

Pembuatan Sensor Elektromagnetik untuk Otomasi Pemisahan Cairan pada Miniplant Pencucian Biodiesel

Mohammad Ihsan

Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesa 10 Bandung

Abstrak

Pencucian biodiesel merupakan salah satu tahapan dalam proses pembuatan biodiesel. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan sisa pengotor yang dapat mengurangi kualitas biodiesel. Pada penelitian digunakan pencucian dan pemisahan cairan dengan metode *mechanical stirring* dan pemisahan berdasarkan prinsip gravitasi. Umumnya, untuk menentukan batas permukaan antara biodiesel dan air pada pabrik kecil, digunakan penglihatan visual oleh operator. Pada penelitian ini, dibuat seperangkat sensor elektromagnetik untuk menggantikan fungsi operator tersebut. Perangkat sensor bekerja berdasarkan prinsip induktansi bersama pada *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT), sesuai dengan Hukum Faraday dan Hukum Lenz. Pengujian kinerja sensor dilakukan pada miniplant pencucian biodiesel. Sensor juga diuji untuk mendapatkan karakteristik statis dan dinamisnya. Sensor bekerja dengan baik untuk mendeteksi batas permukaan biodiesel dan air ketika cairan dialirkan dengan kecepatan $1,29 \times 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$. Sensor telah diuji dan bekerja baik pada saat digunakan sebagai pemicu *Programmable Logic Controller* (PLC) pada sistem otomasi pencucian biodiesel.

Kata kunci: pencucian biodiesel, otomasi, sensor elektromagnetik, LVDT

Abstrak

Water washing biodiesel is a process to reduce contaminant in order to increase quality of biodiesel. One of water washing methods is performed by mechanical stirring and gravitation principle. Generally, surface boundary of biodiesel and water on this process in small industries is visually observed by operator. In this study, electronic sensor device was developed to replace operator function using Linear Variable Differential Transformer (LVDT). Sensor was tested at a biodiesel purity miniplant to perform its dynamic and static characteristics. It also successfully connected with programmable logic controller (PLC). As a result, sensor works well at flow rate $1,29 \times 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$.

Keyword: Separation, automation, elektromagnetic sensor, LVDT

1 Pendahuluan

Biodiesel atau ester metil, merupakan bahan bakar yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewani dan dapat digunakan sebagai bahan bakar atau sebagai campuran dalam bahan bakar mesin diesel. Bahan baku biodiesel mudah diperbaharui, serta lebih ramah lingkungan. Industri biodiesel saat ini dikembangkan di negara-negara maju dan berkembang [1].

Penelitian ini meninjau proses pemurnian biodiesel yang dilakukan untuk memisahkan biodiesel dari pengotor-pengotornya yaitu pemisahan cairan secara gravitasi dengan metode pengadukan mekanis (*mechanical stirring*). Pendeteksian batas antara permukaan biodiesel dan air beserta pengotornya pada pabrik biodiesel kecil di Indonesia umumnya dilakukan dengan pengamatan visual yang dilakukan oleh operator. Otomasi pada proses pemisahan dapat meningkatkan efisiensi kerja dalam pembuatan biodiesel. Otomasi dapat pula mengurangi jumlah bahan baku yang terbuang, sehingga dapat mengurangi biaya

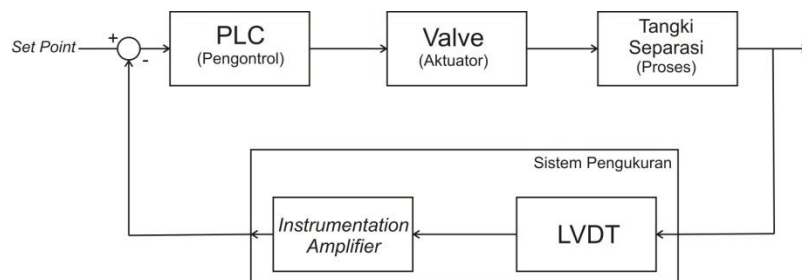
produksi. Selain itu, otomasi akan memberikan kemudahan dalam mengontrol proses pencucian biodiesel [2].

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pembuatan sensor elektromagnetik menggunakan LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) dengan pelampung sebagai inti (*core*) yang dapat mendeteksi batas antara permukaan biodiesel dan air. Perangkat sensor memanfaatkan perbedaan berat jenis antara biodiesel dan air, serta induktansi bersama pada LVDT berdasarkan Hukum Faraday dan Hukum Lenz.

Kinerja sensor dalam mendeteksi batas permukaan biodiesel dan air akan diuji pada *miniplant* pencucian biodiesel dengan prinsip gravitasi. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sensor. Sensor diharapkan dapat menjadi masukan pada PLC (*Programmable Logic Controller*) sebagai bagian dari otomasi proses pencucian biodiesel.

2 Teori Dasar

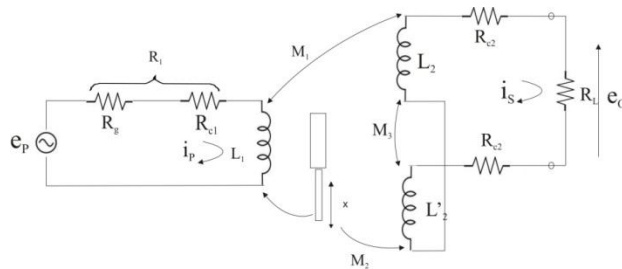
2.1 Sistem Otomasi Pencucian dan Pemisahan Biodiesel



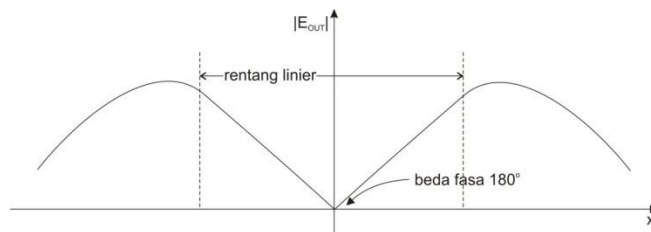
Gambar 5 Skema sistem otomasi pencucian dan pemisahan biodiesel

Skema sistem otomasi pencucian dan pemisahan biodiesel diperlihatkan pada Gambar 1. Sistem ini mengontrol proses pencucian dan pemisahan biodiesel dengan PLC sebagai pengontrol dan valve sebagai aktuatornya. Sistem ini merupakan sistem *loop* tertutup dengan umpan balik negatif berupa nilai keluaran dari sistem pengukuran. Penelitian ini difokuskan untuk merancang perangkat sistem pengukuran yang terdiri dari LVDT dan *instrumentation amplifier*.

2.2 Rangkaian LVDT



Gambar 6 Rangkaian LVDT saat kumparan P diberi tegangan E_P



Gambar 7 Kurva tegangan keluaran (E_{out}) terhadap posisi inti (x) [5]

Gambar 2 menunjukkan skema rangkaian LVDT. Rangkaian LVDT terdiri dari 1 kumparan primer dan 2 kumparan sekunder, bekerja berdasarkan prinsip induktansi bersama sesuai dengan Hukum Faraday dan Hukum Lenz. Induktansi bersama ini timbul dari adanya arus yang mengalir pada kumparan primer sehingga menghasilkan medan magnet. Berdasarkan Hukum Ampere, muatan listrik yang mengalir akan menimbulkan medan magnet. Pada solenoida dengan jumlah lilitan N dan panjang L , dengan permeabilitas ruang hampa μ_0 , nilai medan magnet B yang timbul akibat arus I_0 yang mengalir pada kawat dapat dirumuskan sebagai berikut [3].

$$B = \mu_0 \cdot I_0 \cdot \frac{N}{L} \text{ (Tesla)} \quad (1)$$

Hukum Faraday menyatakan bahwa perubahan medan magnet terhadap waktu akan menghasilkan arus yang mengalir pada kumparan yang berada pada daerah medan magnet [4]. Dengan dl adalah satuan panjang terkecil dari kurva C , S adalah permukaan yang dibatasi oleh kurva C , dan dS adalah satuan luas terkecil dari permukaan S , Hukum Faraday dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (2)$$

Timbulnya medan listrik E dapat disebabkan oleh perubahan medan magnet B , perubahan luas penampang S , atau dapat disebabkan oleh perubahan kedua besaran tersebut. Tanda negatif dari persamaan dijelaskan oleh Hukum Lenz yang menyatakan bahwa medan listrik terinduksi arahnya akan selalu berlawanan dengan arah perubahan fluks magnetik yang

menghasilkannya. Agar persamaan (2) **Error! Reference source not found.** mengikuti prinsip kekekalan energi, tanda negatif pada persamaan harus dipatuhi [4].

Gambar 2 menunjukkan rangkaian LVDT saat kumparan P diberi tegangan AC sebesar E_p . Rangkaian *loop* tertutup LVDT dapat dianalisis dengan menggunakan fungsi sebagai berikut [6].

$$\frac{E_O}{E_P} = \frac{s(M_1 - M_2)R_L}{s^2 2L_1 L_2 + s(R_2 L_1 + 2R_1 L_2) + R_1 R_2} \quad (3)$$

Dengan frekuensi natural sebagai berikut.

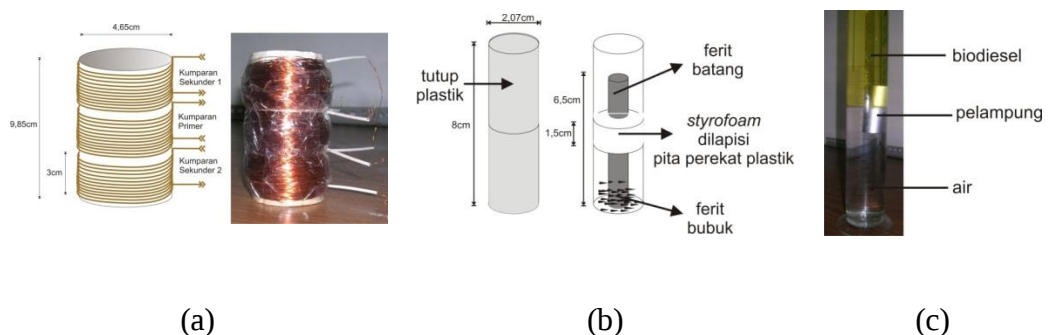
$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{R_1 R_2}{2L_1 L_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Pada frekuensi eksitasi tersebut, sensitivitas akan bernilai maksimum. Frekuensi eksitasi yang lebih besar dari frekuensi natural akan menyebabkan sensitivitas LVDT bertambah kecil. Gambar 3 menunjukkan kurva tegangan keluaran LVDT terhadap posisi inti.

3 Perancangan dan Realisasi Alat

3.1 Perancangan LVDT dan Pelampung

Kumparan LVDT terbuat dari kawat dengan diameter 0,5mm yang bagian luarnya diselubungi oleh lapisan isolator (*coated wire*). Untuk mempertahankan bentuk kumparan, digunakan kertas karton berbentuk silinder tanpa tutup. Resistansi kumparan primer (P) sebesar 13, 6Ω, sedangkan kumparan sekunder (S) sebesar 10, 7Ω. Gambar 4 (a) menunjukkan rancangan LVDT. Sebagai isolator pemisah antar kumparan dan pelapis bagian luar kumparan, digunakan pita perekat plastik (*adhesive tape*). Kumparan primer akan dikoneksikan dengan pembangkit tegangan AC.



Gambar 8 (a) Foto dan gambar detail LVDT (b) Skema rancangan pelampung (c) Pelampung saat berada di antara

Kumparan sekunder S1 dan S2 dihubungkan secara seri. Ujung-ujung dari kedua kumparan sekunder akan menjadi keluaran LVDT dan akan diperkuat oleh *instrumentation*

amplifier. Untuk mengurangi gangguan sinyal keluaran, salah satu ujung dari kumparan sekunder akan dikoneksikan dengan *ground*.

Untuk mengetahui batas permukaan antara biodiesel dan air, digunakan pelampung sebagai inti (*core*) pada LVDT. Pelampung ditempatkan pada bejana yang berhubungan dengan tangki pencucian biodiesel. Pelampung dibuat sehingga dapat mengapung pada batas antara biodiesel dan air (Gambar 4 (c)). Skema rancangan pelampung ditunjukkan pada Gambar 4 (b).

Dengan asumsi bahwa pelampung berbentuk silinder sempurna, d adalah diameter pelampung, dan t adalah tinggi pelampung, maka volume dari pelampung dapat dirumuskan sebagai berikut.

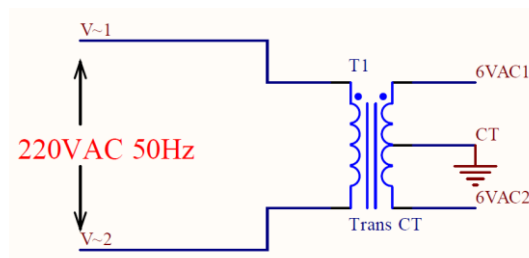
$$V = \frac{1}{4} \pi d^2 t = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (2,07)^2 \cdot 8 = 26,92 \approx 27 \text{ (cm}^3\text{)} \quad (5)$$

Untuk mengetahui massa dari pelampung yang dibutuhkan, nilai V disubstitusikan persamaan berikut.

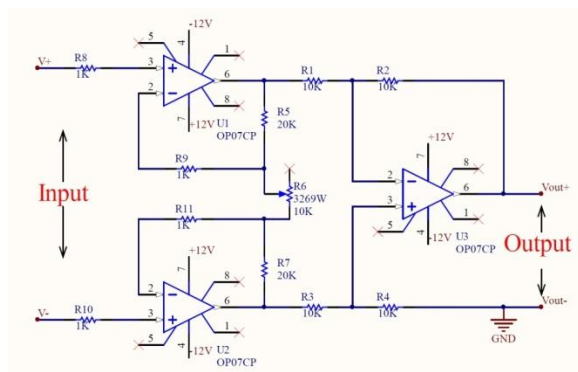
$$m = \frac{V}{2} \cdot (\rho_1 + \rho_2) = \frac{27}{2} \cdot (0,86 + 0,99) = 24,98 \approx 25 \text{ (gr)} \quad (6)$$

Dengan ρ_1 adalah massa jenis biodiesel dan ρ_2 adalah massa jenis air.

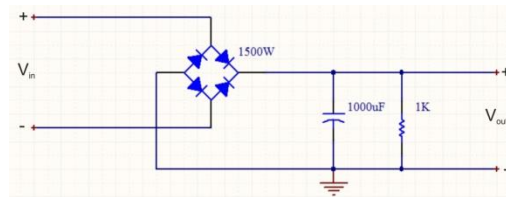
3.2 Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal



Gambar 5 Pembangkit tegangan AC



Gambar 6 Rangkaian instrumentation amplifier



Gambar 7 Rangkaian penyearah tegangan

Rangkaian pengondisi sinyal terdiri dari 2 bagian, yaitu pembangkit tegangan AC serta rangkaian *instrumentation amplifier*. Rangkaian pengondisi sinyal digunakan untuk mengeksitasi kumparan primer LVDT dengan tegangan arus bolak-balik (*alternating current voltage*), serta untuk memperkuat keluaran dari kumparan sekunder LVDT, sehingga dapat digunakan sebagai masukan dari pengontrol PLC.

Skema pembangkit tegangan AC ditunjukkan pada Gambar 5. Komponen yang digunakan adalah trafo *step-down* dengan masukan tegangan AC $220V_{rms}$ dengan frekuensi 50Hz, akan menghasilkan tegangan AC sebesar $10,55V_{rms}$ yang akan digunakan sebagai tegangan masukan LVDT.

Skema dari rangkaian *instrumentation amplifier* ditunjukkan pada Gambar 6. Masukan didapat dari tegangan keluaran LVDT dengan rentang 26,6-351,4mV. $U1$ dan $U2$ berfungsi sebagai penguat non-inversi, sedangkan $U3$ berfungsi sebagai penguat differensiator. Rentang penguatan pada rangkaian bergantung pada nilai resistansi dari potensiometer $R6$, dapat dirumuskan sebagai berikut.

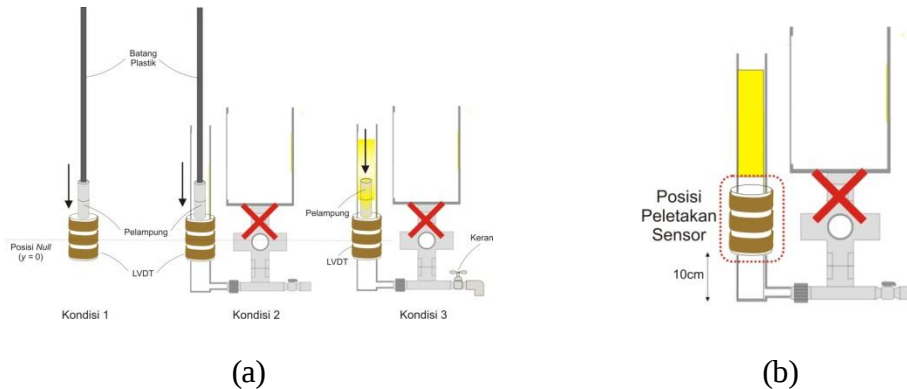
$$K_{TOTAL} = \left(1 + \frac{40}{R_6}\right) \quad (7)$$

3.3 Implementasi Sensor pada *Miniplant* Pencucian Biodiesel

Perangkat sensor akan diimplementasikan pada *miniplant* pencucian biodiesel yang dikontrol dengan menggunakan PLC serta dilengkapi dengan modul analog dengan rentang tegangan masukan DC 0-10Volt. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor adalah tegangan AC. Untuk itu, perlu ditambahkan rangkaian penyearah tegangan (*full-wave rectifier*) dengan skema rangkaian ditunjukkan pada Gambar 7 [7].

4 Pengujian dan Analisis

4.1 Prosedur Percobaan



Gambar 89 (a) Ilustrasi kondisi percobaan (b) Ilustrasi tangki separasi dan bejana
Data pengujian perangkat sensor diambil dari percobaan pada 3 kondisi (Gambar 8 (a)), yaitu:

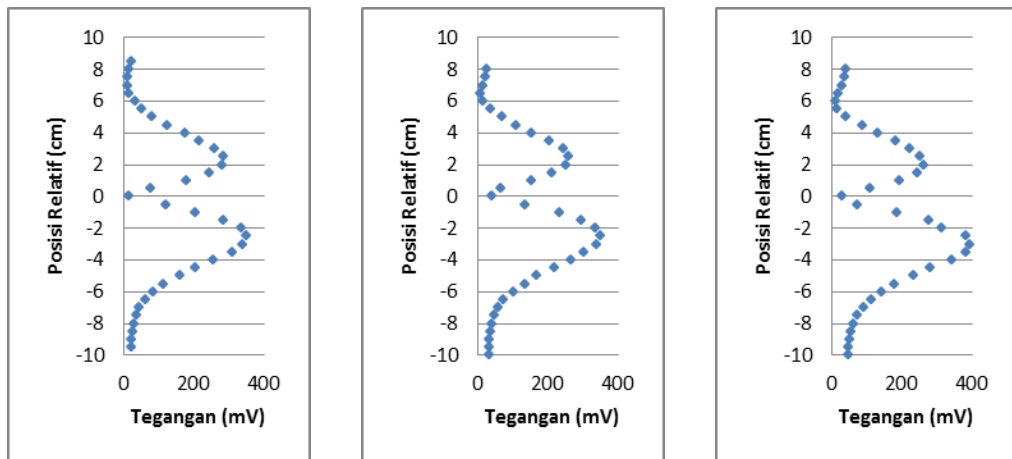
1. Kondisi 1 adalah pada saat pelampung dan LVDT dipisahkan oleh udara.
2. Kondisi 2 adalah pada saat pelampung dan LVDT dipisahkan oleh bejana yang berisi udara.
3. Kondisi 3 adalah pada saat pelampung dan LVDT dipisahkan oleh bejana yang berisi biodiesel dan air.

Pada percobaan diputuskan untuk tidak menghubungkan tangki separasi dengan bejana (Gambar 8 (b)). Pada setiap percobaan, volume cairan biodiesel dan air pada bejana memiliki perbandingan 1:1. Cairan diaduk menggunakan pengaduk manual selama 30 sekon, kemudian dimasukkan ke dalam bejana. Waktu pemisahan diberikan selama 5 menit. Massa jenis air dan biodiesel yaitu sebesar $0,99 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ dan $0,86 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

4.2 Pengujian pada Saat Pelampung Digerakkan Secara Manual

Pengujian ini dilakukan dengan menggerakkan pelampung setiap 0,5 cm kemudian tegangan keluarannya diukur dengan voltmeter. Posisi awal pengukuran adalah pada saat pelampung tepat akan memasuki LVDT (Gambar 8 (a)).

Nilai tegangan keluaran terhadap posisi pelampung sebelum mengalami penguatan diperlihatkan pada Gambar 2, 9 (b), dan 9 (c). Sumbu ordinat pada gambar menunjukkan posisi relatif pelampung terhadap LVDT sedangkan sumbu axis menunjukkan tegangan keluaran. Titik nol pada sumbu ordinat menunjukkan posisi null dari LVDT. Pada rentang ordinat 10-0 cm pelampung berada pada kumparan S1, sedangkan pada rentang ordinat -10-0 cm pelampung berada pada kumparan S2.



(a)

(b)

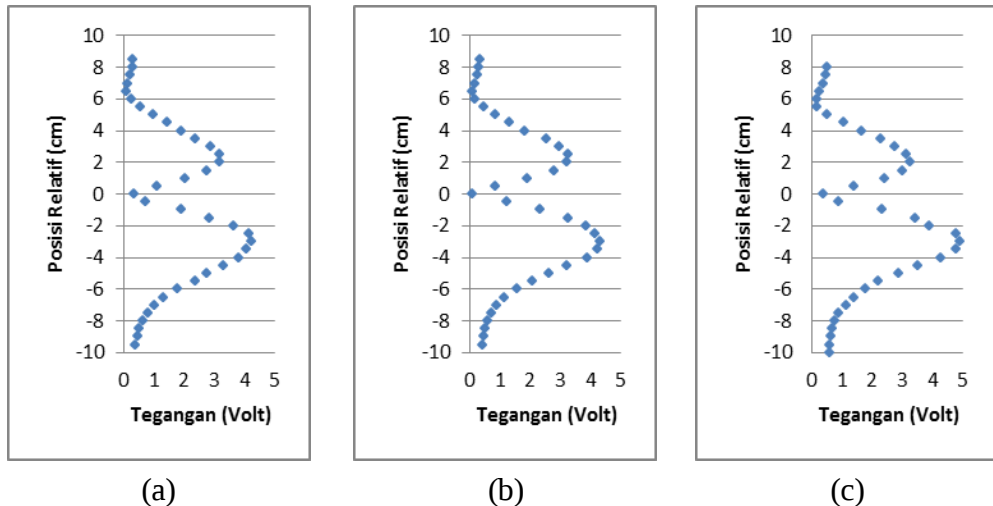
(c)

Gambar 910 Tegangan keluaran LVDT pada kondisi 1 (a), 2 (b), dan 3 (c)

Agar sensor mempunyai ketelitian yang baik, perlu dilakukan penguatan pada tegangan keluarannya. Dari proses ini, sensitivitas yang diinginkan adalah sebesar 1, 5Volt.cm⁻¹. Untuk mengetahui besar penguatan yang harus diberikan, maka rentang linear dari kurva nilai keluaran LVDT dicari kemiringannya (K). Berdasarkan Tabel 2, penguatan yang harus diberikan adalah sebesar 12, 2 kali. Berdasarkan persamaan (7), untuk memperoleh penguatan tersebut resistansi potensiometer R_6 pada *instrumentation amplifier* adalah 3, 571k Ω . Hasil pengukuran tegangan keluaran sensor setelah mengalami penguatan diperlihatkan pada Gambar 10.

Tabel 2 Penguatan LVDT berdasarkan kemiringan kurva keluaran

Kondisi	Kemiringan (mV.cm ⁻¹)		Koefisien Korelasi (R^2)		Sensitivitas (Volt.cm ⁻¹)	Penguatan	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan		Kiri	Kanan
1	138,88	159,64	0,98	0,98	1,50	10,80	9,40
2	113,82	150,12	0,98	0,97	1,50	13,18	10,00
3	118,88	153,02	0,95	0,97	1,50	12,62	9,80
Rataan	123,86	154,26	0,97	0,97	1,50	12,20	9,73



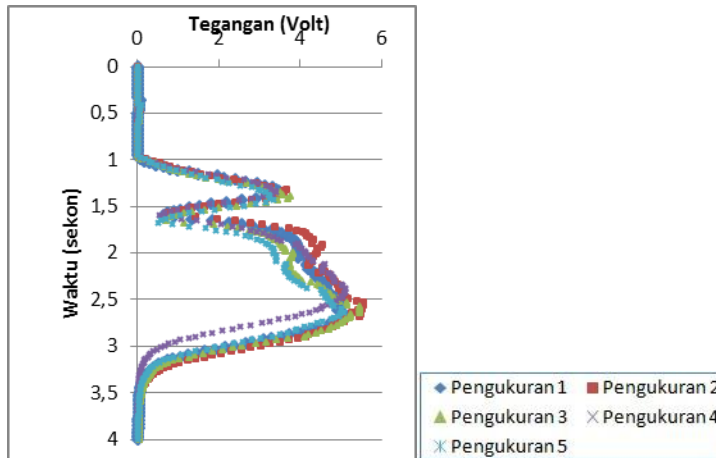
Gambar 10 Tegangan keluaran LVDT setelah diperkuat pada kondisi 1 (a), 2 (b), dan 3 (c)

Pada Tabel 2, kemiringan garis regresi rentang linear sebelah kiri (yaitu kumparan S1) lebih kecil dari kemiringan rentang linear sebelah kanan (yaitu kumparan S2). Perbedaan kemiringan diakibatkan oleh perbedaan kerapatan lilitan ($N.L^{-1}$) antara kumparan S1 dan S2. Dari hasil pengamatan terhadap kumparan S2, terlihat bahwa ada beberapa bagian kumparan yang lilitannya tersimpul.

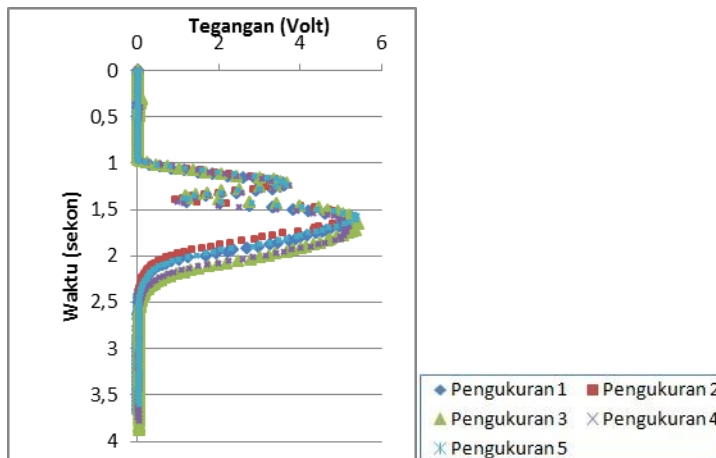
Berdasarkan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa posisi pelampung memiliki hubungan linear dengan nilai tegangan keluaran sensor dengan linearitas $q_o = |(1,23 \times 10^{-1})q_i|$ (Volt) untuk rentang linear sebelah kiri, serta $q_o = |(1,54 \times 10^{-1})q_i|$ (Volt) untuk rentang linear sebelah kanan. Koefisien korelasi R^2 antara q_o , yang merupakan keluaran LVDT, dan q_i , yang merupakan posisi relatif pelampung terhadap posisi *null* LVDT (cm), bernilai 0,97.

4.3 Pengujian Respon Sensor Terhadap Kecepatan Aliran

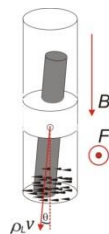
Pengujian respon sensor terhadap kecepatan aliran dilakukan untuk mengetahui batasan kecepatan aliran biodiesel dan air dimana sensor dapat bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan pada kondisi 3, dengan keran berkecepatan aliran $7,39 \times 10^{-2} \text{m.s}^{-1}$ dan valve berkecepatan aliran $1,29 \times 10^{-1} \text{m.s}^{-1}$. Tegangan keluaran diukur menggunakan kit akuisisi data dengan bantuan perangkat lunak LabView, 50 data diambil setiap sekonnnya. Pengujian pada masing-masing kecepatan aliran dilakukan sebanyak 5 kali.



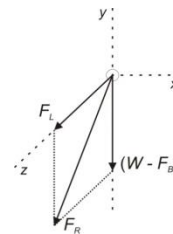
Gambar 11 Pengujian pada kecepatan aliran $7,39 \times 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$



Gambar 12 Pengujian pada kecepatan aliran $1,29 \times 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$



(a)



(b)

Gambar 13 (a) Ilustrasi pengaruh medan magnet terhadap pelampung dan (b) diagram gaya pada pelampung

Hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Pada pengukuran dengan kecepatan aliran $7,39 \times 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ ada penyimpangan kurva tegangan apabila dibandingkan

dengan pengukuran pada kecepatan aliran $1,29 \times 10^{-1} \text{m.s}^{-1}$. Penyimpangan ini disebabkan pelampung terpengaruh oleh medan magnet kumparan P karena posisi batang ferit di dalam pelampung tidak tegak (Gambar 13 (a)). Saat pelampung berada pada posisi *null*, medan magnet kumparan P yang mempengaruhi pelampung mencapai nilai maksimum, sehingga, muatan (positif dan negatif) yang ada pada batang ferit dalam pelampung akan bergerak ke arah kutub-kutubnya. Dengan asumsi bahwa fluida berada pada keadaan statis, maka didapatkan persamaan sebagai berikut [4].

$$f_L = \rho_L (\vec{v} \times \vec{B}) = \rho_L (|\vec{v}| |\vec{B}| \sin \theta) \quad (8)$$

Dengan f_L adalah gaya Lorents per unit volume (N.m^{-3}), ρ_L adalah densitas dari muatan terdistribusi di dalam batang ferit (C.m^{-3}), v adalah kecepatan gerak muatan di dalam batang ferit (m.s^{-1}), B adalah medan magnet yang dialami oleh muatan (Tesla), dan θ adalah sudut antara arah gerak muatan (v) dengan medan magnet (B).

Pada saat fluida dialirkan ke bawah dengan kecepatan tertentu, kesetimbangan gaya pada pelampung adalah sebagai berikut (Gambar 21).

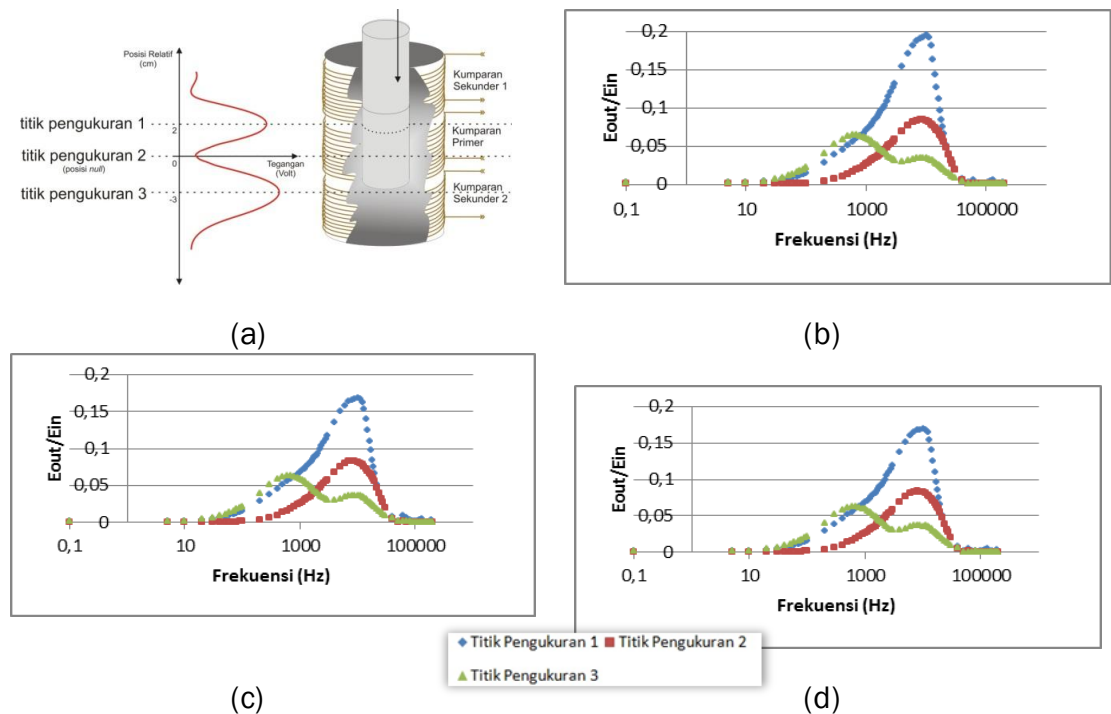
$$\sum F_y = W - F_B = \Delta y \cdot A \cdot g (\rho_2 - \rho_1) \quad (9)$$

$$\sum F_x = F_L \quad (10)$$

Dengan Δy adalah pergeseran ketinggian fluida. Saat melewati medan magnet kumparan P, pelampung akan mengalami gaya f_L , dengan nilai maksimum pada saat pelampung berada pada posisi *null*. Gaya tersebut akan mempengaruhi pelampung lebih lama pada saat fluida mengalir dengan kecepatan $7,39 \times 10^{-2} \text{m.s}^{-1}$, daripada saat fluida mengalir dengan kecepatan $1,29 \times 10^{-1} \text{m.s}^{-1}$, karena Δy per satuan waktu akan semakin besar pada saat kecepatan fluida bertambah, sehingga $(W - F_B)$ akan semakin besar. Semakin besar nilai $(W - F_B)$ akan semakin cepat pelampung melewati kumparan. Maka, dapat disimpulkan perangkat sensor bekerja lebih baik pada kecepatan aliran sebesar $1,29 \times 10^{-1} \text{m.s}^{-1}$.

4.4 Pengujian Respon Frekuensi Sensor

Pengujian dilakukan pada 3 kondisi dengan pelampung berada pada posisi sesuai dengan Gambar 22. Kumparan P dieksitasi dengan tegangan AC $6V_{\text{rms}}$ dengan frekuensi masukan diubah-ubah pada rentang 0, 1Hz-200kHz. Tegangan keluaran dari sensor kemudian diukur menggunakan voltmeter.



Gambar 14 (a) Posisi percobaan respon frekuensi sensor dan data pengujian respon frekuensi pada 1 (b), 2 (c), dan 3 (d)

Tabel 3 Hasil pengukuran frekuensi resonansi

Titik Pengukuran	Kondisi 1		Kondisi 2		Kondisi 3	
	ω_n (Hz)	E_{out}/E_{in}	ω_n (Hz)	E_{out}/E_{in}	ω_n (Hz)	E_{out}/E_{in}
1	10000	0,195	10000	0,168	10000	0,170
2	8000	0,084	8000	0,083	8000	0,084
3	600	0,064	600	0,063	600	0,063

Error! Reference source not found. 14 (b), (c), dan (d) menunjukkan respon frekuensi dari sensor pada 3 kondisi. Berdasarkan Tabel 3, pada titik pengukuran 1, frekuensi natural sebesar 10 kHz, sedangkan pada titik pengukuran 2 sebesar 8 kHz. Nilai frekuensi natural kedua titik pengukuran tidak berbeda jauh (orde 10^4 Hz) karena jarak antar titik pengukuran cukup kecil yaitu 2cm. Magnituda pada titik pengukuran 1 lebih besar daripada titik pengukuran 2 karena pada posisi null, magnituda akan memiliki nilai minimum. Pada titik pengukuran 3, terdapat 2 puncak dari magnituda dengan frekuensi natural yang berbeda. Frekuensi natural puncak pertama sebesar 600 Hz, sementara puncak kedua, besarnya konsisten dengan respon frekuensi pada titik pengukuran 2, yaitu sebesar 8 kHz. Hal ini disebabkan adanya 2 induktansi yang memiliki hubungan paralel pada kumparan S2 akibat pelilitan kawat yang kurang baik (tersimpul) pada kumparan S2.

Kumparan primer LVDT dapat diberikan tegangan eksitasi dengan frekuensi natural agar memiliki sensitivitas yang baik [6]. Namun, mengingat biodiesel mudah terbakar, maka diputuskan untuk tetap menggunakan tegangan eksitasi dengan frekuensi 50 Hz.

5 Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah dirancang dan dibuat sensor elektromagnetik yang dapat membedakan batas permukaan antara biodiesel dan air. Perangkat sensor terdiri dari kumparan LVDT, pelampung sebagai inti LVDT, dan pengkondisi sinyal. Sensor yang dibuat memiliki karakteristik sebagai berikut.

1. Kumparan LVDT terbuat dari lilitan kawat dengan diameter 0, 5×10^{-3} m yang diselubungi oleh isolator.
2. Pelampung yang pada bagian dalamnya terdapat bahan ferromagnetik berupa batang ferit, memiliki massa 2, 5×10^{-2} kg dan volume 2, 7×10^{-5} m³ sehingga dapat berada pada batas permukaan antara biodiesel dan air.
3. Rangkaian pengkondisi sinyal terdiri dari pembangkit tegangan AC dan *instrumentation amplifier*.
4. Berdasarkan pengujian karakteristik statis, LVDT dapat dianggap sebagai sistem linear, dengan penguatan $q_o/q_i = (1,23 \times 10^{-1})$ untuk rentang $0 < q_i \leq 2$, serta $q_o/q_i = (1,54 \times 10^{-1})$ untuk rentang $-2 \leq q_i < 0$. Koefisien korelasi R^2 antara q_o , yang merupakan keluaran LVDT (Volt), dan q_i , yang merupakan posisi relatif pelampung terhadap posisi *null* LVDT (cm), bernilai 0,97.
5. Untuk mendapatkan sensitivitas 1, 5×10^2 Volt.m⁻¹, telah dirancang *instrumentation amplifier* yang memberikan penguatan pada tegangan keluaran LVDT sebesar 12,2 kali, sehingga menghasilkan rentang tegangan 0,03 - 5,58 Volt.
6. Sensor yang dibuat merupakan sistem orde-2 tipe 1 dengan frekuensi natural ω_n pada rentang 8-10 kHz.
7. Sensor yang dibuat memiliki kinerja yang baik dalam pendeteksian batas permukaan antara biodiesel dan air saat cairan dialirkan dengan kecepatan 1, 29×10^{-1} m.s⁻¹.
8. Kumparan sekunder S1 lebih konsisten dalam memberikan nilai pengukuran dibandingkan dengan kumparan sekunder S2. Kumparan sekunder S2 tidak konsisten dalam memberikan nilai pengukuran akibat adanya perbedaan kerapatan lilitan pada kumparan tersebut dan adanya lilitan kawat yang tersimpul.
9. Perangkat sensor dapat digunakan sebagai masukan pada pengontrol PLC sebagai bagian dari *mini plant* otomatisasi pencucian biodiesel.

6 Daftar Pustaka

- [1] National Biodiesel Board. Biodiesel 101. *biodiesel.org*. [Online] 2010. Tersedia: <http://www.biodiesel.org>. [13 Juli 2010].
- [2] Reliance Energy Sources. Automated Biodiesel Processor for Biodiesel Continuous Production. *Biodiesel Kits Online*. [Online] 2007. Reliance Energy Sources. Tersedia: <http://www.biodiesel-kits-online.com>. [16 Juni 2010].
- [3] Serway, Raymond A. dan Jewett, John W. 2004. *Physics for Scientists and Engineers*. s.l.: Thomson Brooks/Cole. ISBN 0534408427.

- [4] Rao, Nannapaneni Narayana. 1974. *Basic Electromagnetics With Applications*. New Delhi : Prentice Hall.
- [5] Doebelin, Ernest O. 1975. *Measurement Systems: Application and Design*. Tokyo : McGraw-Hill. ISBN 0-07-017336-2.
- [6] Pallas-Areny, Ramon dan Webster, John G. 1991. *Sensors and Signals Conditioning*. Toronto : John Wiley & Sons. ISBN 0-471-54565-1.
- [7] Malvino, Albert Paul. 1993. *Electronic Principles*. Singapore : McGraw-Hill. ISBN 0-02-800845-6.