

Perancangan Perangkat Sensor Optik untuk Otomasi Pemisahan Cairan pada Miniplant Pemisahan Cairan

Ahmad Mujahid

Departemen Teknik Fisika - Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesa 10 Bandung

Abstrak

Penelitian ini difokuskan pada proses pencucian biodiesel saat pemisahan air dan biodiesel dengan menggunakan bantuan sensor optik dan lensa. Perangkat sensor optik ini bekerja memanfaatkan perbedaan tingkat absorpsi cahaya dari sumber cahaya *Light Emitting Diode* (LED) sesuai dengan Hukum Absorpsi Beer-Lambert. Perancangan sensor ini bertujuan menggantikan peran pengamatan visual dari operator yang masih banyak dilakukan dan diharapkan dapat dimanfaatkan untuk proses pemisahan secara otomatis. Hasil pengujian perangkat sensor saat kondisi cairan diam menunjukkan untuk sumber cahaya LED biru mempunyai selisih tegangan antara air-minyak 2,823 volt, LED merah 1,697 volt dan inframerah 0,442 volt. Untuk uji T-student perbedaan deteksi air-minyak didapatkan nilai T untuk LED merah 97,156, LED biru 54,9 dan inframerah 45,841. Pada pengujian iluminansi untuk LED merah didapatkan nilai absorpsi A masing-masing untuk sampel air dan minyak adalah $2,26 \times 10^{-2}$ dan 0,822. LED Biru nilai absorpsi A $6,38 \times 10^{-2}$ dan 0,995. Sedangkan dari hasil analisis keadaan transien menunjukkan bahwa aliran air-minyak dengan sumber cahaya LED merah yang paling mendekati sistem orde 1 dengan nilai kuadrat koefisien relasi R^2 sebesar 0,896. Nilai ini lebih baik dibandingkan dengan sumber cahaya LED biru R^2 0,584 dan inframerah R^2 0,604.

Kata kunci: Biodiesel, sensor optik, Light Emitting Diode, absorpsi cahaya

Abstract

Biodiesel washing is an important process in biodiesel production in order to reduce contaminant. Mechanical stirring is one method for water washing. Separation of biodiesel and water employing gravitational principles. Surface boundary of biodiesel and water was visually observed by operator. In this study, optical sensor device was developed to replace operator function. This device consist of optical sensor, lens and Light emitting diode (LED) as light source. Optical sensor device works based on difference absorption level of light source according to Beer-Lambert absorption Law. As a result, red LED was closer to the first order system than blue LED and inframerah with quadratic relation coefficient R^2 were 0.896, 0.584 and 0.604, respectively.

Keywords: Biodiesel, Optical sensor, Light Emitting Diode, light absorption.

1 Pendahuluan

Dalam dunia industri, terutama industri proses banyak ditemui proses pemisahan dua jenis cairan atau lebih. Salah satunya adalah dalam proses pencucian biodiesel. Biodiesel dibuat dengan proses transesterifikasi dari minyak yang berasal dari tumbuhan maupun lemak hewan yang menghasilkan metil ester. Metil ester inilah yang disebut biodiesel. Biodiesel hasil dari proses transesterifikasi masih mengandung berbagai pengotor seperti sisa katalis alkalin, gliserol, methanol dan sabun-sabun yang harus dibersihkan terlebih dahulu agar tingkat kemurnian biodiesel semakin tinggi.

Dalam penelitian ini, proses pemurnian yang diteliti ialah proses pencucian dengan metode *mechanical stirring*. Biodiesel akan dicampur dengan air dengan perbandingan 1:1, lalu diaduk menggunakan alat pemutar mekanik sehingga pengotor pada biodiesel terlarut di

air. Setelah itu campuran ini didiamkan sehingga biodiesel yang telah dicuci akan berada di atas lapisan air akibat pengaruh gaya gravitasi terhadap perbedaan densitas cairan. Air pada lapisan bawah dibuang, selanjutnya proses ini diulang beberapa kali pada suhu 55 °C. Selama ini proses pemisahan cairan untuk skala laboratorium di Indonesia dilakukan secara manual berdasarkan pengamatan visual oleh operator. Adanya otomasi pada proses pencucian biodiesel dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi.

Fokus dalam penelitian ini terletak pada bagian pemisahan air dengan biodiesel, dengan menggunakan bantuan sensor optik untuk mendeteksi kedua jenis cairan. Perangkat sensor optik ini bekerja memanfaatkan perbedaan tingkat absorpsi cahaya dari transmiter sesuai dengan Hukum Absorpsi Beer-Lambert. Perancangan sensor ini bertujuan menggantikan peran pengamatan visual dari operator yang selama ini masih dilakukan. Sensor ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk proses pemisahan secara otomatis. Dalam pengerjaannya perangkat sensor ini akan diuji pada sebuah *mini plant* sistem otomasi pemisahan cairan dengan prinsip gravitasi, menggunakan sensor optik, pengontrol *Programmable Logic Controller* (PLC), dan aktuator solenoid valve. *Mini plant* ini sendiri merupakan bentuk prototipe *plant* untuk proses pemisahan dua jenis cairan dengan prinsip gravitasi.

2 Teori Dasar

Perangkat sensor yang dirancang menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) sebagai pemancar sinyal yang akan diterima oleh photodiode. LED inilah yang akan memancarkan cahaya untuk dilewatkan pada cairan minyak dan air. Cahaya dapat bersifat sebagai partikel (berupa photon) yang memiliki energi tertentu. Menurut Planck, energi suatu photon berbanding lurus dengan frekuensinya [1]

$$E = hv = h \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

dengan E adalah energi photon (Joule), h adalah tetapan kesebandingan Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ Joule.detik), v adalah frekuensi (Hz), c adalah cepat rambat gelombang cahaya ($c = 3 \times 10^8$ m/s) dan λ menyatakan panjang gelombang cahaya (m).

Hukum dasar absorpsi cahaya menyatakan bahwa jika suatu berkas sinar melewati suatu medium homogen, sebagian dari cahaya datang diabsorpsi dan sebagian dipantulkan, sedangkan sisanya ditransmisikan dengan efek intensitas murni sebesar [2].

$$I_o = I_a + I_t + I_r \quad (2)$$

Dimana I_o adalah intensitas cahaya yang masuk, I_a adalah intensitas cahaya yang diabsorpsi. I_r adalah intensitas cahaya yang dipantulkan dan I_t adalah intensitas cahaya yang ditransmisikan. Tetapi pada prakteknya, nilai I_r adalah kecil sekali ($\sim 4\%$) sehingga untuk tujuan praktik I_r dapat diabaikan,

$$I_o = I_a + I_t \quad (3)$$

Perangkat sensor yang digunakan pada *mini plant* menggunakan sensor optik, dengan memanfaatkan perbedaan tingkat absorpsi cahaya oleh minyak dan air. Prinsip dasar mengenai absorpsi cahaya dikenal dengan hukum absorpsi Beer-Lambert sebagai berikut [2]:

1. Hukum Lambert menyatakan bahwa proporsi berkas cahaya datang yang diserap oleh suatu bahan tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya yang datang. Intensitas cahaya yang keluar setelah melewati medium tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = T \times I_0 \quad (4)$$

2. I adalah intensitas berkas cahaya keluar, I_0 adalah intensitas berkas cahaya datang, dan T adalah transmitansi. Jika transmisi dinyatakan dalam persentase (satuan %), maka :

$$\%T = (I/I_0) \times 100 = \exp(-\epsilon c l) \quad (5)$$

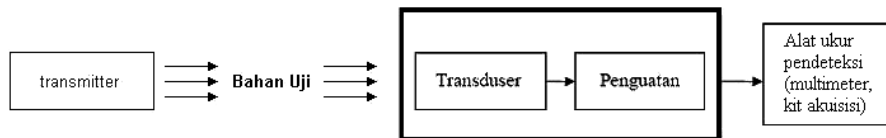
3. Hukum Beer menyatakan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan dengan konsentrasi dan ketebalan medium. Oleh August Beer (Hukum Beer) dituliskan sebagai berikut :

$$A = \epsilon c l = \log (I_0/I) \quad (6)$$

ϵ adalah molar absorpsitivitas untuk panjang gelombang tertentu atau disebut juga sebagai koefisien ekstinsif (dalam $l \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), c adalah konsentrasi molar (mol l^{-1}) dan l adalah panjang atau ketebalan dari medium yang dilintasi oleh cahaya (cm).

3 Rancangan Alat dan Percobaan

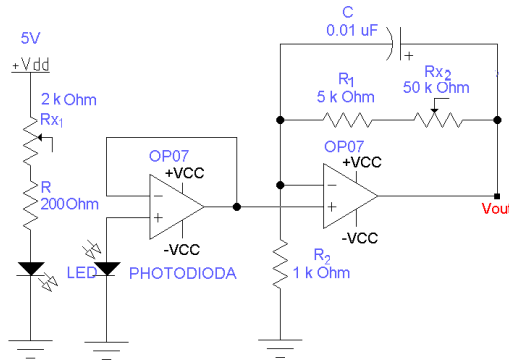
3.1 Perancangan Perangkat Sensor



Gambar 1 Perangkat sensor

Transmitter yang digunakan adalah *Light Emitting Diode* (LED) dengan transduser photodiode.

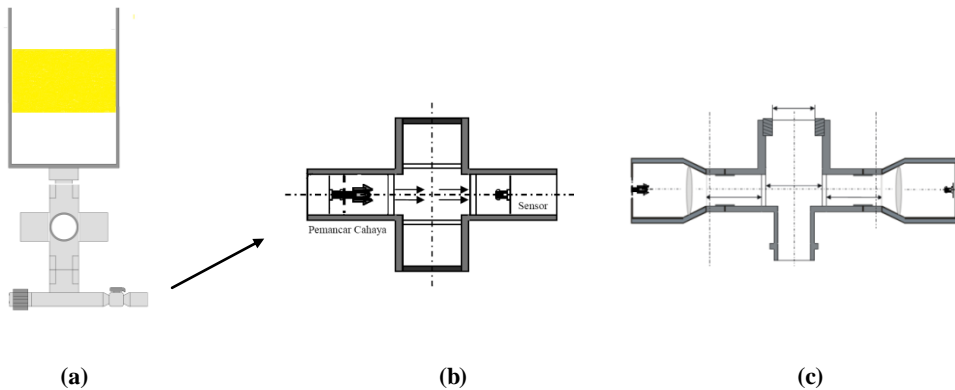
3.2 Perancangan Rangkaian Sensor



Gambar 2 Rangkaian sensor

Sumber tegangan digunakan sumber DC 5 Volt. Dua resistor dipasang seri dengan LED. Resistor R 200 Ω sebagai resistor batas maksimal dari arus yang dapat mengalir dan resistor variabel multiturun Rx1 2 k Ω dimaksudkan untuk mengatur intensitas LED. Cahaya yang dipancarkan LED akan diterima oleh photodioda. Photodioda yang digunakan mempunyai rentang panjang gelombang 320-1100nm. Photodioda dirancang agar beroperasi sebagai piranti fotovoltaik (sumber tegangan) yaitu dengan diberi bias nol. Tegangan yang dihasilkan oleh sel photodioda akan sebanding dengan intensitas cahaya yang diterima Tegangan ini akan dikuatkan dengan OPAMP jenis *Non Inverting*.

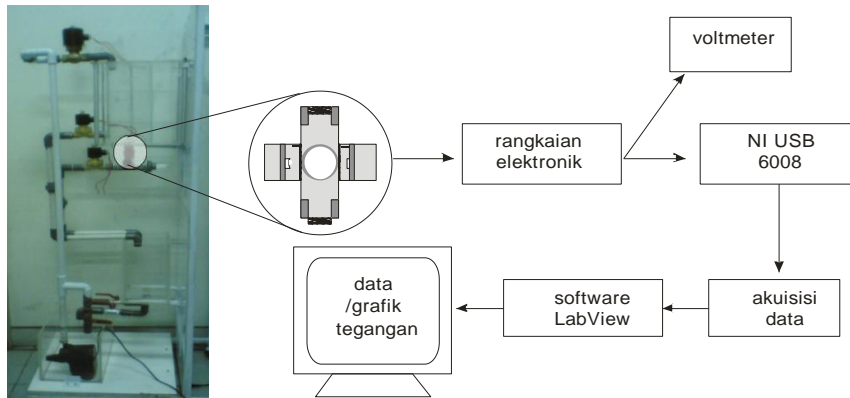
3.3 Perancangan Perangkat Uji



Gambar 3 (a) Tangki uji dan penampang peletakan sensor (b) tanpa lensa dan (c) dengan lensa

Pada pengujian awal, perangkat uji yang digunakan masih belum terpasang lensa. Agar didapatkan kinerja sensor yang lebih baik, pada saat implementasi dengan PLC dipasang lensa agar cahaya lebih terfokus pada permukaan lensa. Lensa yang digunakan merupakan jenis cembung-cembung dengan titik fokus 5 cm. Lensa sendiri ditempatkan pada jarak 5 cm didepan sumber cahaya dan sensor.

3.4 Prosedur Percobaan



Gambar 4 Prosedur percobaan pengujian alat

4 Hasil dan Analisis

4.1 Pengujian Illuminansi

Tabel 1 Karakteristik sumber cahaya

LED Merah	Lux	volt	%T	Absorbsi	LED Biru	Lux	volt	%T	Absorbsi
kosong	17.89	9.05	100	0	kosong	26.7	9.95	100	0
air	16.98	9.08	94.91	2.26×10^{-2}	Air	23.05	9.75	86.33	6.38×10^{-2}
minyak	2.69	1.39	15.04	8.22×10^{-1}	minyak	2.69	1.42	10.08	9.95×10^{-1}

Pengujian ini dilakukan untuk melihat respon sensor terhadap illuminansi dari sumber cahaya. Dengan menggunakan persamaan (5) dan (6) didapatkan nilai tranmisi cahaya (%T) dan absorpsi. Dengan asumsi transmisi cahaya 100% atau absorpsi=1 adalah saat keadaan kosong. Transmisi ini menunjukkan seberapa banyak cahaya dari sumber LED dilewatkan oleh bahan uji. Semakin banyak cahaya yang dilewatkan, intensitas cahaya yang akan diterima oleh sensor semakin besar dan nilai tegangan keluaran rangkaian sensorpun menjadi lebih besar. Sedangkan absorpsi berkebalikan dengan transmisi.

4.2 Pengujian Kondisi Cairan Diam

Pengujian yang dilakukan saat kondisi cairan diam didapatkan hasil berikut:

Tabel 2 Keluaran tegangan kondisi cairan diam

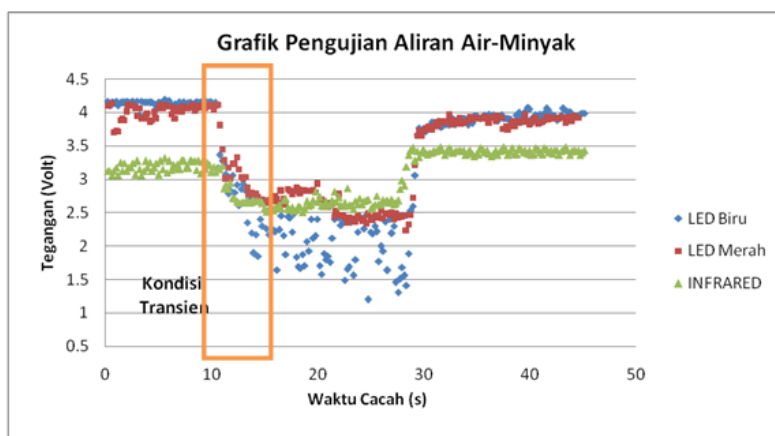
Sampel	Led Merah	Led Biru	Inframerah
kosong	4.023	4.027	3.424
air	4.084	4.119	3.198
minyak	2.387	1.296	2.776
selisih air-minyak	1.697	2.823	0.422

Tabel 3 Uji T-Student perbedaan deteksi air-minyak

Sumber Cahaya	T
LED Merah air-minyak	97.156
LED Biru air-minyak	54.9
IR air-minyak	45.841

4.3 Pengujian Kondisi Cairan Mengalir

Pada saat terjadi aliran air-minyak, hasil data pengukuran berupa grafik berikut



Gambar 5 Grafik tegangan aliran air-minyak

4.4 Analisis Keadaan Transien

Keadaan transien merupakan keadaan saat terjadi perubahan cairan dari air ke minyak yang terdeteksi oleh sensor. Bagian ini dianalisis dengan metode pengukuran parameter

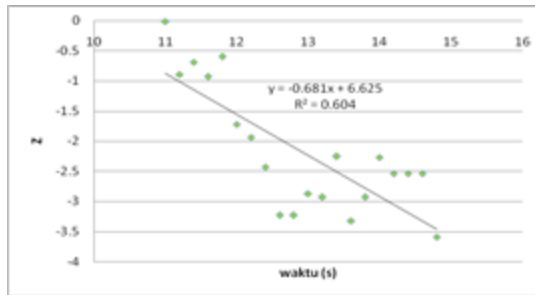
berdasarkan data eksperimen sehingga dapat diketahui apakah keadaan transien ini berperilaku seperti sistem orde-1. Dengan membuat grafik data Z terhadap waktu, akan didapatkan sebuah garis lurus setelah proses linierisasi. Kemiringan dari garis ini adalah $-1/\tau$. Jika data yang didapat jatuh mendekati garis lurus dapat dikatakan bahwa sistem tersebut berperilaku sebagai sistem orde 1 [8].

$$1 - \frac{q_o}{Kq_s} = e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{7}$$

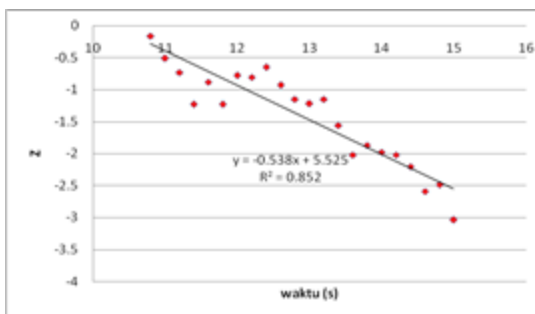
$$Z = \lg\left(1 - \frac{q_o}{Kq_s}\right) \tag{8}$$

$$Z = -\frac{t}{\tau} \rightarrow \frac{dZ}{dt} = -\frac{1}{\tau} \tag{9}$$

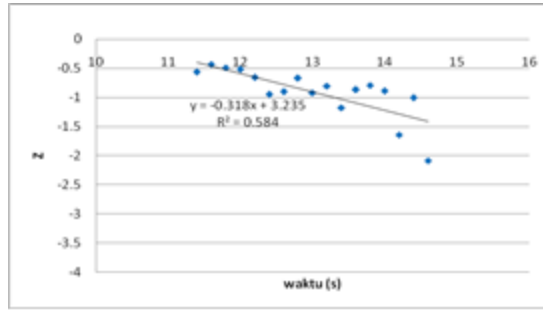
Untuk sistem aliran minyak ini diasumsikan bahwa sistem mendapat masukan *input step* dengan Kq_{is} sebesar selisih dari tegangan rata-rata keadaan tunak air dan tunak minyak. Nilai q_o adalah relatif terhadap kondisi awal keadaan tunak air.



Gambar 6 Grafik hasil plot Z terhadap waktu dengan sumber cahaya inframerah



Gambar 7 Grafik hasil plot Z terhadap waktu dengan sumber cahaya LED



Gambar 8 Grafik hasil plot Z terhadap waktu dengan sumber cahaya LED biru

Tabel 4 Nilai R² masing-masing sumber

Sumber	R ²
Inframerah	0.604
LED Merah	0.852
LED Biru	0.584

4.5 Analisis Rangkaian

Fungsi transfer rangkaian sensor ditunjukkan pada persamaan (10)

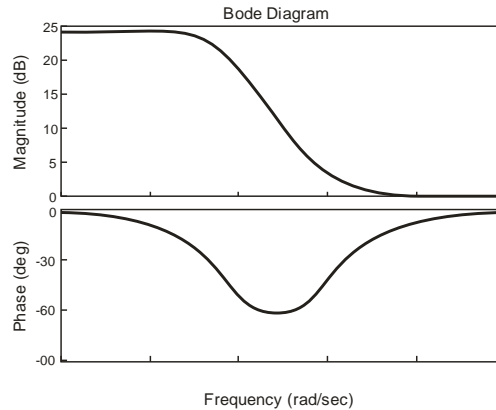
$$\frac{E_0(s)}{E_i(s)} = \frac{R_1 R_2 C_1 s + (R_1 + R_2)}{R_1 R_2 C_1 s + R_2} \tag{10}$$

Dengan R_1 , R_2 dan C_1 adalah konstanta.

Adapun dalam percobaan yang dilakukan nilai masing-masing resistor dan kapasitor adalah $R_2=1 \text{ k}\Omega$; $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$ dan $C_1 = 0.01 \mu\text{F}$. R_1 disini merupakan nilai hambatan total dari resistor batas $5 \text{ k}\Omega$ dan *multiturn* pada posisi $10 \text{ k}\Omega$. Nilai dari masing-masing komponen elektronik dimasukkan ke persamaan (4) sehingga akan didapatkan fungsi transfer seperti pada persamaan (11).

$$\frac{E_0(s)}{E_i(s)} = \frac{s + 1.07 \times 10^5}{s + 6.7 \times 10^3} \tag{11}$$

Dari persamaan (11) dengan bantuan *software MATLAB 7.0* didapatkan plot bode diagram dan frekuensi sepada Gambar 9.



Gambar 9 Plot bode diagram dan frekuensi rangkaian sensor

Pada plot Bode Diagram dan frekuensi menunjukkan bahwa kapasitor yang diparalel dengan resistor pada rangkaian mempunyai fungsi sebagai *Low Pass Filter* dengan frekuensi *cut off* 6.7×10^3 rad/sec. Nilai frekuensi *cut off* ini dapat dilihat dari persamaan (11). Frekuensi *cut off* terjadi saat *poles* bernilai nol, dari bode diagram dapat juga dilihat saat frekuensi *cut off* terjadi penurunan *magnitude* sebesar -20dB/dec.

5 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dibuat perangkat sensor optik untuk mendeteksi minyak dan air dengan menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) sebagai sumber cahaya dan photodiode sebagai sensor cahaya serta lensa dengan karakteristik sebagai berikut :

4. Sebagai pemancar diputuskan digunakan LED Merah dengan alasan berikut, hasil pengukuran tegangan keluaran saat uji statis didapatkan untuk LED merah saat air 4.084 volt dan minyak 2.387 volt; LED Biru saat air 4.119 volt dan minyak 1.296 volt; Inframerah saat air 3.198 volt dan saat minyak 2.776 volt.
5. Pengujian *T-Students* perbedaan deteksi air-minyak didapatkan nilai *T* untuk LED Merah adalah paling tinggi yaitu 97.156, LED Biru 54.9, Inframerah 45.841. Nilai variansi terbesar saat mendeteksi minyak ketika digunakan sumber cahaya LED Biru yaitu 0.155.
6. Aliran air-minyak dengan Sumber LED merah adalah yang paling mendekati sistem orde 1 dengan R^2 bernilai 0.852 , untuk inframerah R^2 bernilai 0.604 dan LED biru R^2 bernilai 0.584.
7. Pada pengujian illuminansi untuk sumber LED Merah besar transmisi ketika sampel air adalah 94.91 % dan absorpsi 2.26×10^{-2} , ketika sampel minyak transmisi 15.04 % dan absorpsi 0.822 .
8. Kinerja sensor ditingkatkan dengan menggunakan lensa dengan jarak fokus 5 cm. Lensa ini berguna untuk memfokuskan cahaya dari LED jatuh ke permukaan lensa

6 Daftar Pustaka

- [1] "Penjualan BBM Pertamina. S.L.". Republika Newsroom (11 Agustus 2009)
- [2] "Produksi CPO RI. S.L.". ANTARA (12 Desember 2008)
- [3] Mittelbach, M. dan Remschmidt, C..2004. *Biodiesel A Comprehensive Hdanbook*. Graz : s.n.

- [4] Bode, H. 2002. *Bahan Bakar Alternatif Biodiesel*. Teknik Kimia Seminar Nasional. Universitas Sumatera Utara.
- [5] Indartono, Y. S.. 2006. *Mengenal Biodiesel : Karakter, Produksi hingga Performansi Mesin*.
- [6] Erningpraja, L. dan Dradjat, B. 2006 "Biodiesel Berbahan Baku Minyak Sawit". *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Indonesia*. 28(3).
- [7] Hill, P. (2008). Small Scale Production Processes. Biodiesel Equipment, Processors, Acc. & Information. (Online). Tersedia: <http://www.biodieselgear.com>. [20 Agustus 2009].
- [8] Keenan, C. W., Kleinfeller, D. C. dan Wood, J. H. 1990. *General Chemistry College*. (Ed. 6). Knoxville : Harper & Row Publisher Inc.
- [9] The Visible Spectrum. *Encyclopædia Britannica, Inc.* Tersedia: <http://www.britannica.com/> [22 November 2009].
- [10] Khopkar, S. M. 1985. *Basic Concepts of Analytical Chemistry*. Bombay : Wiley Eastern Limited.
- [11] Carr, J. J. 1993. *Sensors dan Circuits*. New Jersey : PTR Prentice Hall.
- [12] Seippel, R. G. 1998. *Optoelectronics for Technology dan Engineering*. New Jersey : PTR Prentice Hall.
- [13] S1223 Series. 2001. *Datasheet Search Site*. [Online]. Tersedia: <http://www.alldatasheet.com> [11 Agustus 2009].
- [14] Malvino, A.P. 1993. *Electronic Principles 5th edition*. New York : The McGraw-Hill Companies.
- [15] Sudirham, S. 2008. *Pengantar Rangkaian Elektronik*. Bandung : Penerbit ITB.
- [16] Kane, J. W. dan Sternheim, M. M. 1998. *Physics 3rd edition*. New York : John Wiley & Sons.
- [17] Sutrisno. 1984. *Fisika Dasar : Gelombang dan Optik*. Bandung : Penerbit ITB.
- [18] Doebelin, E. O. 1990. *Measurement System : Application dan Design*. 4th Edition. s.l. : McGraw Hill.
- [19] Walpole, R. E. dan Myers, R. H. 1995. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. [ed.] Suroso. [trans.] R. K. Sembiring. Edisi 4. Bdanung : Penerbit ITB.
- [20] GaAs Infrared Emitting Diode. Tersedia: <http://www.datasheetcatalog.com>. [10 Agustus 2009].
- [21] Ultra Bright LED Lamp YZ-RV5N30N Series. 2002 [Online]. Tersedia: <http://www.yoldal.com> [10 Agustus 2009].
- [22] Ultra bright Blue LED Lamp YM-BV5S15Y Series. 2002. [Online] Tersedia: <http://www.yoldal.com> [10 Agustus 2009].
- [23] Ogata, K. 2002. *Modern Control Engineering*. 4th Edition. New Jersey : PTR Prentice Hall.