

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *DENSITOMETER* DIGITAL DENGAN MENGGUNAKAN STRAIN GAUGE DAN LDR

DESIGN AND CREATING DIGITAL DENSITOMETER USING STRAIN GAUGE AND LDR

Jaya Wikrama¹, Suwandi², Reza Fauzi Iskandar³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹jayawikrama89@gmail.com, ²suwandi@telkomuniversity.ac.id, ³rezafauzii@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pembuatan *densitometer* digital terdiri dari proses integrasi LED dan LDR (LDR dikonfigurasi dengan resistor referensi dalam bentuk rangkaian pembagi tegangan) sebagai sensor level dan proses integrasi *strain gauge* dengan penguat differential sebagai sensor massa. Melalui proses karakterisasi LDR dan *strain gauge*, diperoleh dimensi wadah ukur dengan panjang 10cm, lebar 10cm, dan tinggi 13cm. LDR sebagai sensor *level* mempunyai rata-rata *standard error* sebesar 0,0234. Sedangkan *strain gauge* sebagai sensor massa mempunyai *standard error* sebesar 7,77 dengan nilai korelasi linieritas sebesar 99,85%. Berdasarkan karakterisasi yang telah dilakukan, resistansi LDR ketika jarak optimum tercapai yaitu 23,53 kOhm dan resistansi LDR ketika jarak minimumnya tercapai yaitu 3,05 kOhm. Dengan mempertimbangkan nilai tersebut maka diperoleh nilai resistor referensi sebesar 10 kOhm. Kemudian agar *strain gauge* dapat digunakan dalam pengukuran massa, *strain gauge* yang digunakan adalah *strain gauge* yang telah dikonfigurasi dalam bentuk load cell dengan sinyal keluaran yang dikondisikan menggunakan elemen penguat sinyal dengan konstanta penguatan sebesar 5000 kali. Pengujian dilakukan pada ruangan dengan dengan 24 °C, tekanan 1 bar, dan ngan intensitas cahaya berkisar antara 120 hingga 160 Lux. Dalam proses pengujian dengan sampel berupa air, alkohol, dan tembaga diperoleh nilai rata-rata *error* pengukuran massa jenis zat cair sebesar 6,03%. Sedangkan nilai rata-rata *error* pada pengukuran massa jenis zat padat sebesar 8,87%.

Kata Kunci : densitometer digital, *strain gauge*, LDR, pengukuran.

Abstract

Creating of a digital densitometer consists of an LED and LDR integration process (LDR is configured with a reference resistor in the form of a voltage divider circuit) as a level sensor and strain gauge integration process with a differential amplifier as a mass sensor. Through the LDR and strain gauge characterization process, the dimensions of the measuring vessel are 10cm x 10cm x 13cm (l x w x h). LDR as a level sensor has a standard error of 0.0234. While the strain gauge as a mass sensor has a standard error of 7.77 with a linear correlation value of 99.85%. Based on the characterization that has been done, the LDR resistance when the optimum distance is reached is 23.53 kOhm and LDR resistance when the minimum distance is reached is 3.05 kOhm. Based on this value, the reference resistor value is 10 kOhm. Then in order for the strain gauge can be used in mass measurement, the strain gauge configured into a load cell form with an output signal conditioned by a signal amplifier element with a gain constant of 5000 times. Tests carried out in a room at temperature of 24 °C, pressure of 1 bar, and with light intensity ranging from 120 to 160 Lux. Through the testing process with water, alcohol, and copper as the sample, the average error value of the measurement of liquid density was 6.03%. While the average error value for solid density measurement is 8.87%.

Keywords: digital densitometer, *strain gauge*, LDR, measurement.

1. Pendahuluan

Sifat fisis material merupakan sifat suatu material yang dapat diamati tanpa perlu dilakukannya perubahan terhadap zat-zat penyusun material tersebut.^[1] Salah satu jenis sifat fisis material adalah massa jenis. Terdapat beragam cara yang dapat dilakukan untuk memperoleh nilai massa jenis dari suatu material. Salah satu cara yang paling sederhana adalah dengan melakukan pengukuran manual terhadap massa dan volume material tersebut (pengukuran volume umumnya menggunakan bantuan zat cair). Setelah itu nilai massa yang telah diperoleh dibagi dengan nilai volume yang terukur. Selain dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya, pengukuran massa jenis juga dapat dilakukan dengan cara melakukan pengukuran salah satu besaran dengan menggunakan sensor tertentu seperti yang telah dilakukan oleh mahasiswa jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Pengaruh Massa Jenis terhadap Kualitas Minyak Goreng Kelapa Sawit Menggunakan Alat Ukur Massa Jenis dan Akuisisinya pada Komputer”.^[2] Dalam penelitian yang

dilaksanakan, massa zat diukur dengan menggunakan sensor optik (LDR) yang akan mendeteksi perubahan panjang pegas akibat beban yang diberikan. Sedangkan, pengukuran volum dilakukan dengan menggunakan gelas ukur. Akibat pengukuran volum yang masih dilakukan secara manual, maka alat ukur massa jenis tersebut tidak bersifat fleksibel, yang artinya perlu dilakukan perubahan pada program/*software* yang digunakan ketika volum yang diukur berubah/berbeda dengan volum yang diukur pada pengukuran sebelumnya.

Metode pengukuran massa jenis seperti yang telah dijelaskan diatas tidaklah efektif untuk dilakukan karena membutuhkan waktu yang cukup lama dan mempunyai nilai *error* yang cukup besar akibat proses pengukuran yang dilakukan maupun akibat alat ukur yang digunakan. Cara lain yang lebih efektif adalah dengan menggunakan alat ukur massa jenis yaitu *densitometer digital*. Terdapat beragam jenis dan spesifikasi dari *densitometer* digital di pasaran. Namun yang menjadi kendala adalah harganya yang masih terlampau tinggi untuk dijangkau oleh masyarakat umum. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan perancangan dan pembuatan *densitometer digital* dengan memanfaatkan LDR dan *strain gauge* dengan spesifikasi pengukuran tertentu.

2. Dasar Teori

2.1 Konsep Massa Jenis

Massa jenis atau densitas merupakan suatu besaran turunan yang menyatakan besarnya massa yang dimiliki oleh suatu benda/zat per satuan volumenya.^[3] Secara matematis masa jenis dapat ditulis dalam bentuk persamaan berikut.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

dimana ρ merupakan massa jenis, m merupakan massa, dan V merupakan volum zat.

2.2 Hukum Archimedes

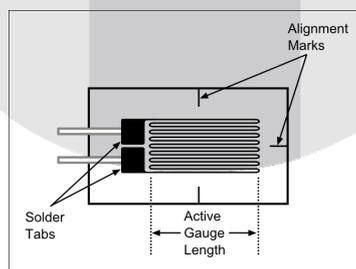
Hukum Archimedes menjelaskan tentang adanya gaya angkat (gaya apung atau *buoyancy*) yang akan diterima oleh suatu benda ketika benda tersebut dicelupkan ke dalam zat cair. Secara lengkap, Hukum Archimedes berbunyi : “Jika sebuah benda dicelupkan ke dalam zat cair, maka benda tersebut akan mendapat gaya yang disebut gaya apung (gaya ke atas) sebesar berat zat cair yang dipindahkannya”.^[4] Akibat adanya gaya angkat yang diterima benda ketika benda tersebut tercelup ke dalam zat cair, maka benda tersebut akan terasa lebih ringan. Secara matematis, besarnya gaya angkat yang diakibatkan oleh zat cair dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini.

$$F_b = \rho_f \cdot g \cdot V_{tds} \quad (2)$$

dimana F_b merupakan gaya apung, ρ_f merupakan massa jenis fluida, dan V_{tds} merupakan volume fluida yang terdesak.

2.3 Strain Gauge

Strain gauge terbuat dari *foil grid*, yaitu berupa kawat tipis yang panjang yang disusun secara zig-zag.^[5] Berikut bentuk fisik *strain gauge*.



Gambar 1. Konstruksi strain gauge^[5]

Ketika *strain gauge* diberikan beban maka akan terjadi renggangan yang menyebabkan perubahan resistansi dari *strain gauge* tersebut.^[5] Berdasarkan pada karakteristik inilah *strain gauge* banyak dimanfaatkan sebagai sensor massa. Besarnya perubahan resistansi *strain gauge* akibat perubahan panjang yang terjadi dapat dituliskan dalam bentuk persamaan beriku.

$$dR = \epsilon (1 + 2\nu) R \quad (3)$$

dengan dR merupakan perubahan resistansi, ϵ merupakan besarnya *strain*, ν sebagai konstanta poisson, dan R merupakan resistansi awal *strain gauge*.

2.4 LDR (*Light Dependent Resistor*)

Light Dependent Resistor atau yang disingkat dengan LDR merupakan jenis resistor yang nilainya resistansinya berubah bergantung pada intensitas cahaya yang diterima. Nilai resistansi LDR akan menurun ketika intensitas cahaya yang diterima meningkat, begitu pula sebaliknya. Pada umumnya nilai resistansi LDR sebesar 200 kOhm pada kondisi gelap dan 500 Ohm pada kondisi terang^[6]. Dengan karakteristiknya ini, maka LDR juga dapat dimanfaatkan untuk mengukur posisi suatu objek (yang dapat memantulkan cahaya) dengan cara mengkombinasikannya dengan LED sebagai sumber cahayanya. Cahaya yang ditransmisikan LED akan dipantulkan oleh objek. Setelah itu cahaya tersebut diterima oleh LDR yang akan menyebabkan berubahnya besar nilai resistansi dari LDR tersebut. Perubahan nilai resistansi ini kemudian dijadikan indikator dari besarnya perubahan posisi objek.

Pada Hukum Lambert dikatakan bahwa bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi. Kemudian pada Hukum Beer dijelaskan lagi bahwa Intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut.^[7] Hukum Lambert-Beer dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

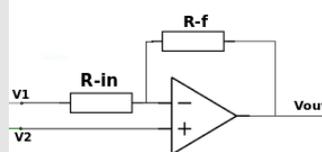
$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \quad (4)$$

dengan A menyatakan besarnya absorpsi dengan $A = \log(1/T)$, ϵ merupakan koefisien ekstingsi molar ($M^{-1} \text{ cm}^{-1}$), b merupakan tebal medium (cm), dan C merupakan konsentrasi medium (M). Dari persamaan diatas, besar konstanta transmisi gelombang dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$T = 10^{-\epsilon \cdot b \cdot C} \quad (5)$$

2.5 Penguat *Differential* berbasis *Operational Amplifier* (Op-Amp)

Penguat *differential* adalah salah satu jenis penguat yang berfungsi untuk memperkuat sinyal yang berupa selisih dari dua buah sinyal masukan. Op-Amp merupakan salah satu komponen yang bekerja berdasarkan prinsip ini.^[8] Sehingga pembuatan suatu penguat *differential* dengan menggunakan Op-Amp sebagai komponen utamanya sangatlah mudah. Berikut adalah bentuk umum dari rangkaian penguat *differential* berbasis Op-Amp.



Gambar 2. Rangkaian penguat *differential*

Sinyal keluaran yang berupa V_{out} sebagai fungsi dari V_1 dan V_2 dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut.

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_{input}} (V_2 - V_1) \quad (2.8)$$

2.5 Karakteristik Statik Sistem Pengukuran

Karakteristik statik merupakan karakteristik suatu sistem pengukuran yang diukur pada keadaan tunak dimana input yang diberikan pada sistem tersebut bersifat konstan. Berikut beberapa karakteristik statik yang perlu diperhatikan dalam perancangan suatu sistem pengukuran.

1. Akurasi

Merupakan tingkat kedekatan hasil pengukuran dengan nilai objek pengukuran yang sebenarnya. Secara matematis, nilai akurasi suatu sistem pengukuran dapat ditulis dalam persamaan berikut.

$$Akurasi = \left(1 - \frac{Bias + 3\sigma}{X_{benar}} \right) 100\% \quad (6)$$

2. Presisi

Merupakan derajat kebebasan sistem pengukuran dari suatu kesalahan acak. Secara matematis, kepresisian suatu pengukuran dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$Presisi = \left(1 - \frac{3\sigma}{X_{mean}} \right) 100\% \quad (7)$$

3. *Threshold*

Merupakan nilai input terkecil yang harus diberikan agar suatu alat ukur dapat bekerja. Nilai ini penting untuk diketahui untuk dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan ataupun penggunaan alat ukur.

4. Resolusi

Merupakan besar nilai perubahan *input* terkecil yang masih dapat terbaca oleh suatu alat ukur. Besar kecilnya resolusi bergantung pada jenis sensor dan akuisisi data yang digunakan.

5. Histeresis

Merupakan *error* yang menyatakan perbedaan nilai *output* pada saat nilai input pengukuran meningkat dan menurun.

6. *Standard Error*

Standard error adalah indeks yang merepresentasikan rata-rata sampel terhadap rata-rata keseluruhan kemungkinan sampel atau populasi data.

7. *Error*

Nilai *error* sistem pengukuran massa jenis dalam penelitian ini juga dapat dituliskan dalam bentuk *error root sum square* (ϵ_{rss}) seperti pada persamaan berikut.

$$\epsilon_{rss} = \sqrt{\left(\Delta m \frac{\partial \rho}{\partial m}\right)^2 + \left(\Delta L \frac{\partial \rho}{\partial L}\right)^2} \quad (8)$$

3. **Metodologi Penelitian**

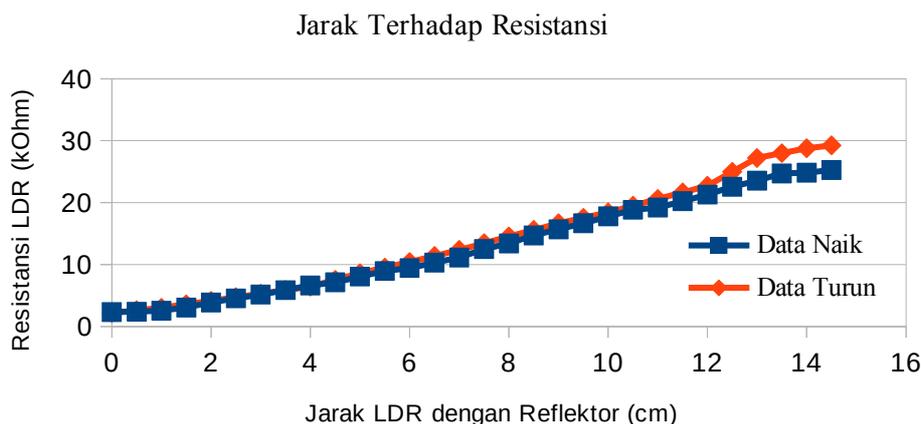
Perancangan *densitometer* digital dilakukan dengan menggunakan sensor *strain gauge* dan LDR, sehingga terlebih dahulu perlu dilakukan proses perancangan sensor level dengan menggunakan LDR dan proses perakitan *strain gauge* sehingga dapat digunakan dengan baik untuk mengukur massa. Setelah itu, dilakukan perakitan *densitometer* digital lengkap dengan software yang telah diprogram pada mikrokontroler. Dan tahap terakhir adalah proses karakterisasi, pengujian alat, dan kalibrasi alat. Pengujian dilakukan pada suhu 24°C dengan tekanan udara sebesar 1 bar dan intensitas cahaya berkisar antara 120 hingga 160 Lux. Adapun detail tahapan penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut.

4. **Hasil dan Analisis**

4.1 **Karakterisasi LDR sebagai Sensor Level**

Berikut hasil karakterisasi LDR sebagai sensor *level* pada alat ini.

Karakterisasi LDR Sebagai Sensor Level



Gambar 3. Grafik karakterisasi LDR sebagai sensor level

Tabel 1. Karakterisasi LDR sebagai Sensor Level

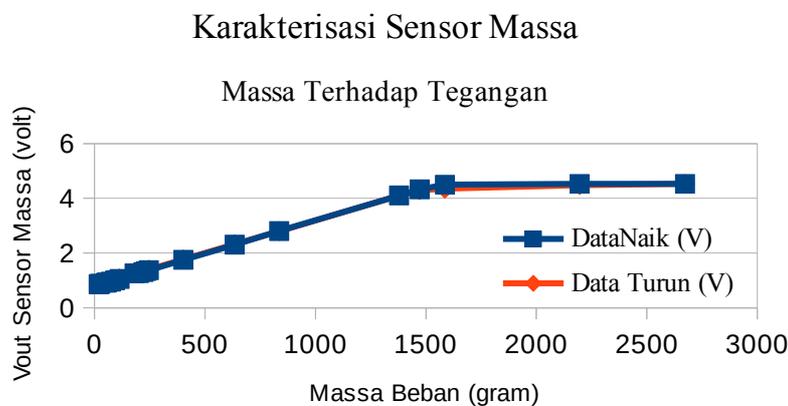
No	Range Jarak LDR dengan Reflektor (cm)	Standard Error Linieritas	R ²
1	0,0-14,5	0,7844	0,9899
2	0,0-14,0	0,7987	0,9889

3	0,0-13,5	0,8106	0,9877
4	0,0-13,0	0,7878	0,9872
5	0,5-13,0	0,6655	0,9906
6	1,0-13,0	0,5805	0,9925
7	1,5-13,0	0,5356	0,9933
8	1,5-12,5	0,5275	0,9928

Berdasarkan grafik pada gambar 3 dan tabel 1, rentang pengukuran optimal yang dapat dilakukan yaitu dari 1,5 cm hingga 13 cm (dengan memerhatikan sisi linier pengukuran). Sehingga dimensi tinggi alat yang akan dibuat yaitu 13 cm.

4.2 Karakterisasi Strain Gauge sebagai Sensor Massa

Berikut hasil karakterisasi *strain gauge* (dalam bentuk *load cell* yang telah dikonfigurasi dengan rangkaian penguat differential) sebagai sensor massa pada alat ini.



Gambar 4. Grafik karakterisasi sensor massa terhadap tegangan

Tabel 2. Karakterisasi Sensor Massa terhadap Tegangan

No	Range Massa Beban (gram)	Standard Error Linieritas	R ²
1	18-2196	0,2238	0,9624
2	18-1586	0,0202	0,9996
3	18-1472	0,0129	0,9998
4	18-1379	0,0133	0,9997

Berdasarkan grafik pada gambar 4 dan tabel 2, rentang pengukuran optimal yang dapat diambil yaitu dari 0 gram hingga 1500 gram. Dengan mengasumsikan bahwa zat yang akan diukur dalam skala penuh adalah air ($\rho = 9,9770 \text{ gram/cm}^3$), maka diperoleh luas alas alat sebesar $115,72 \text{ cm}^2$.

4.3 Pembuatan Sensor Level

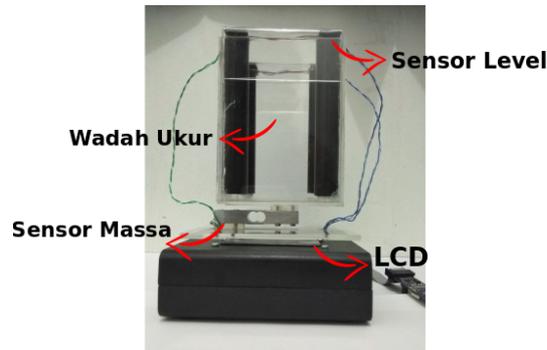
Agar LDR dapat digunakan sebagai sensor level maka nilai perubahan resistansi yang terjadi harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam bentuk perubahan tegangan. Langkah yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan prinsip pembagi tegangan di mana LDR disusun seri dengan sebuah resistor sebagai R referensi dan sumber tegangan 5 V sebagai tegangan referensi. Berdasarkan karakterisasi yang telah dilakukan sebelumnya, resistansi LDR ketika jarak optimum tercapai yaitu 23,53 kOhm dan resistansi LDR ketika jarak minimumnya tercapai yaitu 3,05 kOhm. Dengan mempertimbangkan nilai tersebut maka nilai R referensi yang akan digunakan adalah 10 kOhm (dengan mempertimbangkan ketersediaannya di pasaran).

4.4 Pembuatan Sensor Massa

Sensor massa yang digunakan pada alat ini adalah *strain gauge* yang telah konfigurasi ke dalam bentuk *load cell*. Adapun *load cell* akan yang digunakan pada alat ini mempunyai batas beban maksimum sebesar 5 kg. Untuk mempermudah karakterisasi maka ditambahkan elemen penguat sinyal pada sensor ini. Konstanta penguatan yang digunakan sebesar 5000 kali.

4.5 Perakitan dan Hasil Karakterisasi Alat

Setelah sensor level dan sensor massa berhasil dibuat, maka tahap selanjutnya adalah proses perakitan, integrasi alat, pembuatan program dan karakterisasi alat. Berikut hasil perakitan dan integrasi alat yang telah berhasil dilakukan.



Gambar 5. Densitometer digital berbasis LDR dan strain gauge

Berdasarkan hasil karakterisasi sensor level pada alat ini maka diperoleh nilai konversi dari ADC ke dalam bentuk ketinggian fluida cair dalam wadah ukur sebagai berikut.

$$h_1 = 11 - \left(\frac{ADC_1}{359,7385} \right)^{2,2184} \quad (9)$$

$$h_2 = 11 - \left(\frac{ADC_2}{426,3869} \right)^{2,9265} \quad (10)$$

Pada sensor-3 dan sensor-4 dilakukan segmentasi pada data karakterisasi yang telah dilakukan. Hal ini bertujuan untuk memperkecil *standard error* pada regresi eksponensial yang dilakukan. *Standard error* adalah indeks yang merepresentasikan rata-rata sampel terhadap rata-rata keseluruhan kemungkinan sampel atau populasi data.

$$h_3 = 11 - \left(\frac{ADC_3}{780,0971} \right)^{1,7650} ; ADC_3 < 845 \quad (11)$$

$$h_3 = 11 - \left(\frac{ADC_3}{658,2644} \right)^{5,4806} ; ADC_3 \geq 845 \quad (12)$$

$$h_4 = 11 - \left(\frac{ADC_4}{319,9629} \right)^{1,9711} ; ADC_4 < 680 \quad (13)$$

$$h_4 = 11 - \left(\frac{ADC_4}{423,5617} \right)^{2,9965} ; ADC_4 \geq 680 \quad (14)$$

Berdasarkan hasil karakterisasi sensor massa, diperoleh nilai konversi dari dari ADC ke besaran massa yaitu :

$$m = 5,9555 \cdot ADC - 1049,2825 \quad (15)$$

4.6 Hasil Pengujian Alat

Objek yang diuji massa jenisnya dengan menggunakan alat ini adalah air, alkohol, dan tembaga. Berikut hasil pengujian alat ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Alat

No	Jenis Zat	ρ (gr/cm ³)	ρ' (gr/cm ³)	n	e	SE
1	Air	0,9770	0,9844	13	6,55%	0,0069
2	Alkohol	0,8000	0,8440	10	5,51%	0,0025
3	Tembaga	8,9300	8,1840	6	8,87%	0,1175

Keterangan :

ρ = massa jenis yang sebenarnya
n = jumlah sampel

ρ' = massa jenis hasil pengukuran
e = kesalahan pengukuran

SE = standar *error*

4.7 Analisis Karakteristik Statik Hasil Pengukuran

Berdasarkan data yang diperoleh melalui hasil pengujian alat, maka dapat ditentukan karakteristik statik dari sistem pengukuran yang telah dibuat. Berikut karakteristik statiknya.

1. Akurasi
Berdasarkan sampel pengukuran pada tabel 2 dengan bias sebesar $-0,0074 \text{ gr/cm}^3$ dan standar deviasi sebesar 0,0898, besar nilai akurasi yang dimiliki alat adalah 73,18%.
2. Presisi
Berdasarkan sampel pengukuran pada tabel 2 dengan standar deviasi sebesar 0,0898, tingkat presisi yang dimiliki alat adalah 72,63%.
3. Threshold
Berdasarkan proses pengukuran, treshold yang dimiliki oleh alat ini ditentukan oleh treshold pengukuran level fluida dalam wadah ukur. Besar tresholdnya yaitu 1 cm. Treshold sebesar 1 cm ini diakibatkan oleh keterbatasan reflektor (pelampung) yang digunakan. Dimana reflektor tersebut dapat mengampung dengan sempurna ketika ketinggian air telah mencapai lebih dari 1 cm.
4. Resolusi
Nilai resolusi ini diperoleh melalui proses karakterisasi sensor. Nilai ini ditentukan juga oleh elemen akuisisi data yang digunakan. Dimana elemen akuisisi data yang digunakan mempunyai ADC 10 bit. Sehingga untuk sensor massa, besar resolusinya adalah 6 gram (1 bit mewakili 6 gram). Sedangkan untuk sensor level, besar resolusinya adalah 0,15 mm (1 bit mewakili 0,15 mm).
5. Histeresis
Alat ini tidak dapat digunakan untuk pengukuran data turun. Ketika dilakukan pengukuran data turun, fluida akan membasahi dinding tabung sensor level yang mengakibatkan pembiasan dan pemantulan cahaya. Hal ini dapat menyebabkan pembacaan LDR terganggu. Sehingga histeresis untuk alat ini sangatlah besar.
6. *Error*
Nilai *error* yang akan digunakan dalam analisis ini adalah *Root Mean Square Error* (RMSE). Besar RMSE yang dimiliki oleh alat ukur ini adalah sebagai berikut.

$$\varepsilon_{\text{rss}} = \frac{1}{h} \sqrt{0,00108 - \left(0,00082 \frac{m}{h}\right)^2} \quad (16)$$

5. Kesimpulan

LDR sebagai sensor *level* mempunyai *standard error* yang sangat kecil dengan rata-rata *standard error* sebesar 0,0234. Hal ini berarti ukuran sebaran data pengukurannya juga cukup kecil. Sedangkan *strain gauge* sebagai sensor massa mempunyai *standard error* sebesar 7,77. Walaupun nilai *standard error*-nya tidak sebaik LDR, *strain gauge* mempunyai nilai korelasi linieritas yang sangat tinggi, yaitu sebesar 99,85%. Hal ini berarti *strain gauge* yang dikonfigurasi dengan rangkaian penguat *differential* mempunyai kualitas yang sangat baik untuk digunakan sebagai sensor massa.

Melalui proses pengujian, diperoleh nilai rata-rata *error* pengukuran massa jenis zat cair yang terjadi pada alat yang telah dibuat, yaitu sebesar 6,03%. Sedangkan nilai rata-rata *error* pada pengukuran massa jenis zat padat sebesar 8,87%. Hal ini berarti bahwa semakin kecil massa jenis zat yang diukur, maka semakin akurat nilai pengukuran yang diperoleh. Hal ini berkaitan dengan perubahan volume yang diberikan pada fluida yang terdapat di dalam wadah ukur dimana semakin besar perubahan volume yang diberikan maka akan semakin akurat nilai pengukuran yang diperoleh. Sehingga untuk meningkatkan akurasi pengukuran massa jenis zat yang lebih tinggi seperti perak, emas, dan titanium dapat dilakukan dengan cara memperkecil luas alas wadah ukur. Sedangkan untuk meningkatkan akurasi pengukuran massa jenis zat yang lebih rendah seperti air dan alkohol dapat dilakukan dengan cara memperbesar luas alas wadah ukur yang digunakan.

Daftar Pustaka :

- [1] Ophardt. Charles E, "What are Physical Properties and Changes?", *Virtual Chembook*, 2003. [Online]. Tersedia : <http://chemistry.elmhurst.edu/vchembook/104Aphysprop.html> [diakses : 1 September 2017].
- [2] Warsito, Pauzi. G.A, & Jannah. M, "Analisis pengaruh massa jenis terhadap kualitas minyak goreng kelapa sawit menggunakan alat ukur massa jenis dan akuisisinya pada komputer", *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, vol. 1, no. 1, Mei 2013.
- [3] Al-Shemmeri. T, *Engineering fluid mechanics*, Denmark : Ventus Publishing ApS, 2012.
- [4] Susanto. Ready, *Ensiklopedi Tokoh Sains*, Jakarta : PT. Kiblat Buku Utama, 2007.
- [5] Dunmon. Bill, "Strain gauges", *Continuum Mechanics*, 2014. [Online]. Tersedia : <http://www.continuummechanics.org/straingauges.html> [diakses : 1 September 2017].
- [6] Kho. Dickson, "Pengertian LDR (Light Dependent Resistor) dan cara mengukurnya, *Teknik Elektronika*,

2016. [Online]. Tersedia : <http://teknikelektronika.com/pengertian-ldr-light-dependent-resistor-cara-mengukur-ldr/> [diakses : 1 September 2017].
- [7] Clark. Jim, "The Beer-Lambert Law", *Chemguide*, 2017. [Online]. Tersedia : <https://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/beerlambert.html> [diakses : 18 Oktober 2017].
- [8] Kitchin. Charles and Counts. Lew, *A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers*, Edisi ke-3. U.S.A : Analog Devices, 2006es : 1 Juli 2018].

