

# Otomasi Reaktor Transesterifikasi Biodiesel Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC)

Darmawan Hidayat<sup>1</sup>, Aji Zaelani Ahmad<sup>2</sup>, Tuti Aryati Demen<sup>3</sup>, Nendi Suhendi Syafei<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Departemen Teknik Elektro, FMIPA, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21, Jatinangor 45363, West Java, Indonesia

darmawan.hidayat@unpad.ac.id<sup>1</sup>

**Abstract** – Biodiesel merupakan hasil dari minyak nabati yang direaksikan dengan metanol dan KOH di dalam reaktor transesterifikasi. Namun dalam reaktor tersebut masih terdapat besaran fisis yang masih dikendalikan oleh manusia yaitu temperatur, rasio massa, dan kecepatan pengadukan sehingga dapat membahayakan manusia dan keterbatasan proses produksi. Dalam skripsi ini penulis merancang dan membangun sebuah prototipe sistem otomatisasi reaktor transesterifikasi biodiesel, yang mengendalikan temperatur, kecepatan pengadukan, juga perbandingan massa zat cair, dikendalikan digital oleh PLC. Prototipe ini dirancang untuk mereaksikan 10 kg minyak dan 1 kg metanol, dengan temperatur reaksi di atas 55 °C dan kecepatan aduk antara 300-500 rpm. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini telah dibangun sebuah prototipe reaktor transesterifikasi biodiesel yang dikendalikan PLC dengan waktu satu kali produksi 211 menit 10 detik, faktor konversi 87,3 %, error 7,7 %, dan rugi-rugi proses sebesar 10,6 %.

**Kata kunci:** reaktor transesterifikasi, biodiesel, sistem kendali, PLC.

## 1. Pendahuluan

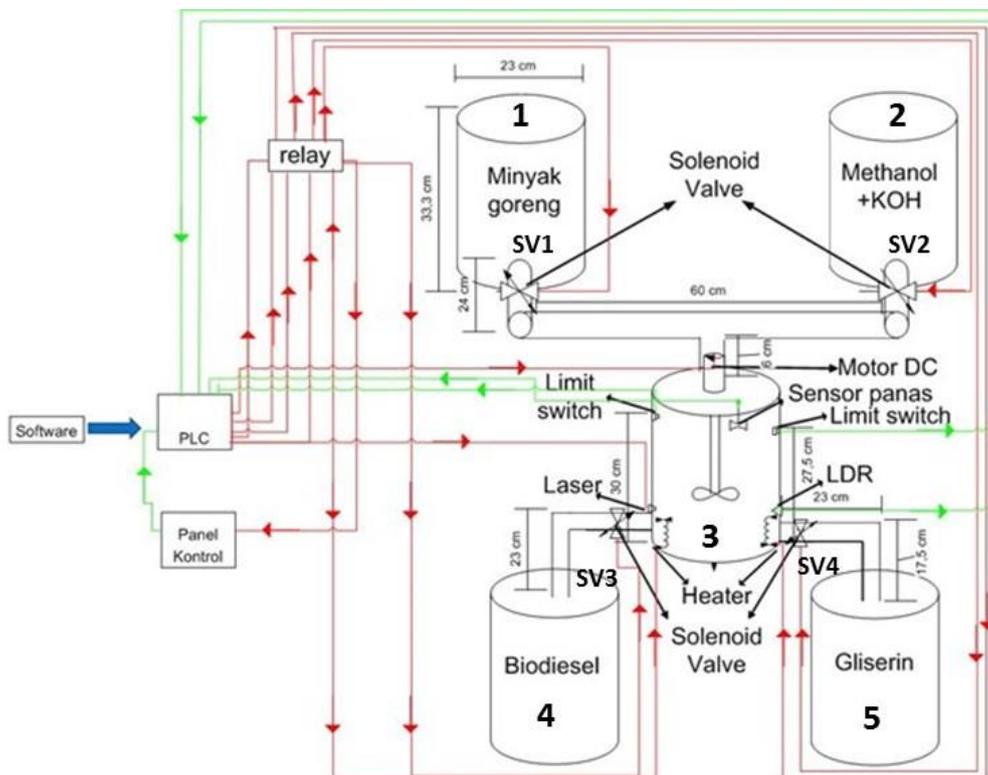
Biodiesel merupakan bahan bakar mesin diesel yang berupa ester alkil/alkil asam-asam lemak yang dibuat dari minyak nabati melalui proses trans-esterifikasi atau estrifikasi, yang merupakan proses kimiawi pengkonversi bahan trigliserida menjadi bahan alkil ester dan menghasilkan bahan buangan berupa gliserol dengan menggunakan alkohol [1,2]. Dalam pembuatannya terdapat beberapa tahap diantaranya adalah pencampuran katalis alkalin dengan alkohol, pencampuran alkohol dan katalis dengan minyak nabati selanjutnya disebut proses transesterifikasi, pemisahan antara gliserol dan alkil ester dan terakhir adalah purifikasi yang merupakan pencucian dan pengeringan air yang terkandung dalam biodiesel [3,4].

Dalam setiap tahapan produksinya terutama di dalam reaktor yang meliputi proses transesterifikasi, terdapat beberapa besaran fisis krusial yang masih dikendalikan secara konvensional atau menggunakan operator manusia, diantaranya adalah temperatur, aliran fluida, tinggi fluida, dan pemisahan antara biodiesel dan bahan buangannya [5,6], yang mengakibatkan keterbatasan efisiensi kerja dan waktu produksi, dan kecenderungan manusia yang mempunyai sifat kelelahan membuat kurang telitinya dalam pengendalian, sehingga hal itu memengaruhi standar produksi [7-9].

Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan sebuah sistem kendali otomatis yang mengintegrasikan berbagai macam komponen yang berdiri sendiri menjadi suatu sistem terpadu dan mudah dimodifikasikan tanpa harus mengganti semua instrumen yang ada, salah satunya dengan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC), yang meningkatkan efisiensi kerja dan mempercepat waktu produksi dengan standar yang tepat.

Untuk meningkatkan produksi biodiesel secara otomatis, perlu dibangun sistem pengendali dalam proses transesterifikasi yang meliputi pengendalian temperatur, aliran fluida, pencampuran fluida, dan sistem pemisahan fluida yang dikendalikan secara digital oleh PLC. Makalah ini

menyajikan desain sistem otomatis pada pembuatan biodiesel dan mengendalikan besaran fisika dalam proses trans-esterifikasi dan proses separasi.



Gambar 1. Disain Reaktor Transesterifikasi Biodiesel

## 2. Perancangan

### 2.1 Disain Reaktor Transesterifikasi Biodiesel

Disain reaktor transesterifikasi biodiesel diperlihatkan pada Gambar 1. Sebagai bahan baku, alkohol dan katalis proses digunakan masing-masing adalah 10 kg minyak goreng, 1 kg metanol, dan 100 gr potasium hidroksida (KOH) [10,11]. Reaktor ini mencampurkan seluruh bahan baku. Selanjutnya campuran tersebut dipanaskan hingga  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan diaduk selama 30 menit setelah itu didiamkan selama 2 jam. Proses pembentukan biodiesel terjadi selama rentang waktu 2 jam ini, membentuk dua jenis cairan terpisah akibat perbedaan berat jenis yaitu gliserin dan biodiesel. Sebuah sensor optik terkalibrasi digunakan untuk deteksi pemisahan gliserin dan biodiesel.

Reaktor terdiri dari lima tangki identik dengan ukuran diameter dan tinggi masing-masing 23 dan 33 cm. Tangki 1 dan 2 masing-masing untuk minyak kelapa dan campuran metanol-KOH. Setiap bahan disalurkan ke Tangki-3 oleh sebuah keran elektronik (*solenoid valve*) melalui pipa PVC ukuran 0,5 inci.

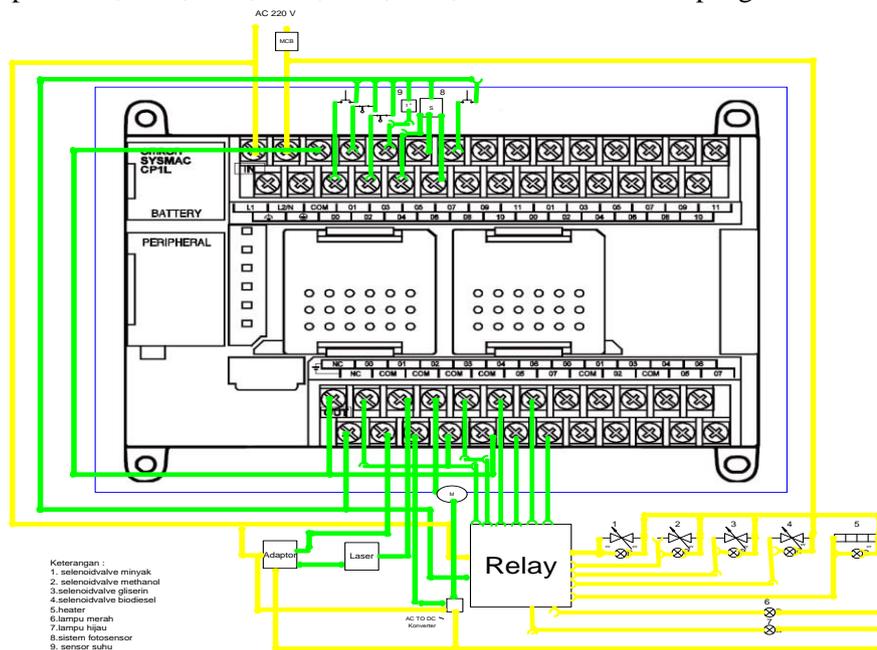
Proses transesterifikasi terjadi di Tangki 3. Tangki ini dilengkapi dua sensor ketinggian cairan berupa LS (*limit switch*). Sensor LS1 untuk mendeteksi ketinggian bahan baku minyak sedangkan LS2 untuk mendeteksi ketinggian campuran minyak dan metanol-KOH. Dengan masa jenis minyak  $877,13\text{ kg/m}^3$  dan massa 10 kg, ketinggian minyak di dalam Tangki 3 adalah 27,4 cm. Sensor LS2 mendeteksi ketinggian campuran metanol yang mempunyai rapat jenis 791. Dengan dimensi Tangki-3, ketinggian metanol-KOH adalah 3 cm. Ketinggian campuran total dalam Tangki-3 adalah 30,4 cm. Jika bahan baku minyak menyentuh LS1 maka PLC menutup SV dan menyalakan pemanas (*heater*) Tangki-3, dan membuka SV Tangki-2 untuk mengalirkan campuran metanol-KOH hingga campuran total menyentuh LS2. Jika campuran total menyentuh LS2 maka PLC menutup SV2 dan menyalakan heater hingga  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Jika temperatur campuran Tangki-3 mencapai  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  maka PLC menggerakkan motor DC dengan kecepatan 333 rpm selama 30 menit untuk pengadukan, sambil menjaga temperatur stabil

pada 55 °C. Setelah 30 menit pengadukan, pemanas dipadamkan dan campuran didiamkan selama 2 jam, sampai terjadi pembentukan dua jenis cairan berbeda massa jenis di dalam Tangki-3, yaitu biodiesel di atas dan gliserin di bagian bawah. Deteksi pemisahan cairan dilakukan dengan menggunakan sensor absorpsi cahaya laser oleh medium berdasarkan perbedaan kekentalan. Sumber cahaya adalah laser dioda panjang gelombang 630-680 nm, dan penerima adalah LDR dengan jarak 23 cm. Laser dioda ditempatkan di luar tangki. LDR juga dipasang di luar tangki dengan diselubung batang silinder bolong sepanjang 5 cm untuk menghindari interferensi cahaya lingkungan ke LDR.

Jika sensor LDR mendeteksi gliserin maka PLC menutup SV3 dan membuka SV4 untuk mengalirkan gliserin ke Tangki-5. Jika sensor LDR mendeteksi biodiesel maka PLC menutup SV4 dan membuka SV3 untuk mengalirkan biodiesel ke Tangki-4. Jika LDR mendeteksi kosong maka proses keseluruhan selesai lalu PLC mematikan semua sistem secara otomatis.

Gambar 2 memperlihatkan diagram perkabelan sistem keseluruhan. Perkabelan sensor, aktuatur pemanas, SV1, SV2, SV3, SV4, SV5, aktuatur motor DC pengaduk.



Gambar 2. Diagram perkabelan sistem berbasis PLC

Keterangan alamat :

Input :		Out put:	
Komponen	Alamat	Komponen	Alamat
Push botton start	0.00	Lampu Indikator	100.00
Push botton stop	0.07	Selenoid valve 1( minyak )	100.04
Limit switch minyak	0.01	Selenoid Valve 2( Metanol)	100.05
Limit switch methanol	0.02	Selenoid Valve 3(gliserin)	100.06
Sensor panas	0.03	Selenoid Valve 4( Biodiesel)	100.07
Sensor sparator 1	0.04	Heater	100.03
Sensor sparator 2	0.05	Motor DC	100.02
Sensor sparator	0.06	Laser	100.01

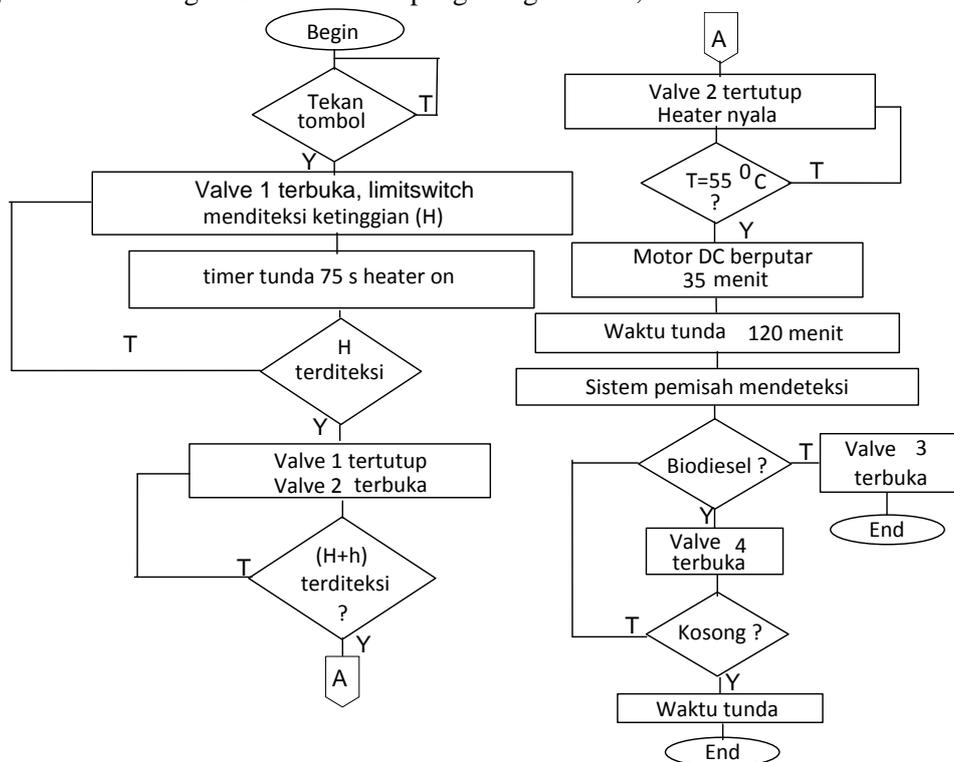
### 2.2. Algoritma Sistem

Gambar 3 memperlihatkan diagram alir perangkat lunak untuk implementasi sistem otomasi. Kondisi awal sistem adalah dalam keadaan OFF, seluruh SV tertutup dan aktuatur dalam keadaan

mati. Indikator lampu merah menyala menandakan sistem siap dijalankan. Ada beberapa tahapan yang dilakukan oleh sistem yaitu:

- jika *push button* ditekan maka lampu hijau menyala dan SV1 terbuka sampai LS1 mendeteksi ketinggian pertama. Ketika ketinggiannya sampai 5 cm maka pemanas menyala.
- Ketika LS1 pertama aktif (minyak terdeteksi penuh) maka SL1 tertutup dan SL2 terbuka.
- Ketika LS2 aktif (campuran total terdeteksi penuh) maka SL2 tertutup dan pemanas tetap menyala hingga temperatur 55 °C
- Ketika temperatur mencapai 55 °C maka motor DC berputar menggerakkan pengaduk selama 30 menit.

Timer menghitung mundur selama dua jam. Lalu laser menyala sehingga LDR sistem pemisah mendeteksi keadaan dalam tangki. Jika sensor mendeteksi biodiesel maka SV3 terbuka dan SV4 tertutup. Jika sensor LDR mendeteksi gliserin maka SV4 terbuka dan SV3 tertutup. Jika terdeteksi kosong maka program memberi waktu untuk pengosongan yang lebih sempurna sehingga tidak ada lagi sisa dalam tangki. Setelah waktu pengosongan habis, sistem dimatikan.



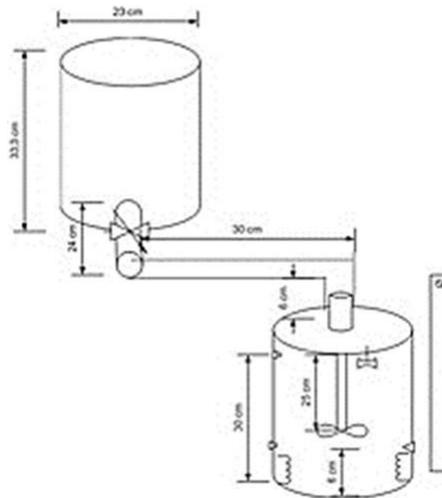
Gambar 3. Diagram alir pemrograman sistem keseluruhan

### 3. Hasil dan Diskusi

#### 3.1. Pengujian Limit Switch dan Waktu Pengisian Bahan

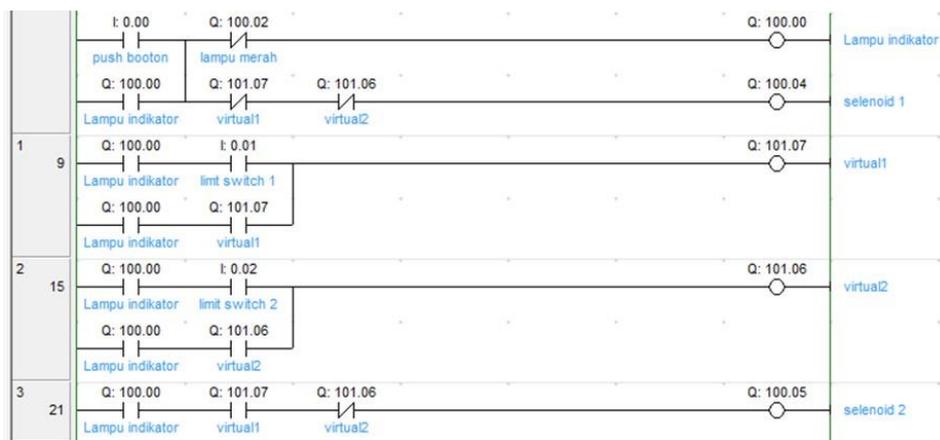
Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui waktu pengisian minyak dan metanol sehingga waktu yang dibutuhkan dapat dihitung sesuai dengan keperluan. seperti kebutuhan pada software yang menyalakan pemanas ketika minyak berada pada ketinggian 5 cm atau pada volume 2,1 liter. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari ledakan pada pemanas.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tangki berdiameter 23 cm dan tinggi 33,3 cm dengan pipa diameter 0,5 inci yang dipasang di bawah tangki dan disambungkan dengan SV sebagai keran elektronik yang dikendalikan oleh PLC. Pipa panjangnya 24 cm disambungkan dengan siku 90° menekuk dan disambungkan dengan pipa sepanjang 30 cm sampai bertemu percabangan yang menghubungkan antara pipa metanol, minyak, dan tangki transesterifikasi seperti pada Gambar 4.

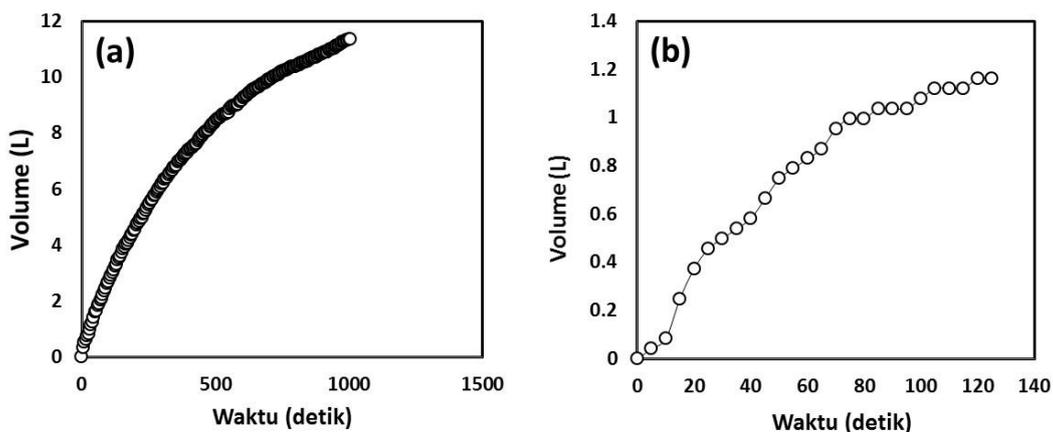


Gambar 4. Pengujian Pengisian Minyak

SV1 terbuka jika logika LS1 adalah 0 (cairan minyak belum penuh menyentuh LS) dan SV2 terbuka jika LS1 satu ada pada kondisi 1 (minyak bahan baku penuh). Untuk penerapannya harus menggunakan logika AND dalam ladder diagram. Gambar 5 merupakan ladder diagram sensor 5 merupakan ladder diagram sensor ini.



Gambar 5. Ladder Diagram pembacaan LS1 dan aktivari aktuator SV



Gambar 6. Kenaikan volume dalam proses pengisian bahan baku minyak dan campuran methanol-KOH ke tangka reactor, (a) pengujian pengisian minyak bahan baku, dan (b) pengujian pengisian metanol

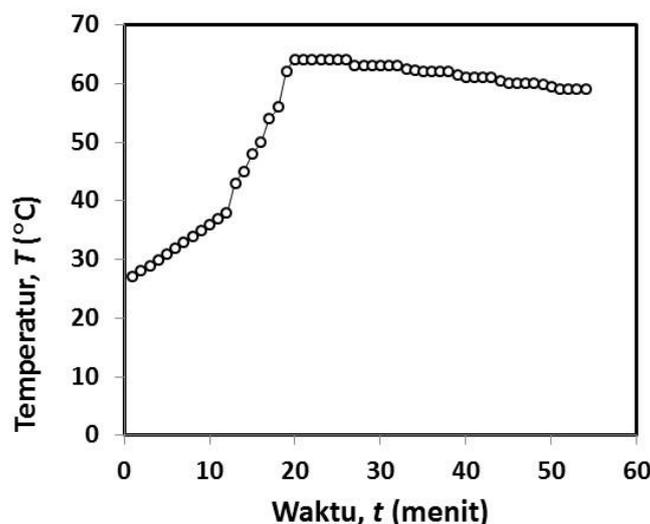
Gambar 6.a memperlihatkan bahwa waktu pengisian minyak ke Tangki-3 sampai minyak menyentuh sensor LS1 (volume 11,42 liter) dibutuhkan waktu 1010 s (16 menit 50 detik) dan

ketika minyak berada pada level 2,1 liter dengan ketinggian 5 cm dibutuhkan waktu 75 detik (1 menit 15 detik). Waktu pengisian 1,12 liter metanol adalah 125 s (2 menit 5 detik). Waktu total pengisian bahan baku minyak dan campuran methanol-KOH ke Tangki-3 transesterifikasi adalah 18 menit 55 detik.

### 3.2. Pengujian Sensor Temperatur dan Kestabilan Temperatur

Pengujian ini untuk menguji kinerja sensor temperatur dan mengetahui kestabilan temperatur reaktor Tangki-3. Pengujian ini juga untuk mengukur waktu yang dibutuhkan sistem memanaskan bahan. Pada proses pembuatan biodiesel dibutuhkan temperatur di atas 55 °C sehingga proses lebih efektif.

Pengujian dilakukan dengan memasang termometer di samping sensor temperatur yang dipasang 3 cm dari permukaan tangka (Gambar 1). Periode pencuplikan adalah satu menit. Dua buah pemanas dipasang 4 cm dari dasar Tangki-3. Pengaduk dipasang 8 cm dari dasar tangki.



Gambar 7. Pengujian temperatur

Gambar 7 memperlihatkan kenaikan temperatur campuran di Tangki-3 ketika pemanas mulai menyala, mulai dari temperatur kamar hingga ke SP (*setting point*).

Temperatur mencapai maksimum 64 °C dimulai dari 27 °C dalam waktu waktu 1 menit 15 detik. Pada rentang ini, temperatur masih terlihat linierr karena sensor belum mendeteksi temperatur pada bahan atau hanya mendeteksi temperatur ruang pada tangka. Pada rentang 13-19 menit, laju kenaikan temperatur semakin besar. Hal ini disebabkan oleh posisi sensor temperatur dekat dengan minyak yang sudah dipanaskan selama 11 menit 45 detik.

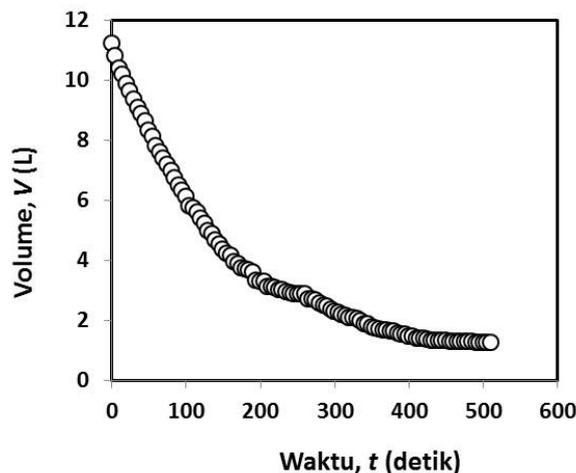
Pada waktu 19 menit dimana bahan tepat mengenai sensor, laju kenaikan temperatur semakin tinggi dari 56 °C ke 62 °C. Pada temperatur ini, PLC menyalakan pengaduk dan mematikan pemanas. Temperatur masih menunjukkan kenaikan mencapai 64 °C pada waktu 20 menit ketika berlangsung proses pengadukan. Hal ini disebabkan oleh distribusi temperatur dalam campuran yang belum merata. Ketika pengadukan hingga waktu 25 menit, temperatur reaktor stabil di 64 °C. Temperatur menurun konstan hingga waktu pengadukan selesai di temperatur 59 °C. Pengukuran temperatur pada Gambar 7 menunjukkan pemanasan sistem telah sesuai dengan kebutuhan proses transesterifikasi yaitu di atas 55 °C. Dan dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa temperatur tak terus melonjak naik sehingga sensor bekerja dengan baik.

### 3.3. Pengosongan Reaktor Biodiesel

Pengujian ini untuk mengukur waktu pengosongan biodiesel dan gliserin hasil reaksi dari Tangki-3 ke Tangki-4 dan 5 sebagai penampung produk. Kedua cairan produk tersebut berada di Tangki-3 dengan posisi biodiesel berada di atas gliserin. Biodiesel dan gliserin hasil dialirkan keluar secara berurutan menuju masing-masing Tangki-4 dan 5 melalui pipa diameter 0,5 inci

yang dikontrol oleh SV3 dan SV4. SV disambung kembali dengan pipa sepanjang 23 cm yang terpasang dengan siku lalu diturunkan ke Tangki 4 dan 5 seperti Gambar 1.

Pipa keluaran Tangki-4 dipasang lebih tinggi daripada pipa Tangki-5 karena cairan biodiesel berada di atas gliserin. Tangki pengosongan dipasang sebuah penggaris agar dapat mengukur penurunan zat cair. Data yang diambil adalah ketinggian bahan setiap 5 detik sekali.



Gambar 8. Pengosongan Biodiesel

Dari Gambar 8 diperoleh waktu yang dibutuhkan untuk mengeluarkan biodiesel dari dalam tangki transesterifikasi sebanyak 9,97 liter biodiesel adalah 490 detik atau 8 menit 10 detik. Untuk pengosongan gliserin tidak bisa dilakukan karena gliserin tepat berada di tengah-tengah lubang keluar sehingga gliserin tidak dapat keluar. Banyaknya gliserin yang tersimpan di dalam reaktor adalah 1,24 liter.

Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan, dapat diketahui waktu yang diperlukan satu kali proses dengan bahan baku minyak dan methanol-KOH masing-masing sebanyak 11,38 dan 1,24 liter adalah 211 menit 10 detik. Total bahan baku 12,54 liter menghasilkan dua cairan produk 11,21 liter, masing-masing 9,97 liter biodiesel dan 1,24 liter gliserin. Terdapat pengurangan sebanyak 1,33 liter.

$$\left| \frac{\text{bahan} - \text{hasil}}{\text{bahan}} \times 100\% \right| = \text{kerugian}$$

$$\left| \frac{12,54 - 11,21}{12,54} \times 100\% \right| = 10,60\%$$

Rugi-rugi (*losses*) proses adalah 10,60%. Hal ini disebabkan oleh penguapan dan kebocoran kecil tangki yang terbuat dari plastik ketika proses pemanasan. Tangki-3 memuai sehingga sambungan antara *solenoid valve* dan menyebabkan kebocoran.

Presentasi faktor konversi dari minyak menjadi biodiesel adalah:

$$\left| \frac{\text{Biodiesel}}{\text{minyak}} \times 100\% \right| = \text{konversi}$$

$$\left| \frac{9,97}{11,42} \times 100\% \right| = 87,3\%$$

Berarti sistem ini dapat mengkonversi minyak sebanyak 87,3% menjadi biodiesel. Literatur menerangkan dengan metode transesterifikasi dapat mengkonversi bahan baku minyak tumbuhan ke biodiesel sampai 95 %, berarti *error* dari sistem ini sebanyak 95%–87,3% = 7,7 % hal tersebut dapat dikarenakan oleh kebocoran sistem.

Untuk produksi selanjutnya dapat dihitung, dengan asumsi kerugian tetap 10,6% dan faktor konversi 87,3%, dan volume gliserin 1,24 L maka ketinggiannya adalah 3 cm yang mengendap di dalam reaktor dan tidak dapat keluar. Untuk perhitungan minyak yang masuk dengan ketinggian 27,5 – 3 cm yaitu 24,5 cm sehingga volumenya adalah  $0,245 \times 3,14 \times 0,25 \times 0,23^2 \times 1000$  yaitu 10,17 liter atau 8,9 kg.

Untuk faktor konversinya adalah 87,3 % dari volum minyak, sehingga minyak dapat diubah ke biodiesel sebanyak 8,87 L dan gliserinnya adalah  $10,17 \text{ L} - 8,87 \text{ L} = 1,3 \text{ L}$  ditambah dengan gliserin sebelumnya adalah 1,24 L sehingga gliserin yang ada dalam reaktor adalah 2,54 L dengan ketinggian

$$h = \frac{0,00254}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,23^2} = 6,1 \text{ cm} \quad (4.3)$$

Sensor pemisah dipasang di ketinggian 6 cm dan pipa untuk keluar gliserin dipasang di ketinggian 1 cm dari dasar reaktor sehingga gliserin keluar sampai pertengahan lubang pipa atau pada ketinggian 3 cm gliserin keluar setinggi 3,1 cm atau  $0,031 \times 0,25 \times 3,14 \times 0,23^2 \times 1000 = 1,2$  liter sehingga untuk proses selanjutnya tetap seperti itu.

Jika dibandingkan dengan keadaan aktualnya, reaktor yang sudah ada di pabrik-pabrik terdiri dari beberapa kapasitas reaktor, namun pada penelitian ini sistem dibandingkan dengan reaktor komersial berkapasitas 6600 ton/tahun. Dengan asumsi seluruh produksi sama dengan satu kali produksi awal, perbandingan dapat dilihat pada Tabel 1.

Terdapat kerugian sebanyak 1692 ton atau 25,6 %, hal ini dikarenakan pada reaktor aktual pemanas didisain menyelimuti reaktor sehingga pemanasan lebih efektif dan lebih merata, sehingga pemanasan relatif lebih cepat. Reaktor prototipe hanya bisa memproduksi 6,8 kali dalam sehari, sedangkan disain yang aktual bisa memproduksi sampai 7,8 kali dalam sehari.

Tabel 1. Perbandingan dengan reaktor aktual (6600 ton/ tahun)

Tangki		Prototipe	Aktual
	Ukuran	1x proses	78 x proses
Penyimpanan Minyak	Diameter (m)	0,23	5,23
	Tinggi (m)	0,33	15,68
	Diameter Pipa (m)	0,013	0,038
	Volume (L)	13,8	335930,8
Penyimpan metanol	Diameter (m)	0,23	5,61
	Tinggi (m)	0,3	16,8
	Diameter Pipa (m)	0,013	0,003
	Volume (L)	13,8	415350,7
Reaktor Transesterifikasi	Diameter (m)	0,23	1,60
	Tinggi (m)	0,33	1,50
	Diameter Pipa (m)	0,013	0,038
	Volume (L)	13,8	2992,6
Kapasitas produksi annual (Ton)		21,84	4.91

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sistem otomatisasi protipe reaktor transesterifikasi menggunakan PLC telah berhasil dirancang dan dicobakan. Proses reaksi pembentukan biodiesel berhasil. Algoritma perangkat lunak beroperasi dan berfungsi sesuai dengan perencanaan. Kapasitas reaktor adalah 12,54 liter menghasilkan biodiesel dan gliserin masing-masing sebanyak 9,97 dan 1,24 liter, menunjukkan factor konversi 87,3% (rugi-rugi proses 10,6%). Waktu proses total adalah 211 menit 10 detik.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Universitas Padjadjaran, Direktorat Riset, Pengabdian kepada Masyarakat dan Inovasi (DRPMI), Departemen Teknik Elektro atas penggunaan fasilitas dan sarana Laboratorium Elektroteknik, Tenaga Listrik dan Teknologi Telekomunikasi.

### Daftar Pustaka

- [1] G. Knothe, and L. F. Razon. Biodiesel fuels. *Progress in Energy and Combustion Science* 2017; 58:36–59.
- [2] M. Farieda, M. Samera, E. Abdelsalam, R. S. Yousef, Y. A. Attia, and A. S. Ali. Biodiesel production from microalgae: Processes, technologies and recent advancements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 79:893–913.
- [3] K. Varatharajana, D. S. Pushparani. Screening of antioxidant additives for biodiesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; Article in-press.
- [4] M. Ali, R. Sultana, S. Tahir, I. A. Watson, and M. Saleem. Prospects of microalgal biodiesel production in Pakistan – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 80:1588–1596.
- [5] M. Hassani, G. D. Najafpour and M. Mohammadi. Transesterification of Waste Cooking Oil to Biodiesel using  $\gamma$ -alumina Coated on Zeolite Pellets. *J. Mater. Environ. Sci.* 2016; 7(4):1193-1203.
- [6] S. H. Sonawane, S.H. Gharat, J. Dixit, K. Patil and V.S. Mane. Biodiesel Synthesis from Karanja Oil Using Transesterification Reaction. *Asian Journal of Chemistry* 2008; 20(2):857-862.
- [7] G. Anastopoulos, Y. Zannikou, S. Stournas and S. Kalligeros. Transesterification of Vegetable Oils with Ethanol and Characterization of the Key Fuel Properties of Ethyl Esters. *Energies* 2009; 2:362-376.
- [8] E. T. Akhiero, K. M. Oghenejoboh, and P. O. Umukoro. Effects of Process Variables on Transesterification Reaction of Jatropha Curcas Seed Oil for the Production of Biodiesel. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2013; 3(6): 388-393.
- [9] W. A. Wali, J. D. Cullen, S. Bennett, and A. I. Al-Shamma'a. Intelligent PID Controller for Real Time Automation of Microwave Biodiesel Reactor. *International Journal of Computer and Information Technology* 2013; 2(4)809-814.
- [10] A.A. Olufemi and S.E. Ogbeide. Dynamics and Control System Design for Biodiesel Transesterification Reactor. *International Robotics & Automation Journal* 2017; 2(6): 1-6.
- [11] R. Richard, S. T.-Roux, and L. E. Prat. Modelling the kinetics of transesterification reaction of sunflower oil with ethanol in microreactors. *Chemical Engineering Science* 2013, (87): 258-269.