

Prototipe Densitometer Berdasarkan Perbedaan Gaya Buoyancy Berbasis Sensor Piezoresistif dan Sensor Infra-Red Thermometer

¹Raden Mochammad Ridwan, ²Guntur Putra Pamungkas

^{1,2}D3 Metrologi dan Instrumentasi Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

¹raden.ridwan@live.com

²gunturppamungkas@gmail.com

Abstrak

Massa jenis adalah karakter fisik suatu zat yang mengukur seberapa kuat ikatan antar partikel dalam setiap zat. Penelitian ini sebagai bentuk pengembangan dari penelitian sebelumnya yang membuat prototipe densitometer berdasarkan perbedaan gaya buoyancy berbasis sensor piezoresistif dan menitikberatkan pada pengintegrasian sensor suhu ke dalam prototipe sebagai faktor koreksi dari pembacaan nilai massa jenis. Hasil dari pengujian prototipe dengan menggunakan air keran menunjukkan nilai massa jenis sebesar 1188.09 kg/m³ dengan suhu sebesar 25.34°C dan 1103.81 kg/m³ dengan suhu sebesar 53.47°C, larutan air dan garam yang divariasikan konsentrasinya berkisar antara 1202.68 kg/m³ sampai 1272.12 kg/m³ dengan suhu ruang antara 23.30°C sampai 25.08°C, serta larutan air dan garam yang divariasikan konsentrasi dan suhunya berkisar antara 1132.64 kg/m³ sampai 1224.30 kg/m³ dengan rentang suhu antara 35.29°C sampai 43.22°C.

Kata kunci: massa jenis; suhu; buoyancy; piezoresistif

1 Pendahuluan

Salah satu konsep terpenting dalam ilmu pengetahuan adalah massa jenis. Massa jenis adalah salah satu karakteristik fisik dari suatu zat, baik zat padat, cair, maupun gas, yang merupakan hubungan antara massa dan volume. Massa, ukuran, dan bagaimana partikel dari zat tersebut tersusun atau berikatan satu sama lain menentukan massa jenis dari suatu zat dan sejatinya massa jenis mengukur seberapa kuat ikatan antar partikel dalam setiap zat.

Penelitian ini sebagai bentuk pengembangan dari penelitian sebelumnya yang membuat prototipe densitometer berdasarkan perbedaan gaya buoyancy berbasis sensor piezoresistif. Penelitian ini menitikberatkan pada pengintegrasian sensor piezoresistif dan sensor infra-red thermometer menjadi satu kesatuan. Prototipe tersebut merupakan alat ukur massa jenis dengan menggunakan prinsip perbedaan gaya buoyancy dengan penunjukan digital. Prototipe tersebut bekerja dengan prinsip sebuah bandul dicelupkan pada cairan uji sehingga menimbulkan gaya reaksi dari cairan berupa gaya buoyancy. Selisih antara berat bandul dengan gaya buoyancy cairan dibaca oleh sensor piezoresistif dan diubah menjadi hambatan listrik yang kemudian dikonversikan menjadi sinyal tegangan oleh pengondisi sinyal. Selanjutnya sinyal tegangan ini dikonversi oleh mikrokontroler menjadi besaran massa jenis yang terukur dan ditampilkan pada LCD.

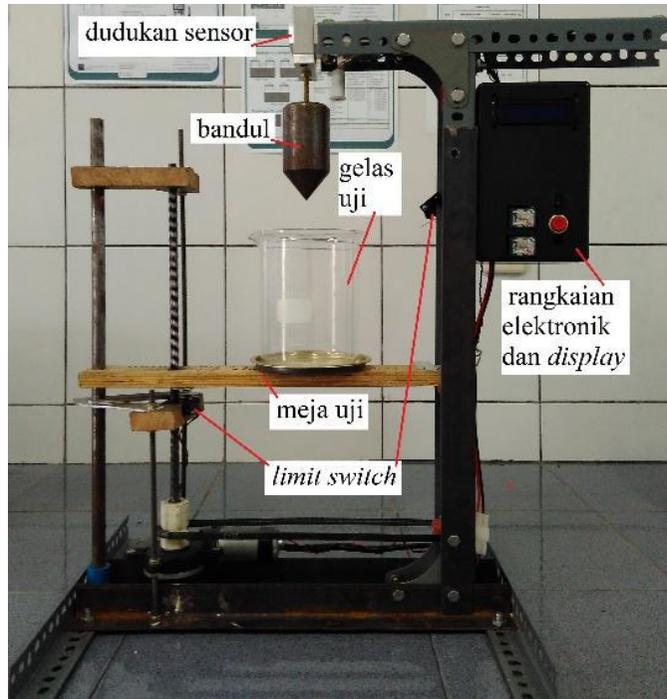
Prototipe sebelumnya memiliki kekurangan, antara lain belum adanya sensor suhu untuk mengukur suhu cairan uji ketika pengukuran sedang dilakukan sehingga nilai koreksi suhu masih diabaikan. Selain itu, sensor piezoresistif memiliki sensitifitas yang tinggi sehingga rentan terhadap pergeseran penekan sensor akibat dari tali bandul yang berisolasi. Tali

bandul yang berisolasi dapat merubah vektor gaya yang diterima sensor dan membuat tumpuan yang menindih sensor sedikit bergeser (Choirul rizal dan Lalu airf risman hakim, 2014) sehingga perlu mengganti mekanisme penekan sensor yang lebih baik. Penelitian ini dimaksudkan untuk meminimalkan kekurangan tersebut dengan membuat prototipe alat ukur massa jenis fluida cair yang menggunakan prinsip perbedaan gaya buoyancy dengan penunjukan digital dan mengganti mekanisme penekan sensor piezoresistif serta melakukan penambahan sensor infra-red thermometer yang merupakan pengembangan dari projek akhir sebelumnya.

Materi uji yang digunakan pada pengujian adalah zat cair. Zat cair yang merupakan fluida adalah sebuah zat dengan tingkat kekakuan yang cukup rendah jika dibandingkan dengan zat padat sehingga partikel-partikel di dalamnya dapat bergerak lebih leluasa dan memiliki tingkat kompresibilitas yang lebih rendah jika dibandingkan zat gas. Pada fluida cair dengan karakter immiscible, yaitu fluida yang tidak homogen ketika dicampur, fluida dengan nilai densitas lebih rendah akan mengapung dan fluida dengan nilai densitas lebih tinggi akan tenggelam [2]. Berangkat dari prinsip tersebut, pengukuran massa jenis memiliki peran yang cukup banyak, seperti dalam pengukuran kekentalan suatu cairan dan pengukuran kadar suatu zat pada cairan.

2 Metode Penelitian

Prototipe terdiri dari dua perangkat, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras prototipe terdiri dari sensor piezoresistif sebagai pembaca nilai massa jenis cairan uji, sensor infra-red thermometer sebagai pembaca suhu cairan uji, rangkaian pembagi tegangan, rangkaian catu daya, mikrokontroler Arduino UNO, LCD 2×16, motor DC, dan relay. Sedangkan perangkat lunak terdiri dari Arduino sebagai bahasa pemrograman mikrokontroler dan program pengolah data serta komunikasi data. Bentuk secara keseluruhan dari prototipe ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Prototipe densitometer

Gelas yang berisi cairan uji diletakkan pada sebuah dudukan yang dapat bergerak naik maupun turun dengan motor dc sebagai penggerakannya. Sebuah bandul berbentuk peluru dengan massa sebesar 1.5 kg digunakan sebagai pemberat yang akan menarik penekan sensor ketika permukaan bandul tercelup sepenuhnya di dalam cairan uji. Ketika seluruh permukaan bandul tercelup, berat bandul seolah-olah berkurang karena mendapat gaya reaksi dari cairan uji berupa gaya buoyancy sehingga menyebabkan nilai keluaran dari sensor piezoresistif yang berupa resistansi berubah. Selanjutnya nilai keluaran sensor piezoresistif akan diubah menjadi sinyal standar 0-5V dan akan dikonversi menjadi nilai massa jenis dengan nilai konversi adalah hasil regresi dari kalibrasi sensor piezoresistif dan alat ukur standar yaitu hydrometer.

Pada saat permukaan bandul tercelup sepenuhnya di dalam cairan uji, suhu dari cairan uji akan dibaca oleh sensor infra-red thermometer untuk selanjutnya diolah oleh mikrokontroler dan digunakan sebagai faktor koreksi dari nilai massa jenis. Suhu merupakan faktor koreksi yang secara fisik mempengaruhi karakteristik ikatan dari partikel penyusun suatu materi yang berakibat pada perubahan nilai massa jenis. [7] Persamaan matematika untuk koreksi suhu cairan uji sebagai berikut

$$C_t = 0.000025\rho(t_0 - t) \quad C_t = 0.000025\rho(t_0 - t) \quad (1)$$

dimana C_t adalah koreksi suhu cairan uji, 0.000025 adalah konstanta faktor koreksi suhu, ρ adalah massa jenis cairan uji terukur, t_0 adalah suhu referensi yaitu suhu kamar, t adalah suhu saat pengujian yang terbaca oleh sensor infra-red thermometer

3 Hasil dan Pembahasan

Pengujian kalibrasi dan validasi prototipe menggunakan enam sampel cairan uji, yaitu air keran sebanyak 800 mL dan air keran sebanyak 800 mL ditambah garam dapur sebanyak 50 gr sampai 250 gr dengan penambahan sebesar 50 gr tiap cairan uji. Pengujian dilakukan dengan metode perbandingan langsung menggunakan hydrometer sebagai alat ukur standar.

3.1 Kalibrasi Sensor IR Thermometer

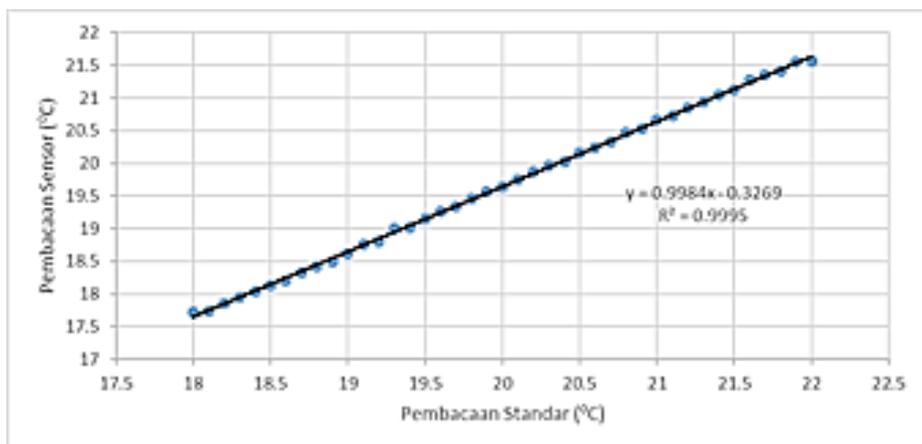
Hasil kalibrasi sensor IR Thermometer dengan waterbath dan thermocouple ditampilkan pada Tabel 1

Tabel 5 Hasil kalibrasi sensor IR Thermometer dengan waterbath dan thermocouple

. Suhu Standar (°C)	SUHU UJI RATA-RATA (°C)
18.00	17.71
18.10	17.73
18.20	17.86
18.30	17.94
18.40	18.03
18.50	18.13
18.60	18.21
18.70	18.32
18.80	18.42
18.90	18.49
19.00	18.62
19.10	18.76
19.20	18.80
19.30	19.01
19.40	19.02
19.50	19.15
19.60	19.25
19.70	19.33
19.80	19.46
19.90	19.57
20.00	19.65
20.10	19.75
20.20	19.87
20.30	19.96

. Suhu Standar (°C)	SUHU UJI RATA-RATA (°C)
20.40	20.02
20.50	20.16
20.60	20.23
20.70	20.32
20.80	20.46
20.90	20.53
21.00	20.66
21.10	20.73
21.20	20.85
21.30	20.94
21.40	21.04
21.50	21.12
21.60	21.28
21.70	21.35
21.80	21.41
21.90	21.55
22.00	21.57

Dari data pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa hasil pembacaan sensor IR Thermometer memiliki selisih sebesar 0.29°C sampai 0.43°C dengan standar yang digunakan yaitu waterbath dan thermocouple. Hasil pembacaan sensor IR Thermometer masih dapat diterima karena selisih antara pembacaan sensor dengan pembacaan standar masih berada dalam Batas Kesalahan yang Diizinkan (BKD).



Gambar 2 Kurva hasil kalibrasi sensor IR Thermometer dengan waterbath dan thermocouple

Pada Gambar 2 dengan x sebagai nilai keluaran waterbath dan y sebagai nilai pembacaan sensor IR Thermometer, secara matematis hubungan tersebut dapat dimodelkan menjadi persamaan matematika berikut,

$$y = 0.9948x - 0.3269 \tag{2}$$

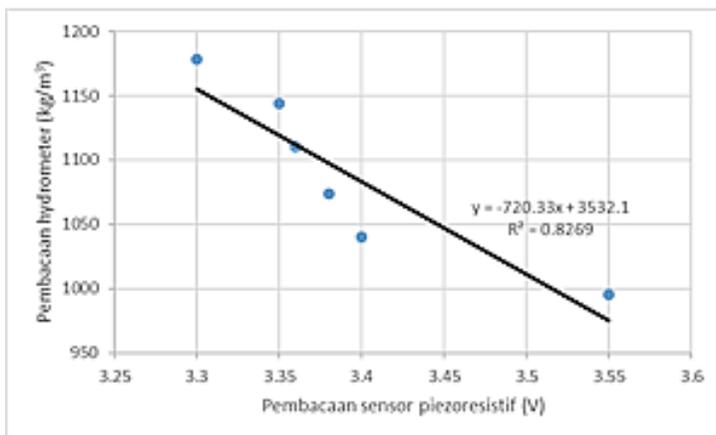
3.2 Kalibrasi Sensor Piezoresistif

Hasil kalibrasi pembacaan sensor piezoresistif berupa tegangan dengan alat ukur standar hydrometer ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil kalibrasi sensor piezoresistif dengan hydrometer

Air keran 800 mL + garam x gram	Pembacaan hydrometer (kg/m ³)	Pembacaan sensor piezoresistif (V)
0	995	3.55
50	1040	3.40
100	1074	3.38
150	1110	3.36
200	1144	3.35
250	1178	3.30

Ketika cairan uji berupa air keran 800 mL memiliki nilai massa jenis sebesar 995 kg/m³ dan pembacaan sensor piezoresistif sebesar 3.55 V sedangkan cairan uji berupa larutan air keran 800 mL dan garam 250 g memiliki nilai massa jenis sebesar 1178 kg/m³ dan pembacaan sensor piezoresistif sebesar 3.30 V. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai massa jenis, maka semakin rendah nilai dari tegangan yang terbaca oleh sensor piezoresistif. Dengan kata lain, hubungan antara massa jenis dari cairan uji yang terbaca oleh hydrometer dan sensor piezoresistif memiliki nilai yang berbanding terbalik.



Gambar 3 Kurva hasil kalibrasi sensor piezoresistif dengan hydrometer

Pada Gambar 3 dengan x sebagai nilai keluaran sensor piezoresistif berupa tegangan dan y sebagai nilai pembacaan hydrometer, secara matematis hubungan tersebut dapat dimodelkan menjadi persamaan matematika berikut,

$$y = -720.33x + 3532.1 \quad (3)$$

3.3 Uji Validasi

Uji validasi adalah konfirmasi melalui pengujian prototipe dengan model matematika yang telah ditanamkan ke dalam mikrokontroler untuk mengetahui dan memastikan bahwa metode kalibrasi dan pengujian telah sesuai untuk penggunaan pengukuran massa jenis dan mampu menghasilkan data yang valid [14]. Pada uji validasi, cairan uji yang digunakan memiliki suhu yang bervariasi dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana nilai massa jenis dari cairan uji yang sama ketika mengalami perubahan suhu. Hasil dari uji validasi ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 6 Data hasil uji validasi prototipe

Cairan Uji	Suhu Cairan Uji (°C)	Massa Jenis (kg/m ³)
Air keran 800 mL	25.34	1188.09
	53.47	1103.81
Air keran 800 mL + 50 gr garam	25.08	1202.68
	43.22	1132.64
Air keran 800 mL + 100 gr garam	24.66	1219.78
	41.10	1153.44
Air keran 800 mL + 150 gr garam	23.68	1236.50
	38.23	1177.60
Air keran 800 mL + 200 gr garam	23.32	1254.67
	36.97	1196.89
Air keran 800 mL + 250 gr garam	23.30	1272.12
	35.29	1224.30

Dari hasil uji validasi prototipe, didapatkan bahwa dengan bertambahnya suhu maka massa jenis dari cairan uji akan menurun seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 hal ini sesuai dengan Particle Theory of Matter yang menjelaskan pemodelan saintifik dari struktur materi bahwa semua materi tersusun dari partikel yang sangat kecil. Partikel penyusun materi tersebut secara konstan dan aktif bergerak sesuai dengan derajat kebebasan dari partikel itu sendiri. Derajat kebebasan tersebut ditentukan dari jumlah energi kinetik yang dimiliki materi tersebut. Energi kinetik rata-rata dari partikel di dalam sebuah materi berkaitan erat dengan suhu. Dengan meningkatnya suhu dari sebuah materi, ikatan antar molekul penyusunnya akan menurun karena besarnya nilai gaya tarik antar molekul berbanding terbalik dengan suhu sehingga menyebabkan menurunnya nilai massa jenis dari sebuah materi [8].

4 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan

1. Hasil kalibrasi sensor IR Thermometer dengan waterbath dapat dimodelkan menjadi
2. Hasil kalibrasi sensor piezoresistif dengan hydrometer dapat dimodelkan menjadi
3. Suhu mempunyai peran penting dalam menentukan nilai massa jenis suatu materi karena suhu sebagai faktor koreksi yang secara fisik mempengaruhi karakteristik ikatan dari partikel penyusun suatu materi. Ketika terjadi peningkatan suhu, maka ikatan antar partikel penyusun materi akan merenggang sehingga menyebabkan peningkatan volume materi yang mengakibatkan menurunnya massa jenis suatu materi.

5 Referensi

- [1] Finnemore, E. John and Franzini, Joseph B. 2002. Fluid Mechanics with Engineering Application. New York: McGraw Hill
- [2] Elmhurst College. 2002. Density - a Physical Property. <http://chemistry.elmhurst.edu>. Tanggal akses 2 Februari 2016
- [3] Simanek, Donald. Buoyancy. <http://lhup.edu>. Tanggal akses 7 Februari 2016
- [4] Force Sensitive Hookup Guide. <http://learn.sparkfun.com>. Tanggal akses 28 Februari 2016
- [5] 2011. Is it hot? Arduino + MLX90614 IR Thermometer. <http://bildr.org>. Tanggal akses 28 Februari 2016
- [6] Using Melexis MLX90614 Non-Contact Sensors. <http://learn.adafruit.com>. Tanggal akses 28 Februari 2016
- [7] Shapley, Patricia. 2011. Temperature Effects on Density. University of Illinois
- [8] McKeon, Frankie. 2000. Particle Theory. University of Leicester
- [9] Factors that Affect Fluids. Nova Scotia Canada
- [10] Infrared Thermometer Guide. Electronic Temperature Instruments Ltd. <http://thermometer.co.uk>. Tanggal akses 8 Mei 2016
- [11] 2015. Infrared Thermometers. <http://grainger.com>. Tanggal akses 8 Mei 2016
- [12] What is CMOS?. <http://windows.microsoft.com>. Tanggal akses 9 Mei 2016
- [13] Osborne, Frank H. Regression and Correlation. Kean University
- [14] ISO/IEC 17025
- [15] Dechev, N. Microelectromechanical Systems Lecture 10: Piezoresistivity. University of Victoria
- [16] Modul Praktikum RL. Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung
- [17] Arduino UNO. <http://arduino.cc>. Tanggal akses
- [18] Widyotriatmo, Augie. Komunikasi Data. Institut Teknologi Bandung
- [19] Pramono, David. Data Communication. Surabaya: Universitas Kristen