

Rancang Bangun Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair Digital Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor *Load Cell*

Ferlitha Frisilia Mottoh¹, Putri S Makarawung^{1*}, Marianus¹, Jeane Verra Tumangkeng¹ dan Ishak Pawarangan²

¹Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Negeri Manado, Jl. Kampus Unima, Tonsaru, Kec. Tondano Selatan, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara 95618

²Program Studi Fisika Universitas Negeri Manado, Jl. Kampus Unima, Tonsaru, Kec. Tondano Selatan, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara 95618

*E-mail: 22505007@unima.ac.id

Abstrak. Minimnya ketersediaan alat ukur massa jenis digital yang memadai dan akurat di sekolah menjadi salah satu kendala dalam pembelajaran konsep fluida, khususnya massa jenis zat cair. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan alat ukur massa jenis zat cair digital berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan menggunakan sensor *load cell* dan modul HX711. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D), yang mencakup tiga tahap utama, yaitu perencanaan, perakitan, dan pengujian alat. Perangkat yang dikembangkan dirancang agar mampu mengukur massa cairan secara langsung melalui tekanan dari sensor *load Cell*, kemudian menghitung massa jenis berdasarkan volume tetap dan menampilkan hasilnya secara digital pada layar LCD 16×2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat dapat mengukur massa jenis air dan minyak goreng dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Rata-rata galat pengukuran untuk air sebesar $\pm 3,50\%$, sedangkan untuk minyak sebesar $\pm 5,94\%$. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9532 untuk air dan 0,9531 untuk minyak menunjukkan bahwa alat bekerja secara stabil dan konsisten pada setiap pengukuran berulang. Berdasarkan hasil tersebut, alat ini dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran eksperimen fluida di tingkat pendidikan menengah, serta dapat menjadi alternatif alat praktikum digital yang efektif dan memadai.

Kata kunci: massa jenis, arduino uno, sensor load cell

Abstract. The lack of availability of adequate and accurate digital density measuring instruments in schools is one of the obstacles in learning fluid concepts, especially the density of liquids. This research aims to design and develop a digital liquid density measuring instrument based on Arduino Uno microcontroller using load cell sensor and HX711 module. The method used is Research and Development (R&D), which includes three main stages, namely planning, assembly, and tool testing. The developed device is designed to be able to measure the mass of the liquid directly through the pressure of the load cell sensor, then calculate the density based on a fixed volume and display the results digitally on a 16×2 LCD screen. The test results show that the device can measure the density of water and cooking oil with a fairly good level of accuracy. The average measurement error for water is $\pm 3.50\%$, while for oil is $\pm 5.94\%$. The coefficient of determination (R^2) value of 0.9532 for water and 0.9531 for oil shows that the device works stably and consistently in each repeated measurement. Based on these results, this tool is considered feasible to use as a medium for

learning fluid experiments at the secondary education level, and can be an effective and adequate alternative to digital practicum tools.

Keywords: density, arduino uno, load cell sensor

1. Pendahuluan

Pendidikan merupakan suatu bentuk upaya yang dilakukan secara sadar dan terstruktur guna menciptakan kondisi belajar yang kondusif, sehingga memungkinkan peserta didik berpartisipasi aktif dalam mengembangkan potensinya [1,2]. Melalui pendidikan, individu diharapkan dapat tumbuh menjadi pribadi yang memiliki ketangguhan spiritual, mampu mengendalikan diri, berakarakter, cerdas, berakhlak baik, dan memiliki keterampilan yang berguna bagi dirinya sendiri, masyarakat, serta negara [3].

Fisika merupakan ilmu yang mengkaji objek tak hidup maupun makhluk hidup yang berkaitan dengan gejala-gejala alam. Sebagai cabang sains yang paling fundamental, fisika memiliki sifat eksperimental. Oleh karena itu, dalam proses pembelajarannya, kegiatan eksperimen sangat dibutuhkan agar peserta didik dapat memahami konsep-konsep yang dipelajari secara lebih mendalam dan menyeluruh [4].

Topik fluida statis dalam fisika termasuk salah satu bahasan yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, namun cukup menantang untuk dipahami oleh peserta didik. Saat mempelajari konsep ini, siswa dihadapkan pada berbagai fenomena yang berhubungan langsung dengan aktivitas sehari-hari, sehingga diperlukan pendekatan pembelajaran yang tepat agar materi lebih mudah dimengerti [5]. Fluida statis adalah jenis zat alir yang menyesuaikan bentuknya dengan wadah, namun berada dalam kondisi tidak bergerak. Dalam kajian fluida yang tidak mengalir ini, pembahasan umumnya mencakup tekanan serta prinsip yang dijelaskan dalam Hukum Archimedes [6,7].

Massa jenis menunjukkan banyaknya massa dalam setiap satuan volume, semakin tinggi massa jenis suatu objek, semakin besar massanya dalam volume tertentu. Nilai massa jenis rata-rata diperoleh dengan membagi total massa suatu benda terhadap total volumenya. Sebagai contoh, benda seperti besi yang massa jenisnya lebih besar dibanding air, akan memiliki ukuran lebih kecil meskipun massanya sama. Konsep ini juga dapat dipahami sebagai tingkat kerapatan suatu zat, yaitu rasio antara massa dan volume. Selain itu, massa jenis dapat bervariasi tergantung pada jenis zat, meskipun wujudnya sama; zat yang berbeda memiliki nilai massa jenis yang tidak sama [8].

Pemahaman terhadap konsep massa jenis tidak hanya penting secara teoritis, tetapi juga membutuhkan pembuktian melalui eksperimen agar peserta didik dapat mengaitkan konsep dengan fenomena nyata [9–11]. Sayangnya, pelaksanaan pembelajaran massa jenis di sekolah-sekolah Indonesia masih dihadapkan pada keterbatasan alat ukur yang memadai. Banyak satuan pendidikan belum memiliki alat ukur massa jenis yang praktis, akurat, dan mudah digunakan di laboratorium sekolah, terutama di jenjang menengah dan kejuruan. Hal ini berdampak pada rendahnya keterampilan proses sains dan minimnya pengalaman eksperimen siswa terhadap materi tersebut [12,13].

Pengukuran memegang peran penting dalam proses penelitian ilmiah, dan di sisi lain, kegiatan ilmiah turut mendorong kemajuan dalam bidang pengukuran. Seiring kemajuan teknologi dalam riset dan pendidikan, ilmu dasar pengukuran perlu terus diperbarui agar tetap relevan dan mendukung kemajuan tersebut. Pengukuran dapat diartikan sebagai aktivitas membandingkan suatu besaran dengan besaran acuan yang telah ditentukan sebagai standar. Proses dan peralatan yang digunakan dalam kegiatan ini dikenal sebagai alat ukur. Dalam kehidupan sehari-hari, terdapat

beragam jenis alat ukur, seperti alat untuk mengukur panjang, alat untuk mengukur waktu, massa, suhu, serta berbagai besaran lainnya [7,14].

Alat ukur merupakan perangkat yang digunakan untuk mengetahui nilai suatu besaran dengan cara membandingkan kuantitas dari sebuah objek [15]. Dalam keseharian, manusia kerap melakukan aktivitas yang melibatkan penghitungan berbagai besaran. Jenis alat ukur harus disesuaikan dengan karakteristik objek yang diukur, seperti ukuran, bentuk, dan sifat fisisnya. Misalnya, penggaris digunakan untuk mengukur panjang benda lurus, mikrometer untuk mengukur benda kecil dengan presisi tinggi, timbangan untuk mengukur massa, dan *roll meter* untuk benda berukuran panjang atau besar. [7,14,15].

Eksperimen dapat dipahami sebagai rangkaian aktivitas yang mencakup tindakan dan pengamatan guna memverifikasi hipotesis atau menemukan hubungan sebab-akibat dari suatu fenomena [16]. Dalam definisi lain, eksperimen merupakan kegiatan yang dirancang secara sistematis untuk menguji hipotesis yang bersumber dari teori tertentu. Tujuannya adalah menyediakan bukti-bukti berdasarkan data nyata terhadap subjek yang diteliti. Salah satu kelebihan metode ini adalah melatih peserta didik agar terbiasa menggunakan pendekatan ilmiah dalam menyelesaikan persoalan, sehingga mereka tidak mudah menerima informasi yang belum terbukti kebenarannya [16,17].

Arduino merupakan papan mikrokontroler terbuka (*open-source*) yang dikembangkan dari platform *wiring* dan dirancang agar penggunaannya dalam bidang elektronika menjadi lebih sederhana. Perangkat ini berperan sebagai pusat pengendali atau pengolah data, yang berfungsi memproses informasi yang diterima serta mengatur data yang akan dikeluarkan, mirip dengan fungsi CPU (*Central Processing Unit*) dalam sistem komputer. Arduino Uno adalah papan pengendali berbasis mikrokontroler ATmega328. Perangkat ini dilengkapi dengan 14 pin digital yang bisa digunakan sebagai input atau output. Selain itu, terdapat enam pin input analog, osilator kristal berfrekuensi 16 MHz, port USB, sambungan daya, serta tombol untuk mereset sistem [18,19]. Sensor yang biasanya dimanfaatkan untuk mendeteksi berat atau gaya dari suatu objek dikenal sebagai *load cell* atau sel beban. Alat ini tersusun dari kerangka logam yang di dalamnya terpasang elemen regangan. Saat beban diberikan pada sensor, kerangka logam akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi, yang menyebabkan resistansi pada elemen regangan ikut berubah. Perubahan resistansi tersebut selanjutnya dikonversi menjadi sinyal listrik yang bisa dibaca serta dianalisis [19]. Modul HX711 adalah penguat sinyal yang umum digunakan dalam sistem timbangan digital, berfungsi untuk mengubah sinyal analog dari sensor *load cell* menjadi sinyal digital. Modul ini memiliki tingkat presisi tinggi dengan ADC 24-bit dan dirancang khusus untuk sensor tipe *bridge*. Prinsip kerja HX711 adalah memperkuat sinyal tegangan dari *load cell* saat sensor tersebut mendeteksi beban [20].

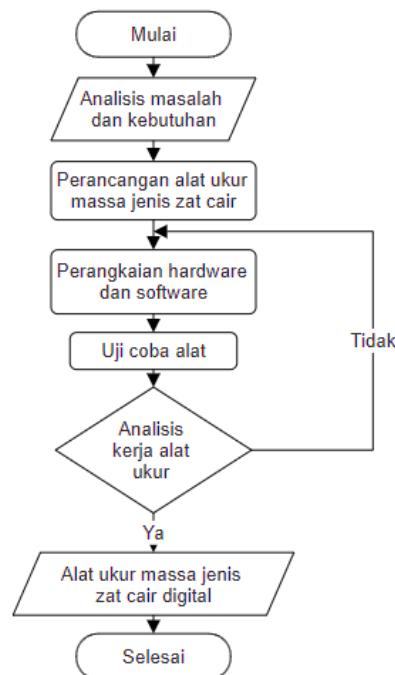
Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan alat ukur massa jenis digital berbasis Arduino Uno dengan sensor *Load Cell*. Diharapkan dengan adanya pengembangan alat ukur massa jenis digital akan terdapat potensi penggunaannya sebagai media pembelajaran fisika berbasis digital yang mudah digunakan dan efektif dalam pembelajaran fisika. Alat ini dapat digunakan oleh peserta didik dan guru untuk memberikan peningkatan pemahaman konsep massa jenis melalui demonstrasi dan praktikum.

2. Metode

Secara garis besar, prosedur penelitian mencakup tahapan-tahapan penelitian, metode pengumpulan data, analisis, serta penafsiran data. Salah satu jenis prosedur penelitian yang menarik untuk diteliti lebih lanjut adalah penelitian pengembangan (R&D) [21,22]. Penelitian alat ukur massa jenis zat cair

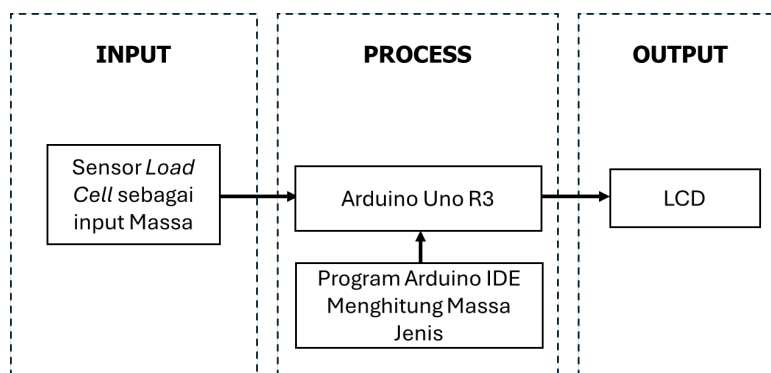
berbasis arduino uno menggunakan sensor *load cell* dan sensor HC-SR04 menggunakan metode R&D.

Flowchart alat ukur massa jenis zat cair berbasis arduino uno menggunakan sensor *load cell* dan sensor HC-SR04 ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* alat ukur massa jenis zat cair berbasis arduino uno menggunakan sensor *Load Cell* dan sensor HC-SR04.

Diagram blok rancang alat ukur massa jenis zat cair berbasis arduino uno menggunakan sensor *Load Cell* dan sensor HC-SR04 sesuai dengan Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok alat ukur massa jenis zat cair berbasis arduino uno menggunakan sensor *Load Cell*.

Berdasarkan diagram alir penelitian dan pendekatan Research and Development (R&D) yang digunakan, maka tahapan pelaksanaan penelitian ini terdiri dari tiga langkah utama, yaitu (1) perencanaan alat, (2) perakitan alat, dan (3) pengujian alat. Tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

Tahap pertama adalah perencanaan alat. Pada tahap ini dilakukan penyusunan skema blok sistem alat berdasarkan kebutuhan fungsi dari masing-masing komponen. Rancangan alat melibatkan Arduino Uno sebagai mikrokontroler utama, modul sensor *Load Cell* sebagai pengukur massa, serta modul HX711 sebagai penguat sinyal dan konverter analog ke digital (ADC). Desain perancangan juga mencakup cara kerja sistem dalam mengukur massa zat cair di dalam wadah, kemudian mengolah data massa dan volume untuk menghitung massa jenis. Perancangan rangkaian dan koneksi pin Arduino ke HX711 dan Load Cell dilakukan secara skematik menggunakan software Proteus 8.

Tahap selanjutnya adalah perakitan alat. Pada tahap ini dilakukan perakitan seluruh komponen sesuai desain yang telah dibuat. Komponen yang digunakan antara lain Arduino Uno, sensor Load Cell 1 kg, modul HX711, LCD LiquidCrystal 16×2, rangkaian breadboard, kabel jumper, serta dudukan akrilik dan wadah cairan. Semua komponen dirangkai secara fungsional pada breadboard dan dudukan mekanik alat. Setelah perangkat keras tersusun, dilakukan pemrograman Arduino dengan bahasa C/C++ melalui Arduino IDE. Program disusun untuk membaca sinyal digital dari modul HX711, mengolahnya menjadi nilai massa, kemudian melakukan pembagian massa terhadap volume cairan (yang sebelumnya diketahui tetap) untuk mendapatkan nilai massa jenis. Nilai massa jenis yang dihitung akan ditampilkan secara otomatis pada layar LCD 16×2.

Tahap terakhir adalah pengujian alat. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan konsistensi alat dalam mengukur massa jenis zat cair. Pada tahap ini, alat diuji menggunakan beberapa jenis zat cair dengan massa jenis yang telah diketahui (misalnya air dan minyak goreng). Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan untuk setiap jenis zat cair. Data massa jenis hasil pembacaan alat akan dibandingkan dengan nilai teoritis masing-masing zat cair yang dapat dihitung dengan Persamaan (1) untuk mendapatkan persentase kesalahan dan akurasi alat. Hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD dan dicatat secara manual untuk keperluan analisis. Pengujian ini juga mencakup uji stabilitas pembacaan sensor serta pengaruh lingkungan sekitar terhadap performa alat.

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

Data hasil pengukuran massa jenis dari alat dibandingkan dengan data referensi massa jenis masing-masing zat cair untuk mengevaluasi kebenaran pembacaan sensor. Analisis dilakukan untuk menilai tingkat akurasi dan konsistensi pembacaan alat terhadap nilai sebenarnya. Setiap data hasil pembacaan dihitung deviasinya terhadap nilai rujukan.

Perhitungan dilakukan dengan mencari taraf kesalahan (galat) dan koefisien determinasi (R^2) guna mengevaluasi kelayakan dan performa alat yang telah dirancang. Taraf kesalahan atau galat adalah selisih antara nilai pengukuran alat dengan nilai yang diharapkan atau referensi, dan dinyatakan dalam satuan persen. Galat digunakan untuk menunjukkan seberapa besar penyimpangan hasil alat terhadap nilai sebenarnya [23,24], dan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2),

$$\% \text{ galat} = \frac{|\rho_{out} - \rho_{teori}|}{\rho_{teori}} \times 100\% . \quad (2)$$

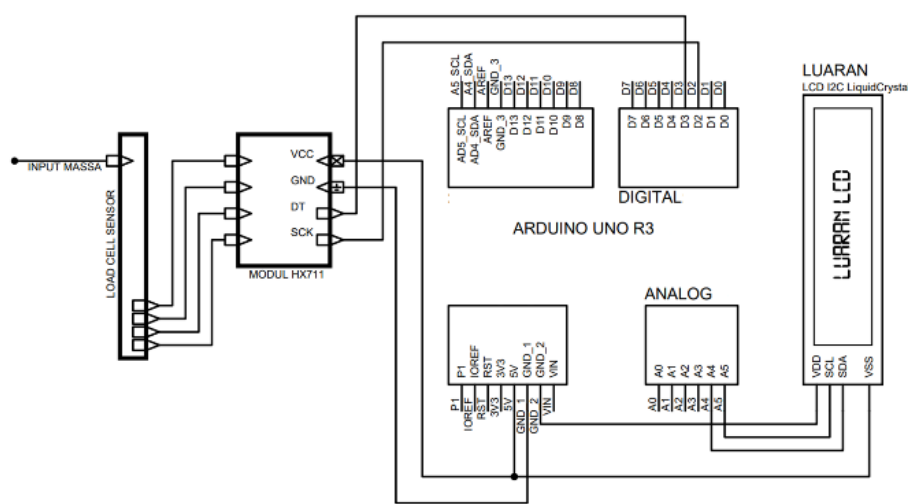
Selain galat, perhitungan koefisien determinasi (R^2) dilakukan untuk mengetahui seberapa baik hubungan antara nilai massa jenis hasil pengukuran alat dengan nilai referensinya. Nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan bahwa alat memiliki tingkat akurasi dan konsistensi yang sangat tinggi dalam mengikuti nilai acuan. R^2 dihitung dari regresi linear antara data hasil alat dan data referensi [22,24]. Dengan menghitung galat dan R^2 , alat yang dirancang dapat dievaluasi kelayakannya untuk digunakan dalam pembelajaran dan pengukuran massa jenis zat cair secara digital di lingkungan sekolah.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam Hasil penelitian dalam rancang bangun alat ukur massa jenis dijelaskan dengan tahapan-tahapan R&D.

3.1. Perencanaan Alat

Tahap perencanaan alat dilakukan menggunakan perangkat lunak *Proteus 8* sebagai media simulasi dan penyusunan skematik rangkaian elektronik. Hasil dari tahap ini adalah rancangan skematik alat ukur massa jenis zat cair digital berbasis Arduino Uno, yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain alat ukur massa jenis digital menggunakan perangkat lunak *Proteus 8*

Desain alat ini memiliki beberapa komponen utama. Arduino Uno R3 digunakan sebagai pusat kendali mikrokontroler yang mengatur pembacaan sinyal dan pengolahan data. Sensor *Load Cell* berfungsi sebagai pengukur massa dari zat cair dalam suatu wadah. Sinyal dari *Load Cell* diteruskan ke modul HX711, yang bertugas sebagai penguat dan konverter analog ke digital agar sinyal dapat diproses oleh Arduino. Selain itu, LCD *Display (LiquidCrystal 1602)* digunakan untuk menampilkan hasil perhitungan massa jenis secara langsung, dan *breadboard* digunakan sebagai papan rangkai untuk menghubungkan seluruh komponen secara praktis dan fleksibel tanpa penyolderan. Catu daya alat berasal dari sumber tegangan DC eksternal, powerbank, atau komputer dengan koneksi ke pin VIN Arduino.

Tabel 1. Koneksi kabel komponen dengan arduino uno

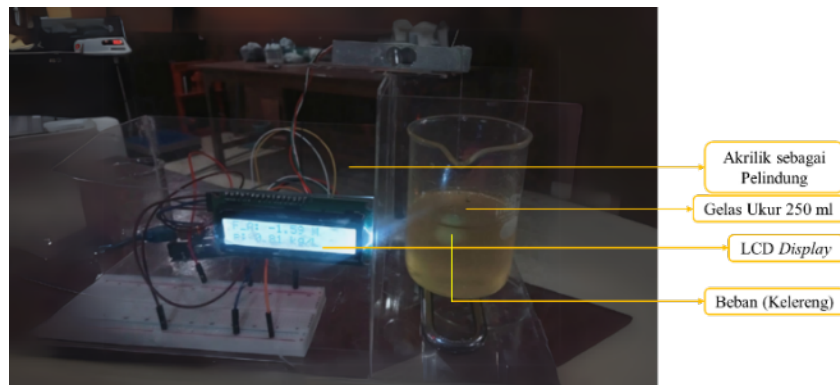
No.	Nama Komponen	Pin Komponen	Pin Mikokontrolor (Arduino Uno)
1	Modul HX711	VCC	5 V
		GND	Pin GND
		DT (Data)	3 (Digital)
		SCK (Clock)	2 (Digital)
2	LCD Display (LiquidCrystal 1602)	VCC	5 V
		GND	GND
		SDA	A4/SDA
		SCL	A5/SCL

Dalam proses perancangan, setiap pin pada Arduino dan komponen pendukung telah ditentukan untuk koneksi tertentu guna mendukung integrasi sistem alat. Rincian koneksi antar komponen dapat dilihat pada Tabel 1.

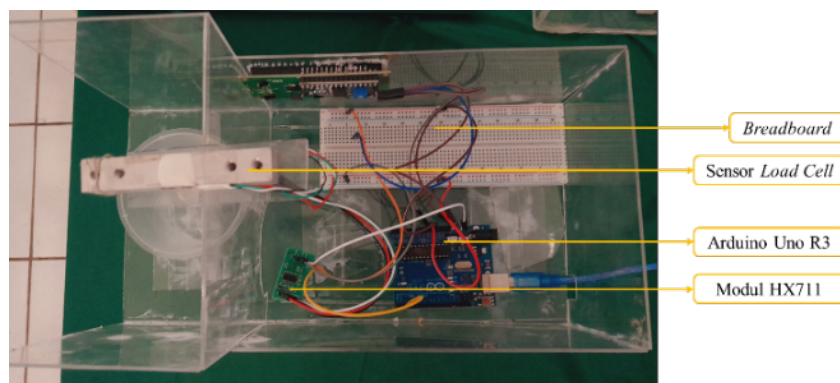
Pin-pin lain pada modul HX711 seperti E+, E-, A+, dan A- dihubungkan dengan kabel jumper ke sembarang tempat di sensor *Load Cell*. Rangkaian dirancang agar alat dapat bekerja secara otomatis setelah dinyalakan, di mana pengguna cukup meletakkan zat cair dalam wadah pada Load Cell, maka alat akan menampilkan nilai massa jenis zat cair tersebut pada LCD.

3. 2. Perakitan Alat

Setelah tahap perencanaan dan perancangan alat diselesaikan, maka dilanjutkan ke tahapan perakitan alat. Pada tahap ini, dilakukan proses perakitan seluruh komponen elektronik dan mekanik berdasarkan rancangan skematik yang telah dibuat sebelumnya. Proses pembuatan melibatkan penyusunan struktur fisik alat, integrasi sensor, serta pengujian awal rangkaian sistem. Alat pengukur massa jenis zat cair digital yang telah selesai dirakit dapat dilihat pada Gambar 4 dan bagian-bagian penyusun utama alat secara terperinci ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Keseluruhan alat pengukur massa jenis digital berbasis sensor *load cell*



Gambar 5. Bagian-bagian alat pengukur massa jenis digital berbasis *load cell*

Gambar 4 menunjukkan tampilan fisik keseluruhan alat, termasuk pelindung akrilik yang menutupi rangkaian elektronik, gelas ukur 250 ml yang berfungsi sebagai wadah zat cair, serta beban (kelereng) sebagai massa tambahan yang digunakan saat pengujian. Alat ini dirancang agar pengguna cukup meletakkan zat cair ke dalam gelas ukur, lalu alat akan secara otomatis menghitung dan menampilkan massa jenis cairan tersebut.

Gambar 5 memperlihatkan detail bagian dalam alat yang terdiri atas breadboard sebagai papan perakitan, sensor *Load Cell* tipe *straight bar* 10 kg sebagai pengukur massa, serta modul HX711 yang digunakan untuk menguatkan dan mengubah sinyal dari sensor menjadi data digital. Semua komponen ini dihubungkan ke Arduino Uno R3 yang berfungsi sebagai pusat pengolah data. *Output* massa jenis ditampilkan secara langsung melalui LCD Display 16×2 yang dipasang di sisi luar akrilik.

Penyusunan sistem dilakukan pada media akrilik transparan untuk memastikan alat terlindung dari benturan luar sekaligus memudahkan observasi komponen saat pengoperasian. Kabel *jumper* digunakan untuk menghubungkan masing-masing komponen secara fleksibel, sedangkan catu daya alat berasal dari koneksi USB ke sumber listrik eksternal.

3.3. Pengujian Alat

Setelah alat ukur massa jenis zat cair berbasis Arduino Uno dengan sensor *Load Cell* berhasil dirancang dan dirakit, tahap selanjutnya adalah melakukan serangkaian uji coba untuk memperoleh data terkait kinerja alat. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui sejauh mana tingkat akurasi alat dalam mengukur massa dan massa jenis zat cair dibandingkan dengan nilai referensi. Hasil pengujian ini juga menjadi dasar untuk proses kalibrasi dan penilaian kelayakan alat untuk digunakan.

Hasil data pengukuran pengujian alat yang didapatkan dari alat ini merupakan perbandingan luaran massa jenis alat (ρ_{out}) terhadap massa jenis teoritis (ρ_{teori}). Pengujian alat dilakukan dengan mengukur massa jenis air dan minyak, yang dibandingkan dengan massa jenis secara teoritis yang didapatkan dengan Persamaan (1). Massa dari zat cair diukur dengan neraca analitik yang ada di Laboratorium Material, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Manado, zat cair ditakar dengan volume tertentu lalu ditimbang dengan neraca analitik. Pengukuran manual zat cair (air dan minyak) yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengukuran manual massa zat cair (air dan minyak)

Hasil pengukuran manual menunjukkan bahwa massa air dengan volume 100 ml sebesar 0,0885 kg, sehingga massa jenis air secara teoritis adalah 885 kg/m³. Selanjutnya massa minyak goreng dengan volume 50 ml didapatkan nilai sebesar 0,395 kg, sehingga massa jenis minyak goreng secara teoritis adalah 790 kg/m³.

Hasil data yang didapatkan melalui pengukuran pengujian massa jenis pada alat ditunjukkan oleh Tabel 2. Tabel 2 menyajikan sepuluh kali pengukuran massa jenis air dan minyak goreng dengan volume tetap, masing-masing 200 ml untuk air dan 150 ml untuk minyak. Hasil pengukuran

dibandingkan dengan nilai massa jenis secara teoritis (885 kg/m^3 untuk air dan 790 kg/m^3 untuk minyak goreng).

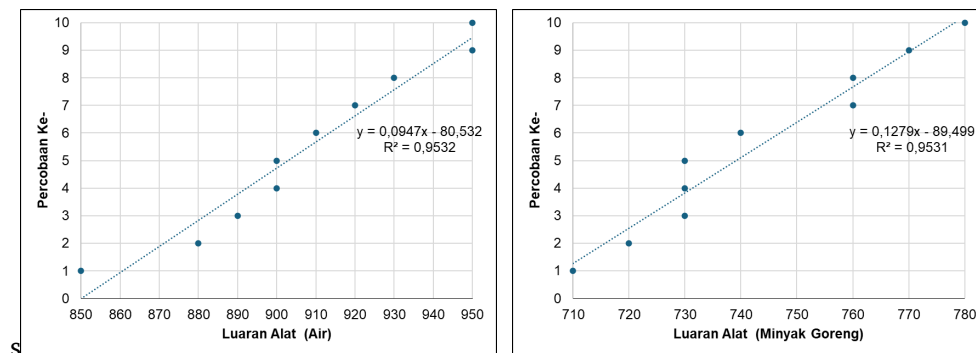
Tabel 2. Data pengukuran pengujian massa jenis

Jenis Zat Cair	Percobaan ke-	ρ_{out} (kg/m^3)	Ketepatan (%)	Galat (%)
Air	1	920	96,05	3,95
	2	900	98,31	1,69
	3	890	99,44	0,56
	4	930	94,92	5,08
	5	910	97,18	2,82
	6	850	96,05	3,95
	7	950	92,66	7,34
	8	880	99,44	0,56
	9	950	92,66	7,34
	10	900	98,31	1,69
Rata-rata		908	96,50	3,50
Minyak	1	730	92,41	7,59
	2	760	96,20	3,80
	3	780	98,73	1,27
	4	770	97,47	2,53
	5	760	96,20	3,80
	6	710	91,14	8,86
	7	730	92,41	7,59
	8	690	89,87	10,13
	9	700	92,41	7,59
	10	740	93,67	6,33
Rata-rata		737	94,05	5,95

Pada pengujian terhadap air, hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai massa jenis alat (ρ_{out}) berkisar antara $850\text{-}950 \text{ kg/m}^3$. Persentase ketepatan berkisar antara $92,66\%$ hingga $99,44\%$, dengan tingkat galat antara $0,56\%$ hingga $7,34\%$. Nilai paling mendekati teoritis terdapat pada percobaan ke-3 dan ke-8, di mana nilai ρ_{out} tercatat 890 dan 880 kg/m^3 dengan galat sebesar $0,56\%$. Sementara itu, nilai galat tertinggi ditemukan pada percobaan ke-7 dan ke-9, yaitu sebesar $7,34\%$. Secara umum, alat menunjukkan performa yang cukup akurat dengan rata-rata galat pengukuran air sebesar $\pm 3,50\%$. Hal ini menunjukkan bahwa alat memiliki kapabilitas dalam mengukur massa jenis air dengan akurasi yang layak untuk keperluan praktikum [25].

Nilai massa jenis minyak hasil pengukuran alat berkisar antara $690\text{-}780 \text{ kg/m}^3$, dengan persentase ketepatan antara $89,87\%$ hingga $98,73\%$. Galat terkecil diperoleh pada percobaan ke-3 sebesar $1,27\%$, sedangkan galat terbesar terjadi pada percobaan ke-8 yaitu sebesar $10,13\%$. Meskipun terdapat beberapa variasi, rata-rata galat pada pengukuran minyak sebesar $\pm 5,94\%$, yang masih dalam batas toleransi untuk eksperimen sederhana di tingkat pendidikan menengah. Nilai ρ_{out} yang cenderung lebih rendah dari nilai referensi kemungkinan disebabkan oleh gaya tekan tidak seragam pada sensor *load cell* atau kestabilan posisi beban dan gelas ukur selama pengambilan data. Hubungan regresi linear antara pengukuran massa jenis air dan minyak didapatkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai massa jenis air yang dihasilkan alat memiliki hubungan yang sangat linier terhadap urutan percobaan. Garis regresi linear yang diperoleh memiliki persamaan $y = 0,0947x - 80,532$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar

0,9532. Nilai R^2 yang tinggi ini menunjukkan bahwa sekitar 95,3% variasi hasil pengukuran massa jenis air dijelaskan secara konsisten oleh model linier, yang mengindikasikan stabilitas alat dalam melakukan pengukuran secara berulang. Artinya, meskipun terdapat fluktuasi kecil antara satu percobaan dengan percobaan lain, alat tetap menunjukkan konsistensi performa yang sangat baik dalam pengukuran air.



Gambar 7. Grafik pengujian alat dengan mengukur massa jenis air dan minyak

Sementara itu, pada pengukuran massa jenis minyak goreng diperlihatkan grafik yang menunjukkan tren yang hampir serupa dengan air, dengan persamaan garis $y = 0,1279x - 89,499$ dan nilai R^2 sebesar 0,9531. Ini berarti sekitar 95,3% variasi hasil pengukuran juga dapat dijelaskan oleh hubungan linier. Hasil ini memperkuat temuan bahwa alat bekerja stabil dan konsisten, baik pada media zat cair dengan massa jenis lebih tinggi (air) maupun lebih rendah (minyak).

Dengan demikian, grafik regresi linear ini menguatkan bahwa alat ukur massa jenis yang dikembangkan mampu memberikan hasil pengukuran yang konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan secara statistik. Nilai R^2 di atas 0,95 pada kedua zat cair mengindikasikan bahwa alat ini telah bekerja dalam rentang kelinieran yang sangat baik, dan layak digunakan untuk mendukung proses pembelajaran konsep massa jenis secara digital dan terintegrasi.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, perakitan, dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa alat ukur massa jenis zat cair digital berbasis Arduino Uno dengan sensor Load Cell dan modul HX711 telah berhasil dikembangkan dan diuji coba dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mengukur massa jenis air dan minyak goreng dengan tingkat ketepatan yang cukup tinggi. Nilai galat rata-rata pada pengukuran air adalah $\pm 3,50\%$ dan pada minyak $\pm 5,94\%$, yang masih berada dalam batas toleransi untuk kebutuhan eksperimen pendidikan. Selain itu, nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9532 untuk air dan 0,9531 untuk minyak menunjukkan bahwa alat memiliki stabilitas dan konsistensi yang sangat baik dalam setiap pengukuran berulang. Alat ini dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran dan praktikum di sekolah, khususnya untuk topik fluida statis dan massa jenis. Penggunaan mikrokontroler Arduino Uno dan sensor *Load Cell* menjadikan alat ini relatif murah, fleksibel, dan mudah dirakit serta dioperasikan.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan dilakukan peningkatan akurasi dengan menyempurnakan proses kalibrasi dan memperhatikan kestabilan posisi beban saat pengukuran. Penambahan sensor volume otomatis seperti sensor ultrasonik juga dapat dipertimbangkan agar pengukuran massa jenis menjadi sepenuhnya otomatis dan lebih efisien. Uji coba lebih lanjut dengan

jenis zat cair yang lebih beragam serta pengujian dalam kondisi lingkungan berbeda juga diperlukan guna meningkatkan keandalan alat ini di berbagai konteks pembelajaran.

Daftar Pustaka

- [1] Hidayat R and Abdillah 2019 *Ilmu Pendidikan “Konsep, Teori dan Aplikasinya”* ed C Wijaya and Amiruddin (Medan: Lembaga Peduli Pengembangan Pendidikan Indonesia (LPPPI))
- [2] Pristiwanti D, Badariah B, Hidayat S and Dewi R S 2022 Pengertian Pendidikan *Jurnal Pendidikan dan Konseling* **4** 7911–5
- [3] Oktaviana V, Hakim Y Al and Pratiwi U 2019 Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Aliran Udara Berbasis Arduino Sebagai Media Pembelajaran Fisika *Edusaintek* 641–9
- [4] Pokhrel S 2024 RANCANG BANGUN ALAT EKSPERIMEN MASSA JENIS BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN SENSOR LOAD CELL DAN ULTRASONIK HC-SR04 *Ayan* **15** 37–48
- [5] Astuti I A D 2016 Pengembangan Alat Eksperimen Cepat Rambat Bunyi Dalam Medium Udara Dengan Menggunakan Metode Time of Flight (Tof) Dan Berbantuan Software Audacity *Unnes Physics Education Journal* **5** 18–24
- [6] Azizah N H, Yuliati L and Parno P 2023 Penguasaan Konsep Siswa Kelas Xi Mipa Pada Materi Fluida Statis Dalam Model Problem Based Online Learning Menggunakan Gnomio *Jurnal Pendidikan Fisika* **11** 143
- [7] Giancoli D C 2014 *Physics Principles with Application 7th Edition* vol 1
- [8] Juliyanto E, Rofingah J, Sejati A F and Hakim F N 2016 Menentukan Tegangan Permukaan *Jurnal Kajian Pendidikan Sains* **2** 176–86
- [9] Astiti K A and Yusuf Y H Muh 2018 Pengaruh Penggunaan Bahan Ajar Berbasis Kontekstual Terhadap Peningkatan Pemahaman Konsep Fisika Siswa Materi Suhu Dan Kalor *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya* 185–92
- [10] Neizhela A, Fisika J, Matematika F and Pengetahuan I 2015 Meningkatkan Hasil Belajar Melalui Pendekatan Kontekstual Dengan Metode Think Pair Share Materi Kalor Pada Siswa SMP *Unnes Physics Education Journal* **4** 36–42
- [11] Wea K N, Hau R R H and Kleruk E D 2021 Penerapan Metode Pembelajaran Inkuiri Terbimbing dengan Mind Mapping untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Fisika Siswa *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* **7** 770–4
- [12] Rahman D, Adlim and Mustanir 2015 Analisis Kendala Dan Alternatif Solusi Terhadap Pelaksanaan Praktikum Kimia Pada Slta Negeri Kabupaten Aceh Besar *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia* **03** 1–13
- [13] Candra R and Hidayati D 2020 Penerapan Praktikum dalam Meningkatkan Keterampilan Proses dan Kerja Peserta Didik di Laboratorium IPA *Edugama: Jurnal Kependidikan dan Sosial Keagamaan* **6** 26–37
- [14] Sudibyo M I, Fitriyah H and Maulana R 2019 Alat Pengukur Berat Badan dan Tinggi Badan Terkomputerisasi berbasis Wireless, Arduino, Sensor Load Cell, dan Ultrasonic *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* **3** 8351–60

- [15] Nikmah N A, Karima F Z, Bachtiar M Y, Nazzala C O, Nikmah S A, Arimurti H K and Saputra A B M 2025 Praktikum Pengukuran: Menerapkan Konsep Besaran dan Satuan Pada Benda Beraturan dan Tidak Beraturan *Journal of Health, Education, Economics, Science, and Technology (J-HEST)* **7** 74–9
- [16] Rohmantika N and Pratiwi U 2022 Pengaruh Metode Eksperimen Dengan Model Inkuiri çTerbimbing Terhadap Kemampuan Berpikir Kreatif Peserta Didik Pada Pembelajaran Fisika *Lontar Physics Today* **1** 9–17
- [17] Festiana I 2018 Perkembangan Eksperimen Fisika Ditinjau dari Filsafat Sains *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah)* **2** 14–20
- [18] Rika Widianita D 2023 RANCANG BANGUN ALAT PEMBERSIH PANEL SURYA OTOMATIS MENGGUNAKAN WIPER BERBASIS ARDUINO UNO *AT-TA WASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam* **VIII** 1–19
- [19] Pokhrel S 2024 RANCANG BANGUN ALAT EKSPERIMEN MASSA JENIS BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN SENSOR LOAD CELL DAN ULTRASONIK HC-SR04 *Ayan* **15** 37–48
- [20] Mufarrih A, Harijono A, Qosim N and Gumono 2022 Pelatihan Penggunaan Jangka Sorong Siswa Madrasah Aliyah Singosari *Jurnal Pengabdian Masyarakat* **1** 1156–63
- [21] Waruwu M 2024 Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan* **9** 1220–30
- [22] Sugiyono 2019 *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D (23rd ed.)* (Alfabeta)
- [23] Morris A S 2001 Measurement and Instrumentation Principles *Meas Sci Technol* **12**
- [24] Kutner M H ., Nachtsheim Chris, Neter John and Li William 2005 *Applied linear statistical models* (McGraw-Hill Irwin)
- [25] Zulensi F C, Anas A A, Wilza R, Rizal S and Sundari E 2025 Pengembangan Alat Praktikum Fisika Gaya Gesek Pada Bidang Miring Berbasis Internet Of Things *Machinery Jurnal Teknologi Terapan* **6** 66–78