama tetapi untuk orde 50, koefisien-koefisien sinus-kosinus sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Aproksimasi fungsi dengan menggunakan deret Fourier terhadap data kumulatif debit air pada DPS Way Besai Sumber Jaya-Lampung berdasarkan data Tabel 1. Hasil aproksimasi deret Fourier 50 suku sinus-cosinus

KESIMPULAN

Dari uraian dalam bagian pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan perangkat lunak MATHEMATICA dengan menggunakan prosedur **TrigFit** berbasis aproksimasi trigonometri (deret Fourier) dapat membantu melakukan penyesuaian kurva terhadap data empirik dengan lebih akurat jika digunakan orde yang lebih tinggi.
2. Pengambilan orde yang tinggi (lebih dari 50) pada deret Fourier terhadap data debit air sungai Way Besai akan memberikan akurasi kurva yang diinginkan dan fungsi aproksimasi yang diharapkan dengan sangat mudah ketika menggunakan MATHEMATICA tanpa harus khawatir timbulnya kesalahan aritmatika.
3. Dalam contoh kasus yang dihadapi (data debit air sungai Way Besai) Model yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi data untuk kurun waktu sebelum bulan Juni 1987 dan/atau sesudah bulan Pebruari 1997.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwi A.M.S, 2005. *Studi Deret Fourier Dan Aplikasinya*. Skripsi. Jurusan Matematika Fakultas MIPA Unila, Bandar Lampung.
- Fahri, A. 2001. *Perkiraan Jumlah Limpasan (Run Off) Pada DPS Way Besai, Sumber Jaya Berdasarkan Konsep Tampungan*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Unila, Bandar Lampung.
- Gerald C.F. and Wheatley P.O. 1994. *Applied Numerical Analysis*, 5th ed. Addison Wesley, USA.
- Spiegel, M.R. 1994. *Matematika Lanjutan untuk Para Insinyur dan Ilmuan*. Alih Bahasa : Martono K. Erlangga, Jakarta.
- Wolfram, S. 1998. *MATHEMATICA : A System for Doing Mathematic by Computer*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc California.
- Widiarti dan Zakaria, La. 2005. Teknis Menyelesaikan Sistem Persamaan Diferensial Biasa Orde Pertama Secara Analitik Menggunakan MATHEMATICA (Studi Kasus: Sistem 3Pegas-2Massa). *Jurnal Matematika Murni dan Terapan*. Vol.3 No. 3. pp 18-32.
- Zakaria, La. 2001. *Teori dan Praktek Pemrograman Komputer: Dasar-Dasar Pemrograman Dengan MATHEMATICA*. Bandar Lampung. Jurusan Matematika FMIPA Universitas Lampung.

Zakaria La., dan Faisol A. 2002. Teknik Memvisualisasi Belahan Poincare Untuk Flow ABC (Arnold-Beltrami-Childres) dengan Menggunakan MATHEMATICA. *Jurnal Matematika Atau Pembelajarannya*. Ed. Juli, Thn.VIII. pp 1009-1014.

RANCANG BANGUN MODEL FISIK PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS DAN LAMPU HITUNG MUNDUR MENGGUNAKAN METODE FUZZY BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89C51

AGENG SADNOWO REPELIANTO dan YULIARTO RAHARJO

Fakultas Teknik Universitas Lampung, Telp. 081540830736, 0721754485, ageng@unila.ac.id

ABSTRACT

The most important factor in traffic lamp controller is the ability which is possessed by the system to respond current density in traffic which has been changing time by time.

Design traffic-lamp control uses The fuzzy logic which is called as PLF isol (Pengedali Logika Fuzzy untuk simpang empat terpisah = Isolated) with the additional lamps count down performance has input in the form of vehicles numbers and output in the form the length of green light and count down lamp. In general, the process of fuzzy logical design system covers fuzzyfication, rule evaluation and defuzzyfication. The trafic controlling in intersection is applied by using microcontroller AT 89C51

If we compare between traffic controlling performance which is using fuzzy logic and permanent time controller, so the result of demoed time delay will be much better. PLF isol has time delay enhanced percentage as big as 47.787 % towards green light flame permanent time controller 15 second and as big as 46.467 % towards green light flame permanent time controller 10 second.

Keyword : *PLF isol, permanent time controller, time delay, microcontroller AT89C51.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan suatu wilayah perkotaan akan selalu diikuti oleh perkembangan dibidang transportasi. Jumlah kendaraan akan terus meningkat pesat, namun perkembangan prasarana jalan tidak sepesat pertambahan jumlah kendaraan. Akibat dari perkembangan transportasi yang tidak seimbang dengan pertambahan prasarana jalan ini, sering kali menimbulkan kemacetan lalu-lintas, terutama persimpangan jalan dan ini erat kaitannya dengan pengendali lampu lalu-lintas [Agus Widjajanto, 1997].

Thomas menambahkan sikap perilaku pengemudi sebagai salah satu faktor meningkatnya kemacetan. Dimana perilaku para pengemudi yang cenderung tidak tertib ketika kemacetan mulai dirasakan mengganggu kelancaran perjalanannya dapat mengakibatkan

terganggunya ketertiban umum, keselamatan, keamanan dan kenyamanan di jalan raya [Thomas Setia Budi 1997].

Satu hal penting yang perlu diperhatikan adalah hubungan antara pengoperasian lampu lalu lintas dengan perilaku pengemudi. Perilaku tidak tertib umumnya disebabkan karena ingin cepat, dan lamanya menunggu kesempatan jalan pada persimpangan lampu lalu lintas sangat mempengaruhi tingkat kesabaran para pengemudi.

Pada lampu lalu-lintas pengaturan nyala lampu dalam interval tertentu adalah hal terpenting, yang sangat menentukan tingkat pengurangan konflik antar arus lalu-lintas dari setiap jalur persimpangan yang dapat menyebabkan ketidakaturan, kelambatan dan mengurangi kapasitas kendaraan [Thomas Setia Budi, 19997].

Pada prakteknya, pengaturan lampu lalu lintas seperti metode waktu tetap, memang sangat sederhana dan murah dalam realisasinya tetapi tidak tanggap terhadap perubahan keadaan lalu-lintas, yang semakin hari polanya terus mengalami perubahan. [Hobbs 1995]. Demikian pula dengan metode *Stoplevel Vehicle -actuated*, metode ini sudah lebih baik dengan dapat melakukan penyesuaian pengaturan nyala lampu jika sensor mengindikasikan keadaan lalu lintas bertambah padat atau berkurang, namun masih juga kesulitan mengatasi perubahan tingkat kepadatan lalu lintas yang sangat cepat yaitu penyesuaian antara kapasitas kendaraan dengan lama waktu nyala lampu hijau dengan tidak mengabaikan jalur lain yang sedang menunggu. [Hobbs 1995].

Menerapkan metode logika fuzzy pada sistem pengaturan lampu lalu-lintas memungkinkan untuk dapat mengatasi kesulitan ini yang secara otomatis mampu melakukan menyesuaikan diri secara cepat terhadap perubahan tingkat kepadatan lalu-lintas pada tiap-tiap jalur, sehingga cukup besar reduksi dari kemungkinan peningkatan kepadatan kendaraan dan peningkatan waktu tunda kendaraan dipersimpangan [Supriyanto, 2003].

Gagasan memberikan lampu hitung mundur yaitu tampilan angka menghitung mundur ke 0 memberikan kepastian berapa lama harus berhenti menunggu bagi pengemudi di lampu lalu lintas. Hal ini dapat mengurangi perilaku tidak sabar dan ingin cepat. [Kompas, 18 april 2006].

Untuk menggabungkan gagasan-gagasan baru di atas dan mewujudkannya, alasan inilah yang mendasari perlunya dilakukan riset bagaimana membuat sistem lampu lalu lintas yang dapat mengatur kapasitas kendaraan yang dilewatkan pada suatu persimpangan dengan mempertimbangkan tingkat kepadatan pada masing-masing jalur persimpangan dan menampilkan lampu hitung mundur yang diyakini akan sangat efektif meningkatkan kesabaran pengendara dipersimpangan jalan.

METODOLOGI PENELITIAN

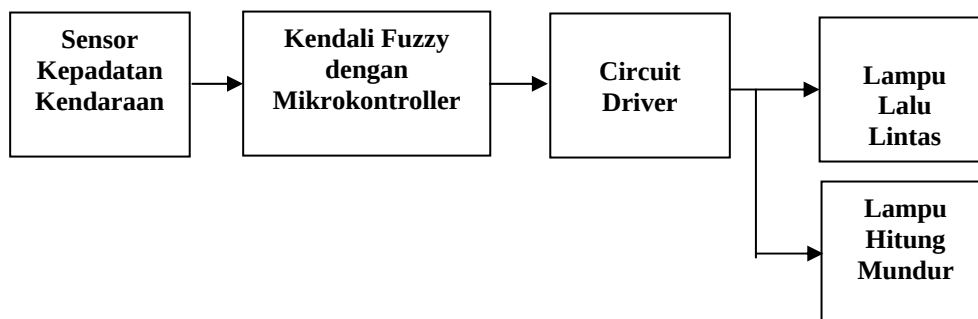
1. Spesifikasi Sistem PLF Isol

Sistem pengaturan yang dirancang memiliki spesifikasi :

1. Dirancang untuk pengaturan lampu lalu-lintas satu siklus.
2. Pada tiap jalur yang dikendalikan oleh pengendali terdapat satu set lampu lalu-lintas (merah, kuning, hijau).
3. Ukuran dan perilaku setiap kendaraan dianggap sama. Kenyataannya, perilaku tiap pengendara sangat bervariasi dengan tingkat kepatuhan yang juga berbeda-beda.
4. Tidak memperhitungkan pejalan kaki.
5. Pengaturan lampu lalu-lintas memiliki perubahan yang dinamis pada nyala lampu hijau dan statis untuk nyala lampu kuning dan nyala empat lampu merah bersama-sama.
6. Perubahan dinamis nyala lampu hijau diberikan berdasarkan jumlah kendaraan pada jalur yang akan diatur dan jalur selanjutnya.
7. Nyala lampu hijau akan selesai ketika waktu yang diberikan telah habis.
8. Lampu hitung mundur aktif dan menghitung saat lampu hijau atau lampu merah nyala.

2. Gambaran Umum Rancangan

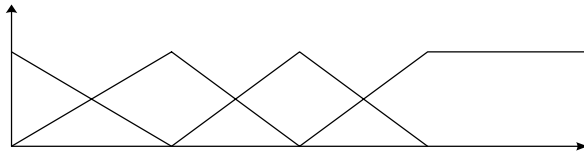
Pengaturan lalu-lintas yang dirancang disebut dengan PLF Isol (Pengendali Logika Fuzzy untuk simpang empat terpisah = *Isolated*). Blok rancangan ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



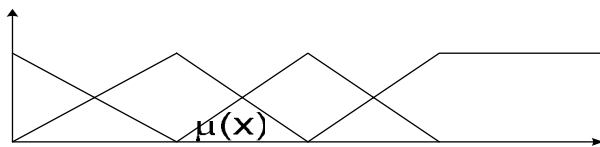
Gambar 1. Diagram Blok Rancangan

Kepadatan kendaraan pada penelitian ini disimulasikan dengan komputer yang langsung di umpankan ke kendali fuzzy.

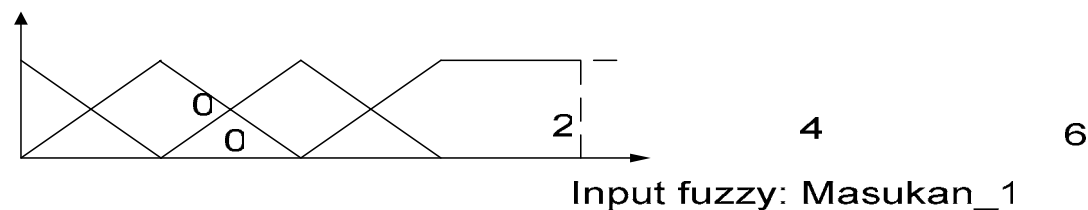
Sistem pengendalian fuzzy yang dirancang mempunyai dua masukan seperti Gambar 2.a dan 2.b dan satu keluaran seperti Gambar 2.c.



(a) Derajat Keanggotaan masukan 1 (jalur yang diatur).



(b) Derajat Keanggotaan masukan 2 (Jalur yang menunggu).



(c) Derajat keanggotaan keluaran (nyala Lampu hijau)

Gambar 2. Grafik fungsi keanggotaan masukan dan keluaran PLF Isol.

Masukan_1 adalah jumlah kendaraan pada jalur yang sedang diatur dan Masukan _2 adalah jumlah kendaraan pada jalur lain. Keluaran berupa lama nyala lampu hijau pada jalur yang sedang diatur. Lampu hitung mundur sebagai penampil lama waktu nyala lampu hijau atau lampu merah. Penggunaan dua masukan dimaksudkan supaya sistem tidak hanya memperhatikan sebaran kendaraan pada jalur yang sedang diatur saja tetapi juga memperhitungkan kondisi yang sedang menunggu.

Masukan berupa himpunan kepadatan kendaraan oleh logika fuzzy di ubah menjadi keanggotaan masukan_1 dan fungsi keanggotaan keluaran yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Setelah proses fuzifikasi adalah evaluasi kaidah. Evaluasi kaidah menggunakan fungsi implikasi. Tiap-tiap kaidah pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy.

Bentuk umum yang digunakan adalah dalam fungsi implikasi sebagai berikut :

If $(x_1 \text{ is } A_1)$ and $(x_2 \text{ is } A_2)$ and $(x_n \text{ is } A_n)$ Then $y \text{ is } B$ (1)

Dengan x dan y adalah skalar, dan A dan B adalah himpunan fuzzy.

Berikut ini adalah evaluasi kaidah yang dilakukan untuk system pengaturan lampu lalu-lintas yang akan dibuat sebagai Fuzzy association memory seperti **Tabel 1**.

Tabel 1. Fuzzy association memory untuk PLF Isol

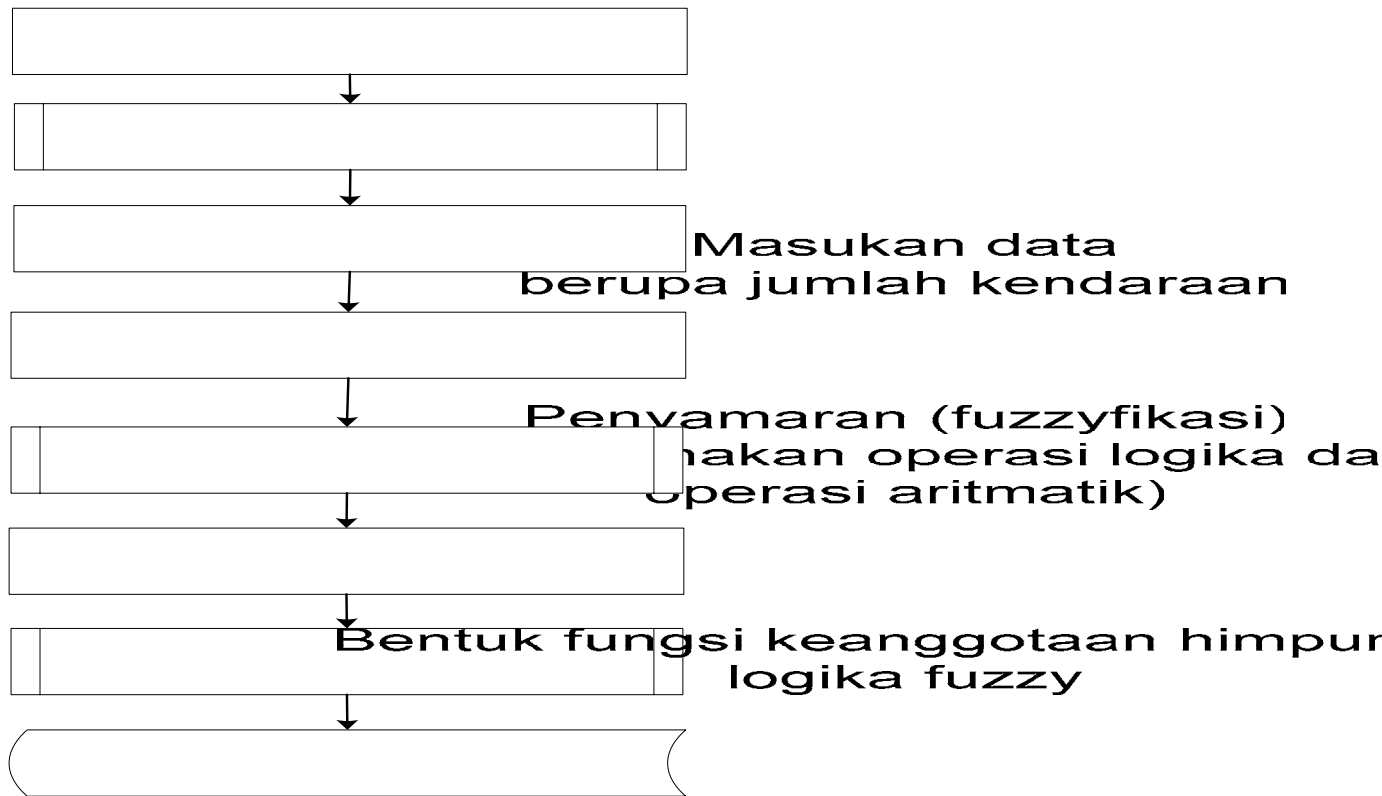
Masukan_1					
Masukan_2		Tidak Padat	Kurang Padat	Padat	Sangat Padat
		Nyala Lampu Hijau			
	Tidak Padat	C	AC	S	L
	Kurang Padat	C	AC	S	L
	Padat	C	AC	S	S
	Sangat Padat	C	C	AC	AC

Keterangan : C =Cepat, AC = Agak Cepat, S = Sedang, L = Lambat.

Setelah diperoleh keluaran fuzzy, proses diteruskan pada defuzzyfication untuk mengubah keluaran fuzzy menjadi keluaran berupa lama nyala lampu hijau. Sistem pengendalian dengan menerapkan logika fuzzy dapat diolah didalam mikrokontroler sehingga input berupa jumlah kendaraan akan memiliki output berupa nyala lampu berdasarkan evaluasi kaidah yang digunakan.

3. Algoritma PLF Isol

Algoritma sistem kendali logika fuzzy dibuat menjadi suatu rutin yang kontinyu. Dengan cara ini, modifikasi maupun perubahan sistem dapat dilakukan dengan menyesuaikan urutan program yang ada. Pada implemetasi ini digunakan metode penalaran Maximum Minimum Mamdani. Diagram alir algoritma PLF Isol dapat dilihat pada **Gambar 3**. Setiap blok diubah menjadi subrutin program yang diimplementasikan kedalam mikrokontroler.



Gambar 3. Diagram alir algoritma PLF Isol.

Cari variabel lingustik derajat keanggotaan
 Penjelasan subrutin-subrutin itu sebagai berikut :

1. Masukan Data

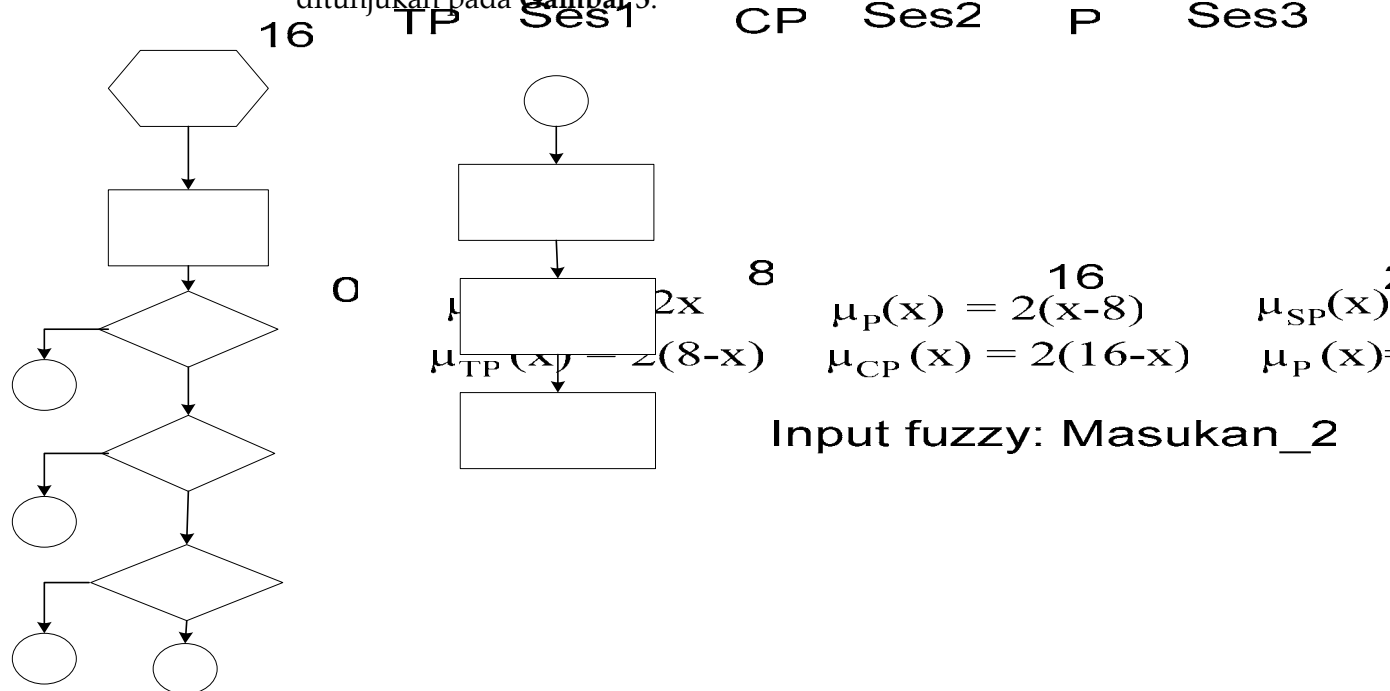
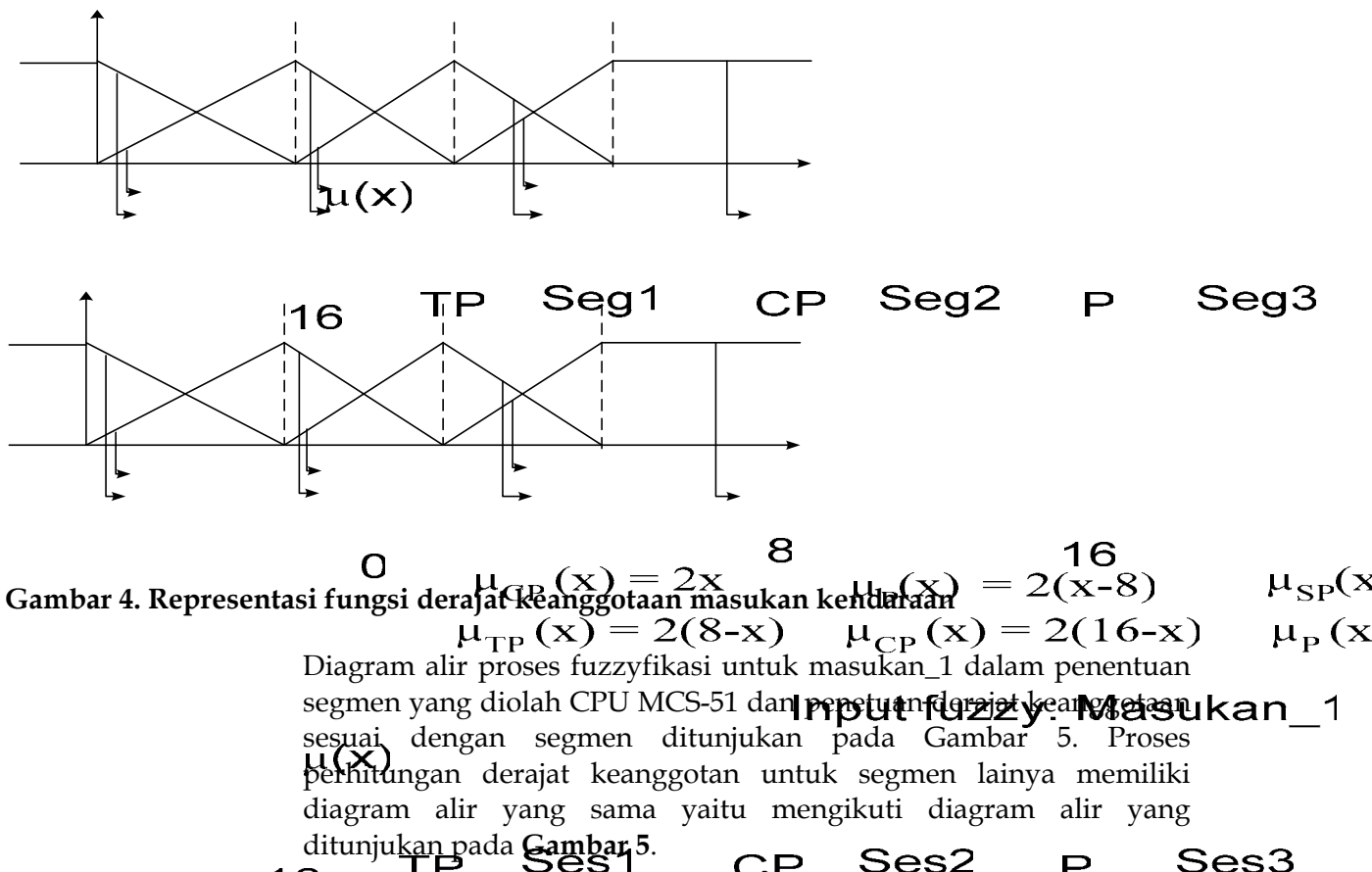
Masukan data merupakan informasi jumlah kendaraan yang diperoleh dari subrutin menghitung banyaknya jumlah kendaraan.
Penalaran (Max-Min)
 (menggunakan operasi logika dan operasi aritmatik)

2. Penyamaran (Fuzzyfikasi)

Penyamaran merupakan subrutin yang digunakan untuk mengubah data masukan berupa nilai tegas menjadi nilai linguistik dan derajat keanggotaannya. Data masukan kendaraan direpresentasikan dalam kurva bentuk bahu sehingga dapat diperoleh fungsi keanggotaan yang linear seperti pada **Gambar 4**.
Evaluasi kaidah (ruleval)

Penidaksamaran (Defuzzyfikasi)
 (menggunakan operasi arimatik)

Data keluaran
 (lama nyala lampu hijau)



Gambar 5. Diagram alir proses fuzzyfikasi

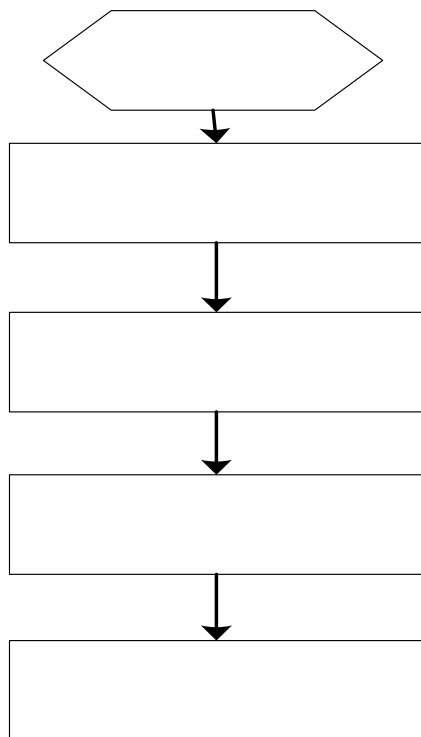
Pada Seg1, Seg2 dan Seg3 terdiri dari dua himpunan fuzzy seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Setiap himpunan fuzzy memiliki derajat keanggotaan yang direpresentasikan dalam fungsi keanggotaan.

Untuk Seg4 dibentuk dapat memiliki dua derajat keanggotaan yang salah satunya adalah nol dan lainnya sesuai dengan derajat keanggotaannya. Dengan demikian setiap segmen memiliki dua derajat keanggotaan dari dua himpunan fuzzy. Derajat keanggotaan fuzzy di mikrokontroler disimpan di register dengan alamat yang berbeda.

Diagram alir untuk proses fuzzyfikasi masukan_2 memiliki diagram alir yang sama dengan yang digunakan pada masukan_1. Setiap label Seg diganti dengan label Ses. Hasil perhitungan derajat keanggotaan pada fuzzyfikasi data masukan_2 disimpan pada register dengan alamat yang berbeda dari alamat register masukan_1.

3. Penalaran (MaxMin)

Penalaran merupakan rutin untuk proses penalaran logika fuzzy. Masukan subrutin ini adalah derajat keanggotaan keluaran proses penyamaran. Operasi yang dilakukan adalah mencari nilai minimum dari derajat keanggotaan keluaran hasil dari proses fuzzyfikasi dari masukan_1 dan masukan_2. **Gambar 6** adalah diagram alir subrutin proses penalaran logika fuzzy.



Gambar 6. Diagram proses penalaran logika fuzzy

4. Evaluasi kaidah (Ruleval)

Seperti pada **Tabel 2**, subrutin ruleval merupakan evaluasi kaidah yang digunakan untuk menentukan nilai linguistik keluaran dari basis kaidah Jika-Maka.

**Operasi
maxmin**

Tabel 2. Kaidah PLF Isol

	Masukan_1				
Masukan_2		Tidak Padat	Kurang Padat	Padat	Sangat Padat
		Nyala Lampu Hijau			
	Tidak Padat	Sb	S	L	L
	Kurang Padat	Sb	S	AL	L
	Padat	Sb	S	AL	L
	Sangat Padat	Sb	Sb	AL	AL

Keterangan: Sb = Sebentar ; S = Sedang; AL = Agak Lama; L = Lama.

Penentuan nilai linguistik keluaran tersebut dilakukan dengan mengkodekan kelompok keluaran yang sama kedalam byte-byte yang menguraikan pengoperasian sistem aturan kaidah. Setiap byte aturan dikodekan menjadi “Jika masukan” dan “maka keluaran”. Untuk melakukan evaluasi kaidah, mikrokontroler akan mengakses hasil nilai minimum dari operasi penalaran logika fuzzy yang bersesuaian antara derajat keanggotaan dengan masing-masing himpunan dan disimpan di byte-byte memori yang sesuai kemudian menggunakannya untuk memperoleh keluaran fuzzy.

5. Defuzzyfikasi

Subrutin defuzzyfikasi digunakan untuk mengubah fungsi keanggotaan menjadi nilai tegas. Metoda yang digunakan adalah COG (*Central of Gravity*) semesta dikrit. Subrutin ini menggunakan operasi aritmatika yang diproses di *Aritmatic Logic Unit* (ALU) mikrokontroler AT89C51.

COG dinyatakan dengan:

$$U(\text{CoG}) = \sum a_j \mu_i(z_j) / \sum \mu_i(z_j) \quad (2)$$

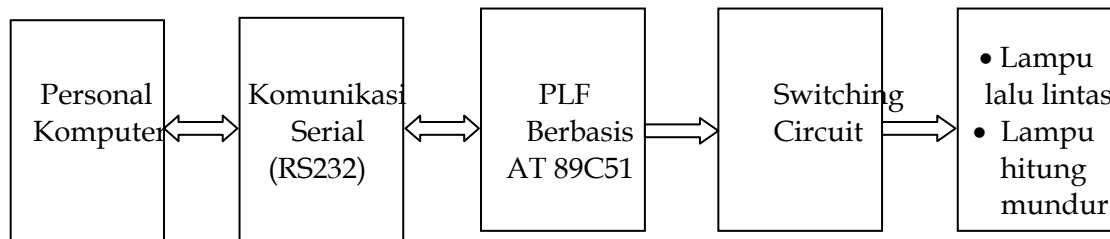
Dimana $U(\text{CoG})$ adalah titik pusat gravitasi, a_j menyatakan derajat kecocokan kondisi- j dan $\mu_i(z_j)$ adalah fungsi keanggotaan [Sri Kusumadewi, 2003].

6. Perangkat Keras PLF Isol

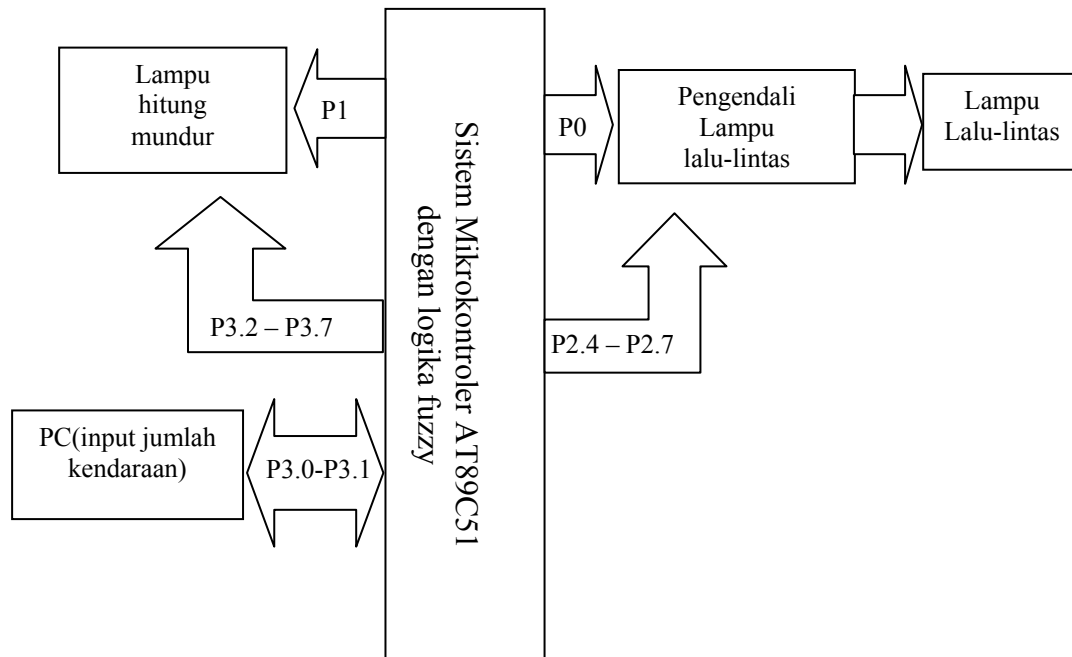
Mikrokontroler AT89C51 menggunakan kristal 11,0592 MHz untuk memudahkan dalam mengatur baud rate

mikrokontroler sebesar 9600 bps agar mikrokontroler dapat berkomunikasi dengan komputer. Pada AT89C51,

port 0 digunakan sebagai output untuk menyalakan lampu kuning, lampu hijau dan lampu merah, port 1 digunakan sebagai output untuk mengaktifkan lampu hitung mundur. Port 3.0 dan 3.1 Sebagai data jumlah kendaraan dari komputer. **Gambar 8** rangkaian PLF Isol berbasis AT89C51.

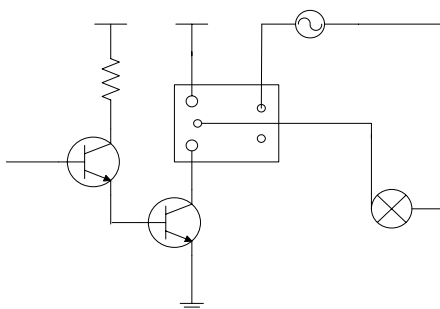


Gambar 7. Sistem PLF Isol dengan mikrokontroler AT89C51



Gambar 8. Rangkaian PLF berbasis AT89C51

Switching circuit merupakan blok yang berisi rangkaian untuk menyalakan lampu lalu-lintas dalam arus AC. **Gambar 9** adalah rangkaian yang menyalakan lampu lalu lintas 220 VAC yang dikendalikan oleh mikrokontroler AT89C51.



Gambar 9. Rangkaian penghubung ke 220 VAC

HASIL dan PEMBAHASAN

1. Kriteria Pengujian

Kriteria pengujian mencakup dua hal;

- Pengujian kelayakan sistem mikrokontroler MCS-51 sebagai perangkat keras untuk melihat kecepatan tanggapan pengendali fuzzy dan jumlah memori program yang terpakai dan untuk mengetahui efektivitas instruksi yang ada pada mikrokontroler dalam eksekusi proses.
- Pengujian didasarkan pada perbaikan waktu tunda sistem pengaturan lampu lalu-lintas dengan menghitung besarnya waktu tunda kendaraan dipersimpangan.

2. Metoda Pengujian

- Metoda untuk menguji kelayakan sistem mikrokontroler MCS-51 sebagai perangkat keras PLF Isol adalah dengan mengamati jalanya proses pengendali yang dipantau perangkat lunak *TS Controls Emulator 8051*.
- Kriteria pengujian efektifitas sistem didasarkan pada waktu tunda. Sistem pengaturan lampu lalu-lintas yang baik memiliki waktu tunda yang minimum. Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 [Widjanto, 1997] tundaan lalu-lintas rata-rata pada suatu pendekat dapat ditentukan dari rumus berikut ini

$$DT = c (0,5 \times (1 - GR)^2) / (1 - GR \times DS) + 3600NQ_1/C \quad (3)$$

Jika $DS \leq 0,5$ maka $NQ_1 = 0$ dan jika $DS > 0,5$ maka NQ_1 dirumuskan sebagai berikut:

$$NQ_1 = 0,25 \times C \times [(DS - 1) + \sqrt{((DS - 1) + 8(DS - 0,5)/C)}] \quad (4)$$

Dimana **DT** adalah tundaan lalu-lintas rata - rata pada pendekat suatu jalur, **GR** adalah rasio hijau, **DS** adalah derajat kejenuhan, **C** kapasitas (smp/jam), **NQ₁** adalah jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya, dan **smp** adalah satuan mobil penumpang

$$\text{Rasio hijau (GR) dirumuskan } GR = g / c \quad (5)$$

Dimana, **g** adalah waktu hijau pada kaki persimpangan, dan **c** adalah waktu siklus, antara dua awal hijau yang berurutan pada fase yang sama.

$$\text{Waktu siklus dirumuskan, } c = \Sigma g + \Sigma IG \quad (6)$$

Dimana, Σg adalah Total waktu hijau seluruh kaki persimpangan dan ΣIG adalah Total waktu antar hijau seluruh kaki simpang (total

waktu nyala lampu kuning dan nyala empat lampu merah bersama-sama).

Derajat kejenuhan (DS) dirumuskan, $DS = Q / S$ (7)

Dengan Q adalah kapasitas kendaraan (smp/jam) dan S adalah arus jenuh, yaitu arus berangkat rata-rata dari antrian dalam pendekat selama sinyal hijau.

Kapasitas pendekat (C) dirumuskan, $C = S \times g/c$ (8)

2. Pegujian kelayakan PLF Isol dalam mengendalikan lalu-lintas dilakukan dengan membandingkan waktu tunda yang terjadi pada PLF Isol dengan hasil waktu tunda yang diperoleh dari pengendali waktu tetap.

Persentasi peningkatan perbaikan waktu tunda (%improv) dari pengendalian dengan lampu lalu-lintas waktu tetap ke pengendalian menggunakan PLF Isol dihitung dengan rumus : [Rizky 2002]

$\% \text{ improf} = (\text{Avg Pwt} - \text{Avg PLF Isol}) / \text{Avg Pwt} \times 100\%$ (9)

dimana:

Avg Pwt = rataan waktu tunda rata-rata pengendalian dengan lampu lalu-lintas waktu tetap.

Avg PLF Isol = rataan waktu tunda rata-rata pengendalian dengan PLF Isol.

3. Hasil Pengujian dan Analisa

a. Hasil Pengujian dan Analisa Kelayakan Sistem Mikrokontroler Sebagai Perangkat Keras PLF Isol

Besarnya memori program yang diperlukan untuk mengimplementasikan algoritma PLF Isol ke dalam sistem mikrokontroler adalah 1370 byte. Mikrokontroler AT89C51 berkapasitas 4 Kbyte, sehingga penggunaannya untuk implementasi PLF Isol dengan lampu hitung mundur yang berkapasitas 1870 byte hanya membutuhkan 46,7% dari kapasitas tersedia.

Waktu yang diperlukan untuk eksekusi algoritma logika fuzzy pada mikrokontroler AT89C51 dengan menggunakan kristal *clock* 11.0592 MHz berdasarkan pengamatan menggunakan *TS Controls Emulator* 8051 antara 250 μ s sampai dengan 1 ms. Waktu 1 ms sangat kecil dibandingkan respon tercepat lampu lalu lintas warna kuning yang diprogram selama 2 detik. Ini menggambarkan bahwa waktu proses kendali fuzzy tidak akan berpengaruh secara signifikan terhadap waktu tunda PLF Isol secara keseluruhan.

Lampu hitung mundur bekerja sesuai dengan waktu tunda yang diperoleh dari hasil perhitungan PLF Isol. Ketika lampu hitung

mundur bernilai nol aktivitas nyala lampu lalu lintas berganti. Hitung mundur hanya tampil untuk menyatakan lama nyala lampu merah dan hijau. Ini artinya ketika lampu hitung mundur menghitung saat lampu merah, pengemudi tahu berapa lama ia harus menunggu dan jika menghitung saat lampu hijau, pengemudi tahu apakah ia harus mempercepat atau mengerem kendaraannya karena secara pasti dapat ditebak berapa lama lagi lampu akan berganti menjadi kuning dan segera merah.

Dari hasil pengujian, tanggapan dan efektifitas AT89C51 untuk implementasi PLF Isol adalah layak untuk digunakan.

b. Hasil Pengujian dan Analisa Efektifitas PLF Isol

1). Hasil pengujian

Pengujian efektifitas PLF Isol dilakukan dengan membandingkannya dengan waktu tetap dilihat dari lamanya waktu tunda yang dihasilkan. Waktu tetap yang digunakan adalah lama waktu hijau 15 detik dan lama waktu hijau 10 detik.

Berikut parameter pengujian untuk pengaturan dengan lampu lalu lintas:

2. Pengendali waktu tetap dengan lama waktu hijau 15 detik

Lama waktu antar hijau = 4 detik, kuning dan merah semua = 2 detik,

Arus jenuh yang diatur adalah 3200 smp/jam.

3. Pengendali waktu tetap dengan lama waktu hijau 10 detik

Lama waktu antar hijau = 4 detik, kuning dan merah semua = 2 detik.

Arus jenuh yang diatur adalah 3200 smp/jam.

4. PLF Isol

Fungsi keanggotaan dapat dilihat pada gambar 3, kaidah yang digunakan seperti **Tabel 3**, penalaran logika fuzzy yang digunakan adalah fungsi implikasi, metode defuzzifikasi menggunakan CoG.

Tabel 3. Data jumlah kendaraan Pengujian I.

	Jumlah kendaraan setiap fase			
	Jalur I (smp) ^{*)}	Jalur II (smp)	Jalur III (smp)	Jalur IV (smp)
Titik-Uji I	21	23	20	21
Titik-Uji II	6	15	2	12
Titik-Uji III	14	20	17	21
Titik-Uji IV	21	2	23	6
Titik-Uji V	12	10	12	18
Titik-Uji VI	12	7	14	4

^{*)} Satuan mobil penumpang.

5. Data Jumlah kendaraan

Pada pengujian, Jumlah kendaraan pada setiap jalur pola kepadatannya dibuat berubah-ubah. ini, untuk menguji seberapa baik kemampuan PLF Isol dalam melakukan pengaturan lalu lintas. Jumlah

kendaraan dibuat untuk mencerminkan kondisi lalu-lintas tidak padat sampai sangat padat.

1. Pengujian I

Pengujian I bertujuan untuk mengetahui seberapa baik kemampuan PLF Isol dalam melakukan pengaturan yaitu dalam memberikan lamanya nyala lampu hijau pada suatu jalur persimpangan berdasarkan jumlah kendaraan yang akan dilewatkan seperti pada **Tabel 4**. Hasil pengaturan berupa lamanya nyala lampu hijau ditunjukkan pada **Tabel 5** yang merupakan hasil menggunakan logika fuzzy.

Tabel 4. Lama nyala lampu hijau menggunakan logika fuzzy

	Lama nyala lampu hijau			
	Jalur I (detik)	Jalur II(detik)	Jalur III (detik)	Jalur IV (detik)
Titik-Uji I	16	16	16	16
Titik-Uji II	4	12	2	10
Titik-Uji III	12	18	16	16
Titik-Uji IV	18	4	24	2
Titik-Uji V	10	10	10	16
Titik-Uji VI	12	4	12	4

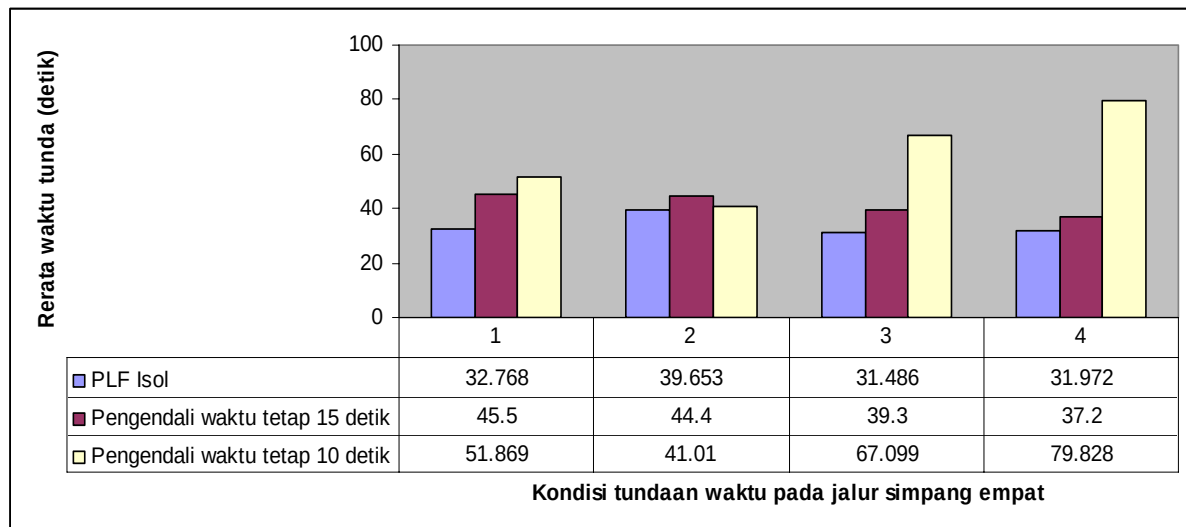
Tabel 5. Data jumlah kendaraan Pengujian II

	Jumlah kendaraan (satuan mobil penumpang/jam)			
	Jalur 1	Jalur 2I	Jalur 3	Jalur 4
Titik-Uji I	600	640	590	600
Titik-Uji II	200	458	98	400
Titik-Uji III	340	515	480	520
Titik-Uji IV	625	40	800	50
Titik-Uji V	400	334	400	500
itik-Uji VI	400	200	450	140

2. Pengujian II

Pengujian II bertujuan untuk mengetahui seberapa baik kemampuan PLF Isol dibandingkan dengan pengaturan lampu lalu-lintas dengan waktu tetap untuk simpang yang sama. Metoda yang digunakan adalah membandingkan waktu tunda yang diperoleh dari pengaturan PLF Isol terhadap waktu tunda yang diperoleh dengan pengaturan menggunakan lampu lalu-lintas dengan waktu tetap.

Berdasarkan **Gambar 10** dihitung rerata waktu tunda untuk model PFL Isol, pengendalian waktu tetap 15 detik, dan pengendalian waktu tetap 10 detik berturut-turut 33,970 detik, 41,6 detik dan 59.591 detik



Gambar 10. Grafik perbandingan waktu tunda PLF Isol dengan waktu tetap

B. Analisa efektifitas PLF Isol

Penentuan fungsi keanggotaan dan kaidah pengendali PLF Isol dirancang untuk satu simpang dari kondisi tidak padat sampai dengan kondisi sangat padat. Simpang yang digunakan pada perancangan ini adalah simpang yang memiliki arus jenuh kendaraan sebesar 3200 smp/jam dan suatu jalur yang memiliki antrian sangat padat dengan jumlah kendaraan sebanyak 24 kendaraan.

Hasil Pengujian I pada tabel 4 menunjukkan bahwa PLF Isol dapat memberikan lama nyala lampu hijau sesuai dengan jumlah kendaraan. PLF Isol berhasil memberikan pengaturan berupa lama nyala lampu hijau yang dinamis sesuai dengan jumlah kendaraan pada jalur yang diatur. Pemberian waktu berupa lama nyala lampu hijau pada suatu jalur tergantung dengan kendaraan yang akan dilewatkan dengan memperhatikan jumlah kendaraan pada jalur yang menunggu.

Gambar 10 menunjukkan perbandingan waktu tunda PLF Isol dengan waktu tetap. Dari gambar terlihat bahwa waktu tunda rata-rata PLF Isol lebih kecil dibandingkan dengan waktu tunda yang diperoleh pengaturan lampu lalu-lintas dengan waktu tetap. Waktu tunda rata-rata diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan (6). Pengendali waktu tetap 15 detik masih lebih baik dari waktu tetap 10 detik.

Pada pengendali lampu lalu-lintas waktu tetap lama nyala lampu hijau adalah statis walaupun kendaraan pada jalur tersebut berubah

kondisi. Hal ini menyebabkan waktu tunda akan besar walaupun kapasitas kendaraan pada jalur tersebut tidak padat untuk pengendali waktu tetap 15 detik nyala hijau sedangkan pada pengendali waktu tetap 10 detik nyala lampu hijau, waktu tundaan rata-rata akan besar ketika jalur memiliki kapasitas kendaraan yang sangat padat. Pengendali dengan lampu lalu-lintas waktu tetap cocok untuk kondisi lalu-lintas dengan arus kendaraan yang tidak padat.

Membandingkan rerata waktu tunda yang telah dihitung, diperoleh persentasi peningkatan perbaikan waktu tunda dari pengendalian dengan lampu lalu-lintas waktu tetap 15 detik ke pengendalian dengan PLF Isol berdasarkan persamaan 12 adalah sebesar : % improv = $(41.6 - 33.97) / 41.6 \times 100\% = 18.34\%$

Pengendalian PLF Isol memiliki peningkatan perbaikan waktu tunda sebesar 18.34 % lebih baik dari pada menggunakan pengendalian dengan lampu lalu-lintas waktu tetap 15 detik nyala lampu hijau.

Persentasi perbaikan waktu tunda dari pengendali waktu tetap 10 detik nyala lampu hijau ke pengendali dengan PLF Isol adalah sebesar : % improv = $(59.951 - 33.97) / 59.951 \times 100\% = 43.34\%$.

Pengendalian dengan menggunakan PLF Isol memiliki peningkatan perbaikan waktu tunda sebesar 43.34% lebih baik dari pada menggunakan pengendalian dengan lampu lalu-lintas waktu tetap 10 detik nyala lampu hijau.

KESIMPULAN dan SARAN

1. KESIMPULAN

1. Pengaturan lampu lalu lintas simpang empat terpisah menggunakan logika fuzzy (PLF Isol) memiliki waktu tunda rata-rata kendaraan lebih baik dibandingkan pengendali nyala lampu hijau waktu tetap.
2. PLF Isol memiliki persentasi peningkatan perbaikan waktu tunda sebesar 18,34 % terhadap pengendali waktu tetap nyala lampu hijau 15 detik dan sebesar 43.34 % terhadap pengendali waktu tetap nyala lampu hijau 10 detik.
3. Penggunaan sistem kendali logika fuzzy yang menerapkan fungsi kanggotaan logika fuzzy, kaidah logika fuzzy, dan penalaran logika fuzzy menghasilkan pengaturan yang dinamis.
4. Penggunaan mikrokontroler AT89C51 sangat layak untuk implementasi PLF Isol yang hanya menggunakan 34,25% dari kapasitas memori AT89C51.

2. Saran

Memberikan data simulasi untuk tingkat kepadatan kendaraan yang lebih nyata dari kasus lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Widjajanto, A. 1997. Highway capacity manual (HCM) dimata kaji. Majalah Teknik Jalan dan Transportasi No. 90 Nov. 1997, Tahun ke XVII. Hal 74-75.
- Oglesby, Clarkson H., and Hicks, R. Gary. 1993. Teknik Jalan Raya. PT Erlangga. Jakarta.
- Hobbs, F.D., 1995, Perencanaan dan teknik Lalu Lintas. Gajahmada University Press, Yogyakarta.
- Mazidi, M. Ali dan Mazidi, Janice G. 2000. The 8051 Microcontroller And Embedded Systems. Prentice Hall. New Jersey.
- Kusumadewi, Sri dan Hari, Purnomo. 2004. Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung keputusan, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Kusumadewi, Sri. 2003. Artificial Intelegence (Teknik dan Aplikasinya). Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Supriyanto. 2003. Pengaturan Lampu Lalu Lintas Simpang Empat Terpisah Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani Berbasis Mikrokontroller AT 89C51. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Budi, Thomas S. 1997. Manajemen Lalu Lintas Perkotaan antara efisiensi dan equity. Majalah Teknik Jalan dan Transportasi No. 90 Nov. 1997. Th. XVII hal. 74-75.
- Clarkson H. Oglesby., and R. Gary Hicks. 1993. Teknik Jalan Raya. PT Erlangga. Jakarta.
- Hobbs, F.D., 1995, Perencanaan dan teknik Lalu Lintas. Gajahmada University Press, Yogyakarta.
- Widjajanto, A. 1997. Highway Capacity Manual (HCM) di mata kaji. Majalah Teknik Jalan dan Transportasi No. 90 Nov. 1997. Th. XVII hal. 69-73.
- _____, 2000. Manajemen Lalu Lintas Bandar Lampung 2000.
- _____, Lampu Hitung Mundur Masih Diuji Coba. Kompas. 18 April 2006.