

Prototipe Alat Ukur Densitas BBM Peralite Berdasarkan SK DIRJEN MIGAS No. 486 Tahun 2017

Prototype of Peralite Fuel Density Measurement Tool Based on SK DIRJEN MIGAS No. 486 Year 2017

**Gianto*, Enrico William A. Sihotang, Dudi Adi Firmansyah, Vera Firmansyah, Budi Yasri,
Willi Sutanto, Nandang Gunawan Tunggal Waras, Eko Karsono**

Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Jl. Raya Bandung - Sumedang Km 25, Kutamandiri, Kecamatan Tanjungsari,
Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, 45362

Email* : gianto@akmet.ac.id

Abstrak - Penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) peralite yang semakin meningkat menimbulkan potensi kecurangan dalam penjualan, salah satunya melalui pencampuran air. Untuk mendeteksi kualitas BBM peralite, pengujian densitas menjadi salah satu parameter utama. Pengujian konvensional menggunakan hidrometer dan termometer secara manual memerlukan waktu yang lama dan rawan kesalahan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat prototipe alat ukur densitas BBM peralite, menggunakan sensor *load cell* 1 kg dan sensor DS18B20 yang terintegrasi dengan metode perbandingan massa dan volume, serta mampu mengonversi nilai densitas ke suhu standar 15°C secara otomatis. Prototipe ini menampilkan hasil pengukuran melalui LCD 20x4 I2C dan dua LED sebagai indikator, memiliki fitur praktis, serta menggunakan gelas ukur 300 ml sebagai wadah uji. Pengujian dilakukan pada empat sampel dengan lima kali pengulangan, dibandingkan dengan alat standar menggunakan piknometer dan neraca analitik. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata akurasi dan presisi sebesar 96,88% dan 99,41%, dengan waktu pengujian 74 s lebih cepat dibandingkan metode konvensional. Prototipe memiliki keterbatasan seperti belum dilengkapi sistem akuisisi data, penuang otomatis, dan belum dihitung nilai ketidakpastian pengukurannya. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap efisiensi proses uji densitas BBM peralite di SPBU, serta mendukung penerapan pengukuran densitas yang cepat dan akurat sesuai SK DIRJEN MIGAS No. 486 tahun 2017.

Kata kunci : BBM Peralite, Suhu, Densitas, Waktu Pengujian, Konversi Densitas

Abstract - The increasing use of peralite fuel oil (BBM) raises the potential for fraud in sales, one of which is through water mixing. To detect the quality of peralite fuel, density testing becomes one of the main parameters. Conventional testing using a hydrometer and thermometer manually takes a long time and is prone to errors. This research aims to design and create a prototype of a peralite fuel density measuring device, using a 1 kg load cell sensor and a DS18B20 sensor integrated with the mass and volume comparison method, and capable of automatically converting the density value to a standard temperature of 15°C. This prototype displays measurement results through a 20x4 I2C LCD and two LEDs as indicators, has practical features, and uses a 300 ml measuring cup as the test container. Testing was conducted on four samples with five repetitions, compared to the standard tool using a pycnometer and analytical balance. The test results showed an average accuracy and precision of 96,88% and 99,41%, with a testing time 74 s faster compared to the conventional method. The prototype has limitations such as not being equipped with a data acquisition system, an automatic dispenser, and the measurement uncertainty value has not been calculated. This research contributes to the efficiency of the peralite fuel density testing process at gas stations, and supports the implementation of fast and accurate density measurements in accordance with SK DIRJEN MIGAS No. 486 year 2017.

Keywords : Peralite Fuel, Temperature, Density, Testing Time, Density Conversion

I. PENDAHULUAN

Dalam sektor transportasi, konsumen Bahan Bakar Minyak (BBM) paling besar di Indonesia adalah kendaraan bermotor [1]. Dengan pesatnya perkembangan teknologi kendaraan bermotor, PT Pertamina (Persero) pada akhir bulan Januari tahun 2015, meluncurkan varian BBM bernama pertalite. BBM dengan nilai oktan 90 yang ramah lingkungan dan lebih irit serta membuat mesin motor lebih gesit jika dibandingkan dengan premium [2]. Sejak diluncurkan pada tahun 2015, konsumsi BBM pertalite meningkat terutama di kalangan pengguna kendaraan yang mengutamakan kinerja mesin. Berdasarkan data dari statistik minyak dan gas bumi tahun 2023, persentase peningkatan konsumsi BBM pertalite dari tahun 2018 sampai 2023 meningkat sebesar 70,73% dari konsumsi 17,70 juta meningkat menjadi 30,22 juta [3]. Peningkatan konsumsi BBM pertalite ini, menyebabkan praktik penjualan eceran oleh pihak yang tidak bertanggung jawab semakin marak di beberapa wilayah [4], seperti melakukan kecurangan dengan mencampurkan BBM pertalite dengan air [1]. Terdapat contoh kasus di kota Bekasi pada bulan Maret 2024, bahwa Polres Metro Bekasi berhasil mengatongi barang bukti berupa selang air dan selang lison milik pelaku dalam melakukan tindak pidana penyalahgunaan niaga BBM pertalite [5]. Hal ini tidak hanya menurunkan kualitas BBM tetapi juga dapat merusak kendaraan, terutama karena air dalam BBM dapat mengganggu sistem pembakaran pada mesin. Bagi konsumen, penggunaan BBM yang sudah tercampur dapat mengakibatkan kerugian dari segi performa dan kesehatan mesin. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji kualitas pada BBM pertalite, salah satunya dengan melakukan pengujian densitas yang sesuai dengan standar pada PT Pertamina (Persero) [6]. Hal ini dilakukan untuk membuktikan apakah BBM pertalite yang dijual sesuai standar atau tidak.

Berdasarkan SK DIRJEN MIGAS No. 486 tahun 2017, telah diatur mengenai persyaratan minimum hingga maksimum terkait nilai densitas pada BBM pertalite [7]. Uji kualitas densitas biasanya dilakukan oleh pihak SPBU. Metode pengukuran yang umum digunakan di SPBU adalah metode konvensional yaitu menggunakan hidrometer dan termometer secara manual dan perlu dikonversi lagi ke suhu standar yaitu pada suhu 15°C menggunakan tabel ASTM 53B. Pada

metode ini, penguji diharuskan teliti dalam menguji densitas seperti saat membaca skala pada hidrometer dan termometer [8]. Hal ini disebabkan dapat berpengaruh pada nilai densitas yang diperoleh. Durasi pengujian densitas paling cepat sekitar 2 menit. Dengan berkembangnya teknologi, diharapkan konversi manual ke densitas pada suhu 15°C dapat dilakukan secara otomatis agar lebih efektif dan efisien.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pengembangan alat ukur kualitas dan densitas, baik secara langsung untuk BBM maupun pada sampel uji lainnya yang relevan. Sebagai contoh referensi yaitu penelitian pada tahun 2017 menggunakan pendekatan sensor warna portabel untuk mendeteksi kemurnian bensin dengan sampel C8H18 dan C10H24 [4]. Kelebihan dari penelitian ini adalah kemampuan mengukur kualitas BBM berdasarkan parameter warna secara tepat. Namun, metode ini sangat bergantung pada intensitas cahaya dan jarak sensor terhadap sampel, yang memerlukan pengaturan awal agar hasil tetap stabil. Selain itu, parameter warna sebagai indikator kualitas BBM sangat dipengaruhi oleh cahaya lingkungan, sehingga penerapan di lapangan kurang efisien. Selanjutnya, pada tahun 2020 terdapat penelitian dengan mengembangkan prototipe alat ukur densitas yang dapat diterapkan untuk berbagai jenis cairan [9]. Penelitian ini memiliki kelebihan dalam perhitungan densitas udara dan densitas air standar, serta dilengkapi sensor suhu untuk pemantauan kondisi uji secara *real-time*. Namun, prototipe ini belum dirancang untuk melakukan konversi densitas ke suhu standar 15°C sesuai standar regulasi BBM pertalite, serta belum dilengkapi dengan tombol tara untuk mempermudah proses penimbangan. Kemudian, pada tahun 2022 terdapat penelitian lain yang mengkaji pengukuran densitas dengan metode B OIML R-111 menggunakan anak timbangan sebagai sampel [10]. Alat yang dikembangkan memiliki fitur tombol tara dan sensor suhu yang mampu membaca suhu secara *real-time*, serta menggunakan *waterpass* untuk menjamin kestabilan posisi alat. Meskipun demikian, alat ini masih bersifat laboratorium dan belum menerapkan sistem konversi otomatis ke densitas standar pada suhu 15°C, yang esensial dalam pengujian densitas BBM pertalite.

Berdasarkan hal tersebut, terlihat bahwa belum ada penelitian yang secara komprehensif mengintegrasikan seluruh komponen penting

dalam pengukuran densitas BBM, yaitu portabilitas alat, kemampuan konversi ke densitas standar pada suhu 15°C , kompensasi densitas udara dan air standar, tombol tara, serta penerapan *output* visual. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat prototipe alat ukur densitas BBM pertalite yang mampu melakukan konversi otomatis ke densitas standar pada suhu 15°C . Alat ini dilengkapi *output* visual, fitur praktis seperti tombol tara, *waterpass* dan baut pendatar, serta dirancang untuk mendukung operasional di lapangan. Prototipe ini diharapkan dapat mempercepat durasi pengujian densitas tanpa mengabaikan ketentuan dalam SK DIRJEN MIGAS No. 486 tahun 2017, sehingga dapat memberikan kontribusi terhadap efisiensi proses uji densitas BBM pertalite di SPBU.

II. METODOLOGI

A. Alur Kerja Penelitian

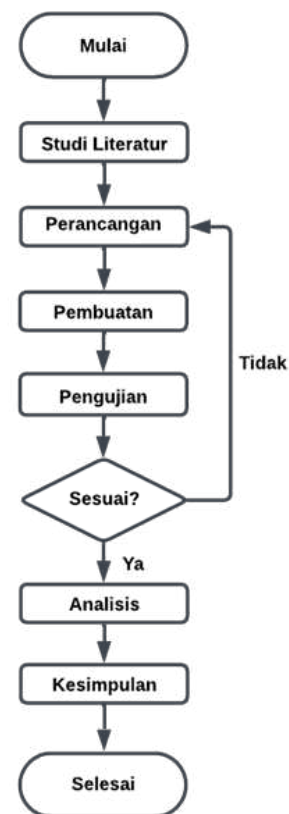
Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Kalibrasi Besaran Volume Akademi Metrologi dan Instrumentasi (Akmet). Metode *Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation* (ADDIE) adalah metode yang digunakan [11]. Metode ini diharapkan dapat menghasilkan pendekatan terstruktur dan sistematis dalam perancangan dan pengembangan dari prototipe alat ukur densitas BBM pertalite. **Gambar 1.** menunjukkan alur kerja pada penelitian ini.

B. Cara Kerja Sistem

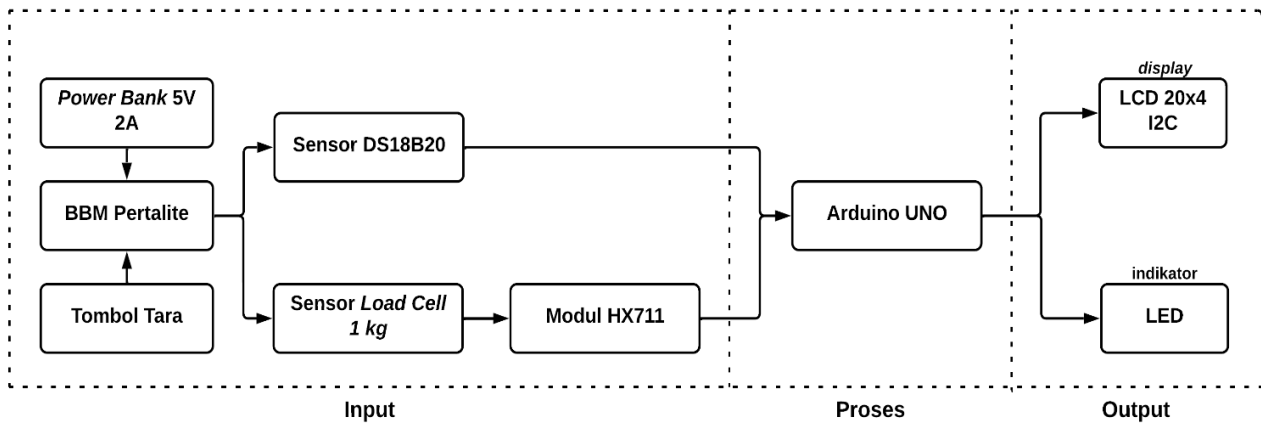
Sistem prototipe ini dirancang dengan perangkat keras (*hardware*) yang dapat diprogram oleh perangkat lunak (*software*). Perancangan sistem prototipe ini melibatkan sistem masukan (*input*) berupa *power bank* 5V 2A, BBM pertalite, tombol tara, sensor DS18B20, sensor *load cell* 1 kg, dan modul HX711, dan pemroses (*process*) berupa Arduino UNO, dan keluaran (*output*) data berupa LCD 20x4 I2C sebagai *display* dan 2 buah LED sebagai indikator kesesuaian. **Gambar 2.** merupakan rancangan diagram blok prototipe. Sebelum pengoperasian prototipe, dilakukan pengecekan kedataran menggunakan *waterpass*, kemudian dilakukan penyetelan menggunakan baut pendatar untuk memastikan posisi prototipe berada dalam keadaan datar dan stabil.

Cara kerja alat berdasarkan blok diagram yaitu dimulai dengan *power bank* 5V 2A yang memberikan arus listrik untuk mengoperasikan

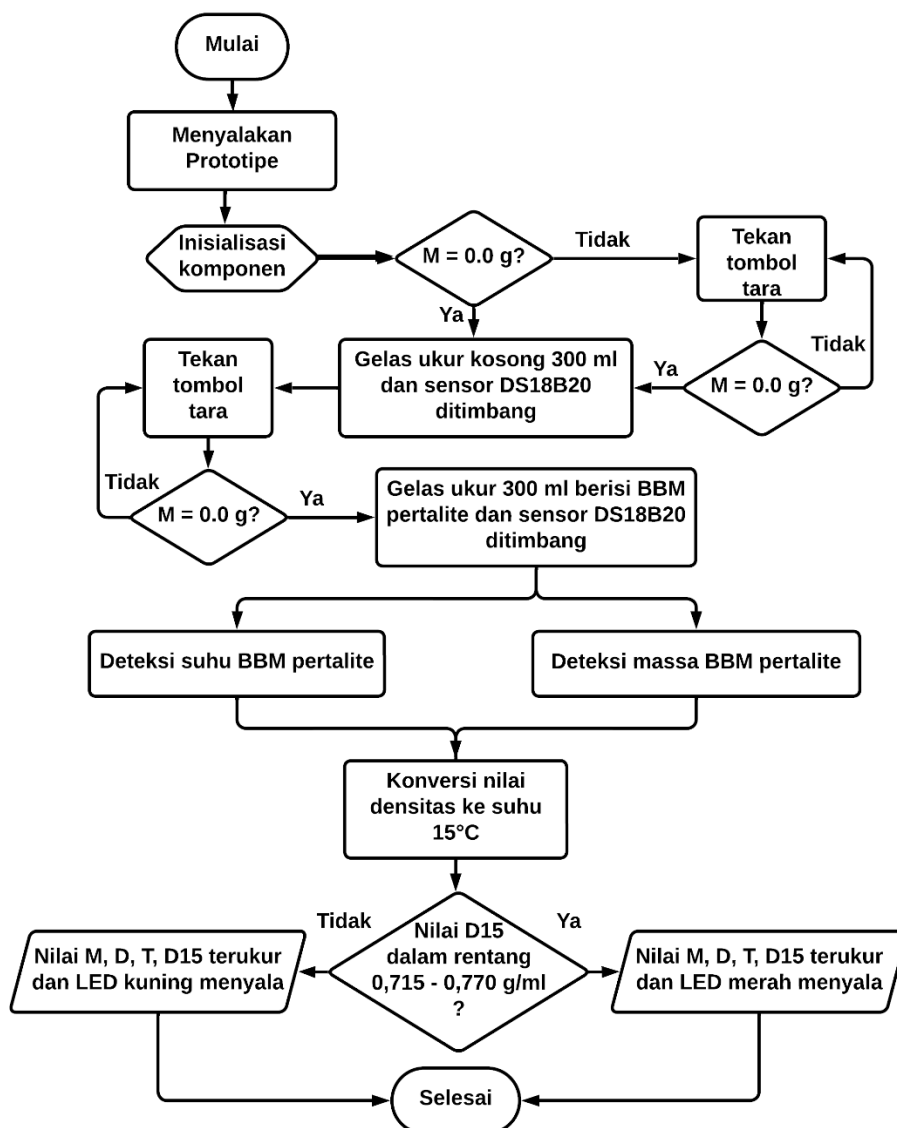
seluruh sistem. Proses penggunaan dilakukan dengan menimbang gelas ukur kosong kapasitas 300 ml dan sensor DS18B20 terlebih dahulu. Selanjutnya, tombol tara ditekan untuk menyetel massa kosong penimbangan menjadi nol. Setelah massa gelas ukur dan sensor DS18B20 disetel nol, BBM pertalite diisi ke dalam gelas ukur kapasitas 300 ml. Sensor *load cell* 1 kg mendeteksi massa BBM di dalam gelas ukur, dengan resolusi 0,1 g. Sinyal dari sensor *load cell* 1 kg diperkuat oleh modul HX711 dan diteruskan ke mikrokontroler Arduino UNO untuk diproses. Selain itu, sensor DS18B20 mengukur suhu BBM pertalite secara *real-time* untuk memastikan pengukuran densitas dapat dikonversi ke suhu standar 15°C . Data massa dan suhu BBM pertalite tersebut diproses oleh Arduino UNO sehingga menghasilkan nilai densitas dan nilai konversinya pada suhu standar 15°C . Hasil pengukuran tersebut ditampilkan pada LCD 20x4 I2C sebagai *display* dan LED sebagai indikator kesesuaian. LCD 20x4 I2C menampilkan nilai massa terukur (M), nilai densitas (D), nilai suhu terukur (T) dan nilai densitas pada suhu 15°C (D15). Pada **Gambar 3.** ditunjukkan diagram alir pada prototipe alat ukur densitas BBM pertalite secara keseluruhan.



Gambar 1. Diagram Alur Kerja Penelitian



Gambar 2. Diagram Blok Prototipe



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan Sistem

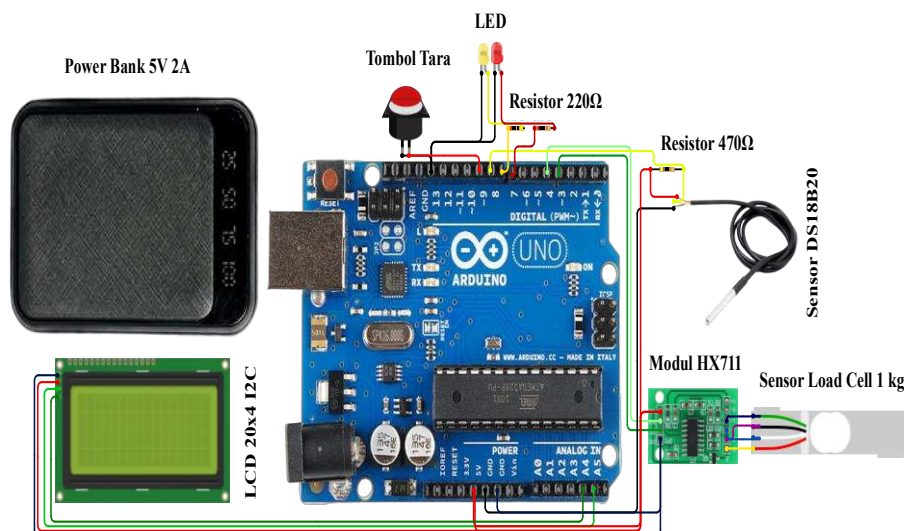
C. Perancangan Sistem

Prototipe alat ukur densitas BBM pertalite berdasarkan SK DIRJEN MIGAS No. 486 tahun 2017 dirancang menggunakan beberapa komponen yang dapat diterapkan, sehingga dapat digunakan sesuai dengan yang diharapkan. Komponen yang digunakan pada prototipe memiliki fungsi masing-masing. *Power bank* 5V 2A digunakan sebagai sumber daya listrik untuk digunakan pada prototipe. Selain itu, digunakan sebagai pengendali dalam menyalakan atau mematikan prototipe. Tombol tara digunakan sebagai pengatur ulang nilai timbangan ke angka nol dan menyimpan data massa yang diukur sebelumnya. LED digunakan sebagai indikator kesesuaian nilai densitas yang dirancang sesuai dengan regulasi. Pada hal ini, LED merah akan menyala jika densitas BBM pertalite yang diukur sesuai regulasi yaitu rentang 0,715-0,770 g/ml, sedangkan LED kuning akan menyala jika kondisi densitas BBM pertalite tidak sesuai dengan regulasi. Resistor 220 Ω dan 470 Ω digunakan sebagai pembatas arus listrik untuk melindungi komponen ukur. Sensor DS18B20 digunakan sebagai pengukur suhu BBM pertalite. Modul HX711 digunakan sebagai penguat dan pengubah sinyal untuk membaca data yang diteruskan dari sensor *load cell* 1 kg. Sensor *load cell* 1 kg berperan sebagai pendeteksi massa pada BBM pertalite. Arduino UNO digunakan sebagai mikrokontroler untuk memproses data dari sensor yang digunakan. LCD 20x4 I2C digunakan sebagai penampil data hasil pengukuran. Pada **Gambar 4**, ditampilkan skematik rangkaian elektronika untuk prototipe alat ukur densitas BBM pertalite.

D. Pengujian

Setelah dilakukan perancangan sistem, dilakukan pengujian untuk mengetahui kemampuan dari prototipe yang telah dirancang [12]. Indikator prototipe alat ukur densitas BBM pertalite dinyatakan berhasil, yaitu LED merah menyala dan nilai D15 masuk dalam rentang 0,715-770 g/ml ketika diuji pada BBM pertalite. Pada **Tabel I**, ditunjukkan spesifikasi BBM pertalite yang sesuai dengan SK DIRJEN MIGAS No. 486 Tahun 2017. Pengujian dilakukan pada 4 sampel, dengan masing-masing sampel diuji sebanyak 5 kali pengulangan. Sampel A berupa BBM pertalite SPBU A, sampel B berupa BBM pertalite SPBU B, sampel C berupa BBM pertalite dicampur air, dan sampel D berupa air.

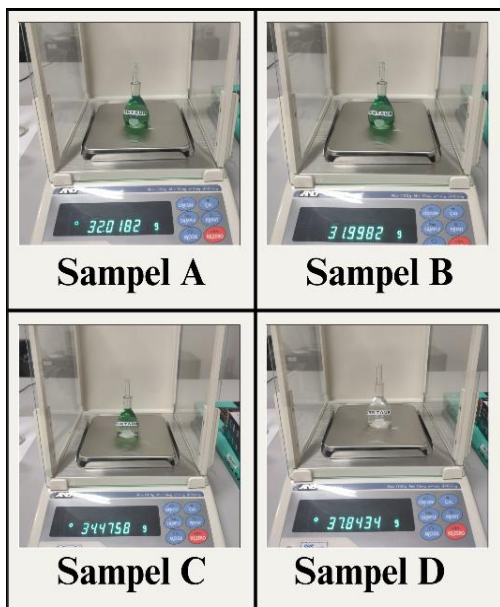
Pengujian dilakukan dengan menggunakan pendekatan analisis statistik berupa analisis regresi linier sederhana agar data yang diperoleh linier. Pengujian tersebut meliputi perhitungan nilai densitas 15°C, kalibrasi sensor DS18B20, kalibrasi sensor *load cell* 1 kg dan perbandingan nilai densitas dengan menggunakan piknometer 25 ml sebagai alat standar dan gelas ukur 300 ml sebagai alat uji. Parameter nilai densitas pada piknometer 25 ml diukur menggunakan neraca analitik dengan resolusi 0,0001 g. Nilai tersebut dijadikan sebagai nilai standar densitas, yang akan dibandingkan dengan nilai densitas yang diperoleh dari prototipe dengan menggunakan gelas ukur 300 ml. Pada **Gambar 5**, ditampilkan pengujian sampel densitas menggunakan alat standar. Adapun pada **Gambar 6**, ditampilkan pengujian sampel densitas menggunakan alat uji.



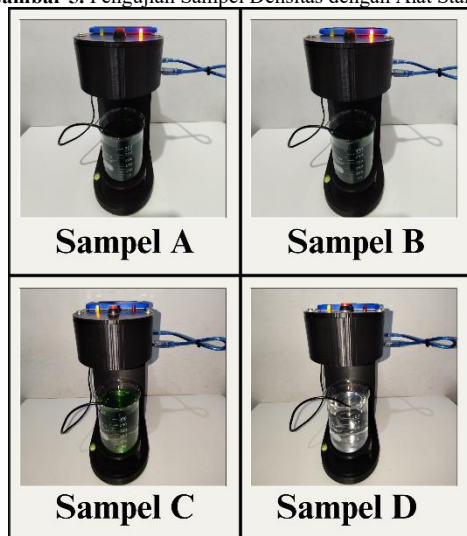
Gambar 4. Skematik Rangkaian Elektronika

Tabel I. Spesifikasi BBM Peralite

Spesifikasi	Satuan	Batasan	
		Min	Maks
Bilangan Oktan Riset	RON	90,0	
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
Sulfur Merkaptan	% m/m	-	0,002
Kandungan Logam Mangan	Mg/l	-	1
Kandungan Logam Besi	Mg/l	-	1
Kandungan Oksigen Sedimen	% m/m	-	2,7
Unwashed Gum	Mg/l	-	1
Washed Gum	Mg/100ml	-	70
Tekanan Uap	kPa	45	69
Densitas (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770
Warna		Hijau	



Gambar 5. Pengujian Sampel Densitas dengan Alat Standar



Gambar 6. Pengujian Sampel Densitas dengan Alat Uji

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil desain *hardware* prototipe alat ukur densitas BBM peralite pada **Gambar 7**. terdiri dari wadah komponen dan lantai muatan. Komponen perangkat keras diletakkan pada dua tempat yaitu bagian luar wadah komponen dan bagian dalam wadah komponen. Pada bagian dalam wadah komponen terdapat Arduino UNO, *power bank* 5V 2A, resistor 220Ω dan 470Ω serta modul HX711. Adapun pada bagian luar wadah komponen terdapat LCD 20x4 I2C, *waterpass*, tombol tara, baut pendatar, LED, sensor DS18B20 dan sensor *load cell* 1 kg. Lantai muatan pada prototipe digunakan untuk tempat menimbang menggunakan gelas ukur kapasitas 300 ml sebagai wadah sampel uji.



Gambar 7. Bentuk Prototipe

Beberapa sistem ukur untuk pengukuran densitas telah dilengkapi dengan metode perbandingan massa dan volume [8-9] dan memperhitungkan nilai densitas udara dan nilai densitas air standar [9]. Akan tetapi, untuk penggunaan spesifik seperti penggunaan pada BBM peralite belum pernah dilakukan. Prototipe ini dibuat pada BBM peralite untuk mengukur nilai densitas sesuai dengan regulasi yang ada menggunakan persamaan (1) dan (2). Persamaan (1) yaitu metode perbandingan massa dan volume, memperhitungkan nilai densitas udara dan nilai densitas air standar. Persamaan (2) yaitu mengkonversi nilai densitas ke suhu 15°C.

$$D = \left(\frac{0,99985 \times m}{v} \right) + 0,0012 \quad \dots (1)$$

$$D_{15} = D \times (1 + \beta \Delta T) \quad \dots (2)$$

$$Bias = Std - \overline{UUT} \quad \dots (3)$$

$$Akurasi = \left(1 - \frac{Bias+3\sigma}{Std} \right) \times 100\% \quad \dots (4)$$

$$Presisi = \left(1 - \frac{3\sigma}{\overline{UUT}} \right) \times 100\% \quad \dots (5)$$

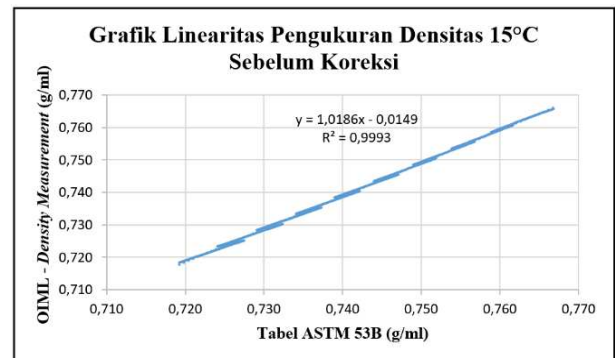
$$Kesalahan = \left(\frac{Bias+3\sigma}{Std} \right) \times 100\% \quad \dots (6)$$

Persamaan (1) merupakan persamaan untuk mencari nilai massa jenis dari alat piknometer standar dengan satuan g/ml [13]. D dinyatakan sebagai nilai densitas yang diperoleh dengan satuan g/ml, M dinyatakan sebagai massa dari BBM pertalite dalam satuan g, V dinyatakan sebagai volume BBM pertalite yaitu 300 ml. Nilai 0,99985 merupakan nilai densitas air standar, dan 0,0012 merupakan nilai densitas udara. Persamaan (2) merupakan persamaan untuk mengkonversi nilai densitas ke suhu standar 15°C menggunakan metode OIML – *Density Measurement* [13]. β dinyatakan sebagai koefisien muai volume BBM sebesar $950 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ [14]. ΔT dinyatakan sebagai perubahan suhu terukur dengan suhu standar 15°C. Persamaan (3) merupakan persamaan untuk menghitung nilai bias. Std dinyatakan sebagai nilai standar pengukuran dan $\overline{UUT}$ dinyatakan sebagai nilai rata-rata pengukuran uji [15]. Persamaan (4) merupakan persamaan untuk menghitung nilai akurasi pengukuran. σ dinyatakan sebagai standar deviasi uji. Persamaan (5) adalah persamaan dalam menghitung nilai presisi pengukuran. Persamaan (6) adalah persamaan dalam menghitung nilai kesalahan pengukuran.

A. Perhitungan Nilai Densitas 15°C

Setelah seluruh komponen dirakit, maka pengujian dapat dilakukan. Sebelum dilakukan pengujian terhadap sensor, perlu dilakukan perhitungan nilai densitas 15°C. Hal ini dilakukan untuk memastikan kesesuaian penggunaan metode OIML – *Density Measurement* dengan penggunaan tabel ASTM 53B. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan perhitungan dengan menggunakan nilai densitas dari rentang nilai 0,715–0,755 g/ml, dan menggunakan suhu dari rentang nilai 20–30°C. Rentang nilai densitas digunakan berdasarkan nilai standar pada BBM pertalite yang sesuai dengan rentang nilai pada Tabel ASTM 53B. Rentang nilai suhu digunakan berdasarkan nilai suhu yang dapat terukur pada kondisi lingkungan. **Gambar 8.** merupakan grafik linearitas pengukuran densitas 15°C sebelum koreksi. Pada **Gambar 8.** diperoleh persamaan linearitas yaitu $y = 1,0186x - 0,0149$. Uji regresi ini dilakukan guna memastikan bahwa persamaan yang dibuat untuk memperoleh nilai densitas 15°C memberikan respon linier terhadap perubahan variabel *input*. Persamaan $y = 1,0186x - 0,0149$ dijadikan sebagai persamaan untuk memperoleh nilai densitas 15°C. **Gambar 9.** merupakan grafik linearitas pengukuran densitas

15°C sesudah koreksi. Pada **Gambar 9.** diperoleh persamaan linearitas yaitu $y = x + 2\text{E-}05$.



Gambar 8. Grafik Linearitas Pengukuran Densitas 15°C Sebelum Koreksi



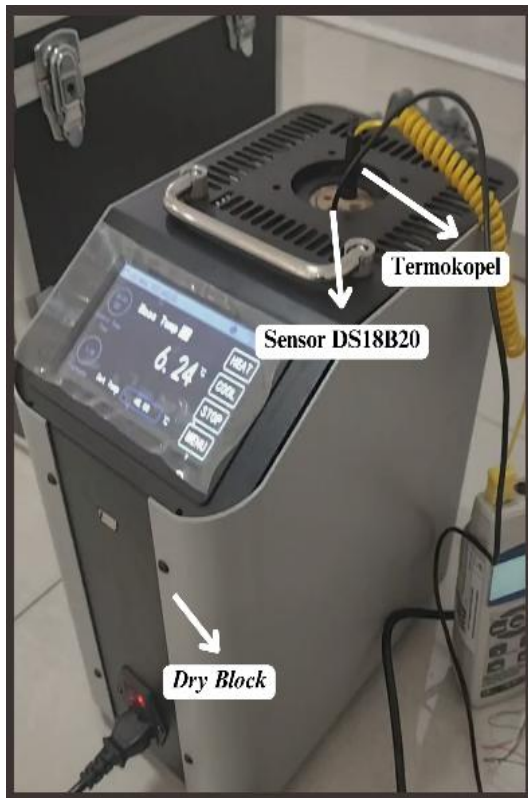
Gambar 9. Grafik Linearitas Pengukuran Densitas 15°C Sesudah Koreksi

B. Kalibrasi Sensor DS18B20

Proses kalibrasi sensor DS18B20 menerapkan metode perbandingan langsung. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai suhu yang diukur oleh sensor DS18B20 dengan suhu pada alat standar berupa termokopel. Kalibrasi terdiri dari pengujian naik dan turun yang dilakukan dengan 7 titik ukur yang berbeda-beda sebanyak 10 kali pengulangan. Kalibrasi ini menggunakan titik pengujian yaitu 15°C, 18°C, 20°C, 23°C, 25°C, 28°C dan 30°C.

Kalibrasi sensor DS18B20 dengan termokopel dilakukan menggunakan media berupa *dry block*. Pada **Gambar 10.** ditampilkan proses kalibrasi sensor DS18B20. Pada **Tabel II.** ditampilkan hasil perhitungan dari kalibrasi sensor DS18B20, dengan nilai akurasi dan presisi pengukuran yang sudah cukup baik [16]. Pada grafik linearitas sebelum koreksi, diperoleh persamaan $y = 1,0079x + 0,2663$. Persamaan tersebut digunakan pada kode program prototipe, sehingga memperoleh nilai pengukuran yang lebih akurat. Berdasarkan hal tersebut, diperoleh rata-rata akurasi sebesar 99,18% dan rata-rata presisi sebesar 99,27%.

Tabel III. merupakan data kalibrasi sensor DS18B20 sesudah ditambah koreksi. **Gambar 11.** merupakan grafik linearitas kalibrasi sensor DS18B20 sebelum koreksi. **Gambar 12.** merupakan grafik linearitas kalibrasi sensor DS18B20 sesudah koreksi. Berdasarkan grafik pada kedua gambar tersebut, dapat diamati perubahan yang signifikan antara grafik linearitas sebelum koreksi dan sesudah ditambah koreksi.



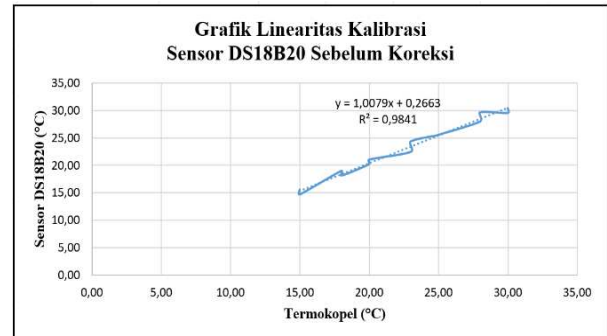
Gambar 10. Kalibrasi Sensor DS18B20

C. Kalibrasi Sensor *Load Cell* 1 kg

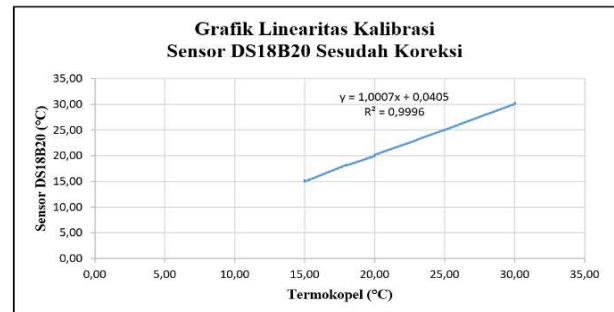
Metode kalibrasi yang diterapkan adalah membandingkan nilai massa yang diukur oleh sensor *load cell* 1 kg resolusi 0,1 g dengan massa pada anak timbangan standar kelas M1. Kalibrasi terdiri dari pengujian naik dan turun dengan 10 titik ukur yang berbeda-beda sebanyak 10 kali pengulangan [17]. **Gambar 13.** merupakan grafik linearitas sensor *load cell* 1 kg sebelum koreksi. **Gambar 14.** merupakan grafik linearitas sensor *load cell* 1 kg sesudah koreksi.

Tabel IV. merupakan hasil kalibrasi sensor *load cell* 1 kg sebelum ditambahkan nilai koreksi. Pada **Gambar 13.** diperoleh persamaan $y = x + 0,0222$. Persamaan tersebut digunakan pada kode program prototipe, sehingga memperoleh nilai

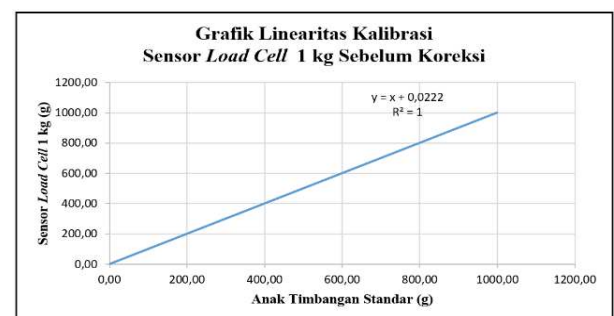
pengukuran yang lebih akurat. Berdasarkan hal tersebut, diperoleh rata-rata akurasi dan presisi sebesar 99,72% dan 99,98%. **Tabel V.** merupakan data kalibrasi sesudah ditambah koreksi.



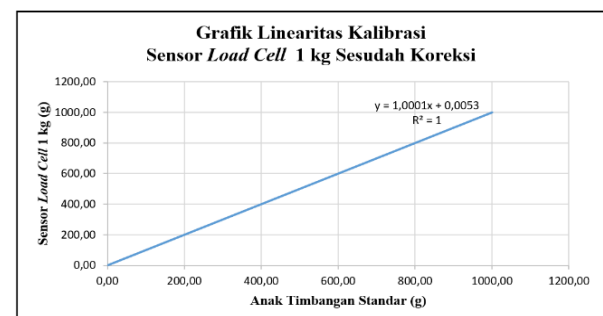
Gambar 11. Grafik Linearitas Kalibrasi Sensor DS18B20 Sebelum Koreksi



Gambar 12. Grafik Linearitas Kalibrasi Sensor DS18B20 Sesudah Koreksi



Gambar 13. Grafik Linearitas Kalibrasi Sensor *Load Cell* 1 kg Sebelum Koreksi



Gambar 14. Grafik Linearitas Kalibrasi Sensor *Load Cell* 1 kg Sesudah Koreksi

Tabel II. Kalibrasi Sensor DS18B20 Sebelum Koreksi

Pengujian	Std (°C)	UUT (°C)	Bias (°C)	σ (°C)	Kesalahan (%)	Akurasi (%)	Presisi (%)
Naik	15,00	15,55	-0,50	0,05	2,61	97,39	98,98
Turun	15,00	14,64	0,36	0,08	4,09	95,91	98,27
Naik	18,00	18,96	-0,96	0,05	4,47	95,53	99,18
Turun	18,00	18,10	-0,10	0,00	0,56	99,44	100,00
Naik	20,00	20,20	-0,20	0,00	1,00	99,00	100,00
Turun	20,00	21,02	-1,02	0,04	4,47	95,53	99,40
Naik	23,00	22,46	0,54	0,05	3,02	96,98	99,31
Turun	23,00	24,36	-1,36	0,05	5,24	94,76	99,36
Naik	25,00	25,54	-0,54	0,05	1,54	98,46	99,39
Turun	25,00	25,58	-0,58	0,04	1,81	98,19	99,51
Naik	28,00	28,04	-0,04	-0,05	0,41	99,59	99,45
Turun	28,00	29,72	-1,72	0,04	5,69	94,31	99,57
Naik	30,00	29,60	0,40	0,00	1,33	98,67	100,00
Turun	30,00	30,46	-0,46	0,05	1,02	98,98	99,49
Nilai rata-rata					2,66	97,34	99,42

Tabel III. Kalibrasi Sensor DS18B20 Sesudah Koreksi

Pengujian	Std (°C)	UUT (°C)	Bias (°C)	σ (°C)	Kesalahan (%)	Akurasi (%)	Presisi (%)
Naik	15,00	15,20	-0,20	0,00	1,33	98,67	100,00
Turun	15,00	14,91	0,09	0,16	3,79	96,21	96,79
Naik	18,00	18,20	-0,20	0,00	1,11	98,89	100,00
Turun	18,00	18,08	-0,08	0,04	0,26	99,74	99,30
Naik	20,00	19,90	0,10	0,00	0,50	99,50	100,00
Turun	20,00	20,13	-0,13	0,05	0,07	99,93	99,28
Naik	23,00	22,98	0,02	0,04	0,64	99,36	99,45
Turun	23,00	23,06	-0,06	0,05	0,41	99,59	99,33
Naik	25,00	24,99	0,01	0,06	0,72	99,28	99,32
Turun	25,00	24,97	0,03	0,05	0,70	99,30	99,42
Naik	28,00	28,04	-0,04	-0,05	0,41	99,59	99,45
Turun	28,00	28,02	-0,02	0,10	1,04	98,96	98,89
Naik	30,00	30,05	-0,05	0,05	0,36	99,64	99,47
Turun	30,00	30,26	-0,26	0,10	0,10	99,90	99,04
Nilai rata-rata					0,82	99,18	99,27

D. Perbandingan Alat Uji dengan Alat Standar

Perbandingan alat uji dengan alat standar dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat nilai D15 yang dihasilkan. Pada penelitian ini, alat uji adalah prototipe densitas BBM pertalite resolusi 0,1 g menggunakan gelas ukur 300 ml dengan simbol UUT, dibandingkan dengan alat standar yaitu neraca analitik resolusi 0,0001 g menggunakan piknometer 25 ml dengan simbol Std. Perbandingan dilakukan menggunakan 4 sampel yaitu sampel A, sampel B, sampel C juga sampel D, dengan dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan. Pengujian menggunakan alat standar piknometer, dilakukan dengan menyiapkan

piknometer terlebih dahulu. Selanjutnya, piknometer dicuci dan dikeringkan, lalu ditimbang massa kosong piknometer [18]. Kemudian, dilakukan pengisian dengan sampel uji pada piknometer, lalu ditimbang massa total piknometer beserta sampel uji dan nilai densitas dilakukan perhitungan. Massa pada piknometer diperoleh dari massa isi (M1) dikurang massa kosong (M0) [19]. Suhu pengukuran pada penggunaan piknometer dihitung pada kondisi sebelum ditimbang dan sesudah ditimbang, sehingga memperoleh suhu pengukuran sampel. Suhu pengukuran piknometer digunakan untuk menentukan nilai D15, dengan menggunakan tabel ASTM 53B.

Tabel IV. Kalibrasi Sensor *Load Cell* 1 kg Sebelum Koreksi

Pengujian	<i>Std</i> (g)	<i>UUT</i> (g)	<i>Bias</i> (g)	σ (g)	Kesalahan (%)	Akurasi (%)	Presisi (%)
Naik	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Turun	2,00	2,04	-0,04	0,05	5,75	94,25	100,00
Naik	10,00	10,01	-0,01	0,03	0,85	99,15	99,05
Turun	10,00	9,97	0,03	0,00	1,75	98,25	98,55
Naik	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Turun	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Naik	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Turun	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Naik	100,00	100,06	-0,06	0,05	0,09	99,91	99,85
Turun	100,00	100,02	-0,02	0,04	0,11	99,89	99,87
Naik	200,00	200,02	-0,02	0,04	0,05	99,95	99,94
Turun	200,00	200,03	-0,03	0,05	0,06	99,94	99,93
Naik	300,00	300,12	-0,12	0,04	0,00	100,00	99,96
Turun	300,00	300,06	-0,06	0,05	0,03	99,97	99,95
Naik	500,00	500,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Turun	500,00	500,03	-0,03	0,05	0,02	99,98	99,97
Naik	700,00	700,05	-0,05	0,07	0,02	99,98	99,97
Turun	700,00	700,02	-0,02	0,04	0,02	99,98	99,98
Naik	1000,00	999,95	0,05	0,08	0,03	99,97	99,97
Turun	1000,00	1000,00	0,00	0,12	0,03	99,97	99,97
Nilai rata-rata					0,44	99,56	99,85

Tabel V. Kalibrasi Sensor *Load Cell* 1 kg Sesudah Koreksi

Pengujian	<i>Std</i> (g)	<i>UUT</i> (g)	<i>Bias</i> (g)	σ (g)	Kesalahan (%)	Akurasi (%)	Presisi (%)
Naik	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Turun	2,00	1,99	0,01	0,03	5,24	94,76	100,00
Naik	10,00	10,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Turun	10,00	10,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Naik	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Turun	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Naik	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Turun	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Naik	100,00	100,01	-0,01	0,03	0,08	99,92	99,91
Turun	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Naik	200,00	200,03	-0,03	0,05	0,06	99,94	99,93
Turun	200,00	200,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Naik	300,00	300,06	-0,06	0,05	0,03	99,97	99,95
Turun	300,00	300,04	-0,04	0,05	0,04	99,96	99,95
Naik	500,00	500,04	-0,04	0,05	0,02	99,98	99,97
Turun	500,00	500,04	-0,04	0,05	0,02	99,98	99,97
Naik	700,00	700,04	-0,04	0,05	0,02	99,98	99,98
Turun	700,00	700,13	-0,13	0,05	0,00	100,00	99,98
Naik	1000,00	999,99	0,01	0,03	0,01	99,99	99,99
Turun	1000,00	1000,05	-0,05	0,05	0,01	99,99	99,98
Nilai rata-rata					0,28	99,72	99,98

Pada Tabel VI. alat uji dapat mengukur sampel A, sampel B dan sampel D cukup andal, sehingga akurasi yang diperoleh relatif tinggi sekitar 97%. Sementara itu, pada sampel C akurasi yang

diperoleh turun drastis menjadi 94,69%. Hal ini disebabkan adanya perbedaan volume terukur antara BBM pertalite yang dicampur dengan air. Perbedaan tersebut terjadi akibat air dan BBM

pertalite tidak dapat bersatu, karena bersifat tidak homogen. Oleh karena itu, ketika sampel C diuji, pasti terdapat perbedaan massa cairan, karena keterbatasan alat dalam mendeteksi perbedaan fase cairan. Hal ini disebabkan penggunaan volume ukur yang berbeda-beda, yaitu 300 ml untuk alat uji dan 25 ml untuk alat standar. Selain itu, diameter gelas ukur 300 ml juga berpengaruh kepada pembacaan meniskus.

Hasil uji perbandingan antara alat standar dan alat uji menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam menentukan nilai D15, dengan rata-rata kesalahan sebesar 3,12%. **Gambar 15.** menunjukkan grafik perbandingan nilai D15 dari keempat sampel yang diuji. Koefisien korelasi grafik pada **Gambar 15.** adalah 0,9887 yaitu

mendekati nilai 1 yang menyatakan bahwa pengujian mendekati linier dan berfungsi dengan baik. Pada **Tabel VII.** ditunjukkan perbandingan waktu pengujian antara alat standar dengan alat uji yang cukup signifikan. Pada alat standar, waktu pengujian terdiri dari waktu pengisian sampel ke dalam piknometer, waktu penimbangan, waktu pengukuran suhu sampel, waktu perhitungan nilai densitas, dan waktu konversi nilai D15 dengan tabel ASTM 53B. Adapun pada alat uji, waktu pengujian terdiri dari waktu pengisian sampel pada gelas ukur, waktu penimbangan, dan waktu penggunaan tombol tara. Berdasarkan **Tabel VII.** dapat dilihat bahwa alat uji memiliki rata-rata waktu pengujian 74 s lebih cepat dibandingkan alat standar.

Tabel VI. Perbandingan Nilai Densitas 15°C

Keterangan	Rata-rata Sampel Uji			
	A	B	C	D
M0 Std (g)	14,1647	14,1597	14,1625	14,1666
M1 Std (g)	32,0110	31,8920	34,4761	37,8433
M Std (g)	17,8463	17,7323	20,3136	23,6767
M UUT (g)	218,4	217,9	257,7	292,0
D15 Std (g/ml)	0,718	0,714	0,817	0,951
D15 UUT (g/ml)	0,733	0,731	0,863	0,977
Bias (g/ml)	-0,02	-0,02	-0,05	0,09
σ (g/ml)	0,003	0,002	0,000	0,001
Kesalahan (%)	2,06	2,42	5,31	2,69
Akurasi (%)	97,94	97,58	94,69	97,31
Presisi (%)	98,87	99,31	99,89	99,55
Nilai rata-rata σ (g/ml)				0,002
Nilai rata-rata kesalahan (%)				3,12
Nilai rata-rata akurasi (%)				96,88
Nilai rata-rata presisi (%)				99,41

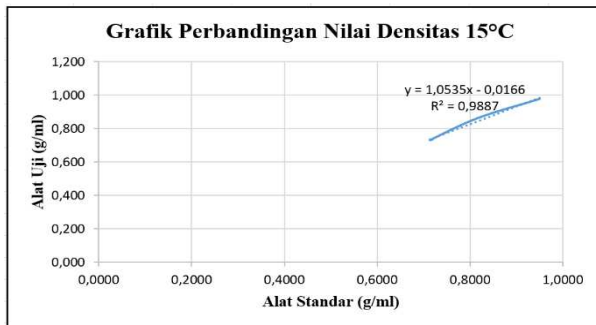
Tabel VII. Perbandingan Waktu Pengujian

Waktu Pengujian	Rata-rata Sampel Uji			
	A	B	C	D
Std (s)	126	125	123	124
UUT (s)	56	56	51	41
Selisih (s)	70	69	72	83
Nilai rata-rata waktu pengujian Std (s)				125
Nilai rata-rata waktu pengujian UUT (s)				51
Selisih rata-rata waktu pengujian (s)				74

Berdasarkan analisis statistik yang ditunjukkan pada **Tabel VI.** diperoleh standar deviasi nilai D15 berkisar antara 0,000 g/ml hingga 0,003 g/ml dengan rata-rata sebesar 0,002 g/ml. Hal tersebut menunjukkan konsistensi pengukuran yang cukup baik. Perbedaan ini menunjukkan bahwa alat uji memiliki potensi efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan alat standar.

Meskipun prototipe menunjukkan performa yang cukup akurat dan efisien, terdapat beberapa keterbatasan teknis dalam penelitian ini. Pertama, alat belum dilengkapi sistem akuisisi data untuk dokumentasi hasil uji secara otomatis. Kedua, proses penuangan sampel ke dalam gelas ukur masih dilakukan secara manual, yang dapat menyebabkan kesalahan paralaks atau ketidakkonsistenan volume. Ketiga, prototipe

belum mencakup estimasi ketidakpastian pengukuran secara kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengintegrasikan sistem penuang otomatis, sistem penyimpanan data berbasis kartu memori atau berbasis *Internet of Things* (IoT), serta evaluasi ketidakpastian pengukuran guna meningkatkan validitas dan keterlusuran hasil pengukuran.



Gambar 15. Grafik Perbandingan Nilai Densitas 15°C

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan prototipe alat ukur densitas BBM pertalite berdasarkan SK DIRJEN MIGAS No. 486 tahun 2017 yang mampu mengintegrasikan pengukuran massa menggunakan sensor *load cell* 1 kg dan pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20. Prototipe ini juga mampu melakukan konversi otomatis nilai densitas ke suhu standar 15°C sesuai dengan ketentuan SK DIRJEN MIGAS No. 486 tahun 2017. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe memiliki rata-rata akurasi dan presisi sebesar 96,88% dan 99,41%. Selain itu, prototipe mampu mempercepat durasi pengujian hingga 74 s lebih cepat dibandingkan metode konvensional, menjadikan prototipe lebih efisien untuk penggunaan di lapangan.

Fitur tambahan seperti tampilan LCD, tombol tara, *waterpass*, baut pendatar, serta LED sebagai indikator memberikan kemudahan dalam pengoperasian dan interpretasi hasil secara visual. Namun demikian, prototipe ini masih memiliki keterbatasan dalam hal sistem akuisisi data, sistem penuangan sampel yang masih manual, dan belum dilakukan evaluasi kuantitatif terhadap ketidakpastian pengukuran. Oleh karena itu, pengembangan lanjutan disarankan untuk menambahkan sistem akuisisi data berbasis kartu memori atau berbasis IoT, otomatisasi penuangan sampel, serta perhitungan ketidakpastian pengukuran untuk meningkatkan validitas dan keterlusuran hasil pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhamad Ikhwanus Syafa, "Identifikasi Campuran Bahan bakar Minyak Menggunakan Sensor Warna," vol. 3200, no. 11, hlm. 2985–2992, 2022.
- [2] G. Aditya, Y. Sutomo, and P. Yulianti, "Pengaruh Harga Dan Kualitas Produk Terhadap Keputusan Konsumen Dalam Pembelian Bahan Bakar Minyak Jenis Pertalite Di Spbu Soekarno Hatta Semarang," *Stab. J. Manag. Bus.*, vol. 4, no. 1, hlm. 57–65, 2021, doi: 10.26877/sta.v4i1.8820.
- [3] Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, "Statistik Minyak dan Gas Bumi 2023," hlm. 66, 2023.
- [4] A. E. Putra, R. Nugraha, S. Pd, and I. P. Pangaribuan, "Pendeteksi Kemurnian Bensin C8H18 dan C10H24 di SPBU Pertamina Berbasis Sensor Warna Portabel," vol. 4, no. 2, hlm. 1392–1401, 2017.
- [5] Ishal and M. Ardiansyah, "Kasus Pertalite Campur Air Disengaja, Polisi Tangkap Kernet dan Sopir Pengantar BBM," *Go Bekasi.id*, vol. 03, hlm. 27, 2024, [Online]. Available: <https://gobekasi.id/2024/03/27/kasus-pertalite-campur-air-disengaja-polisi-tangkap-kernet-dan-sopir-pengantar-bbm/>
- [6] D. Migas, "Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG," *Spesifikasi Prod. BBM, BBN LPG*, hlm. 23, 2020.
- [7] P. Kementerian Minyak dan Gas, "Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas No. 486 Tahun 2017," 2017.
- [8] Y. Ardiansyah, Riza Alfita, Koko Joni, and Haryanto, "Rancang Bangun Alat Uji Kualitas Density Bahan Bakar Minyak Berdasarkan Metode Tekanan Hidrostatik," *J-Eltrik*, vol. 3, no. 1, pp. 15–24, 2022, doi: 10.30649/je.v3i1.61.
- [9] P. Megantoro, A. Widjanarko, R. Rahim, K. Kunal, and A. Z. Arfianto, "The Design of Digital Liquid Density Meter Based on Arduino," vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [10] H. B. Hidayat and S. A. Simbolon, "Prototipe Alat Ukur Densitas Anak Timbangan Dengan Metode B OIML R-111," *Braz Dent J.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [11] A. R. Kumala, "Prototipe Sistem Rekam Data Alat-alat Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya Berbasis RFID," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 12, no. 1, pp. 38–49, 2024, doi: 10.34010/telekontran.v12i1.12764.
- [12] M. B. Maksalmina, G. Gianto, D. A. Irwanto, V. Firmansyah, D. A. Firmansyah, B. Yasri, W. Sutanto, and N. G. T. Waras, "Pengukuran Dimensi Nonkontak pada Objek Bola, Silinder, dan Kubus dengan Metode Triangulasi Menggunakan Laser Garis," vol. 12, no. 1, 2024.
- [13] OIML, "Density Measurement -Guidance for Inspectors," vol. 11, no. March, hlm. 2–4, 1987.
- [14] Douglas C. Giancoli, *PHYSICS: Principles with Applications, Fifth Edition*, 5th ed. 2001.
- [15] V. Firmansyah, F. Nuriska, T. Mulyana, D. A. Firmansyah, B. Yasri, A. Muslim, G. Gianto, N. G. T. Waras, and W. Sutanto, "Rancang Bangun Prototipe Pemantau Temperatur Ruang Penyimpanan Anak Timbangan Standar di Unit Metrologi Legal Kabupaten Bandung Barat," 2024.
- [16] M. B. R. Huda and W. D. Kurniawan, "Analisa Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor Ds18B20 Berbasis Mikrokontroler Arduino," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 2, hlm. 18–23, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin/article/view/47897/39982>
- [17] D. Syahwir, T. Rocky, and R. Nainggolan, "Pengangkut Muatan Kapasitas 2 kg Berbasis Mikrokontroler," vol. 16, no. 2, hlm. 1–9, 2024.
- [18] I. A. Setiorini, S. Ardhiany, and P. A. P. Lestari, "Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Proses Transesterifikasi dengan katalis karbon Aktif," vol. 14, no. 02, 2023.
- [19] N. Istianah, "Evaporasi Multi-Tahap Menggunakan Falling Film Evaporator (FFE) untuk Meningkatkan Efisiensi," *Jur. Teknol. Has. Pertan.*, vol. 8, no. 4, hlm. 1–5, 2017.