

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR VISKOSITAS CAIRAN BERBASIS
ARDUINO DENGAN METODE BOLA JATUH**

SKRIPSI

Oleh:
ALFI AMRU RAMADHANI
NIM. 200604110048



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PENGAJUAN

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR VISKOSITAS CAIRAN BERBASIS
ARDUINO DENGAN METODE BOLA JATUH**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
ALFI AMRU RAMADHANI
NIM. 200604110048**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN ALAT UKUR VISKOSITAS CAIRAN BERBASIS
ARDUINO DENGAN METODE BOLA JATUH

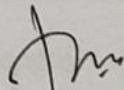
SKRIPSI

Oleh:

Alfi Amru Ramadhani
NIM. 200604110048

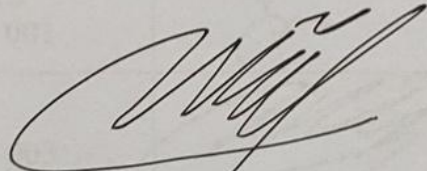
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 12 Juni 2026

Pembimbing I



Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

Pembimbing II



Rusli, M.Si
NIP. 19880715 202012 1 003

Mengetahui
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN ALAT UKUR VISKOSITAS CAIRAN BERBASIS ARDUINO DENGAN METODE BOLA JATUH

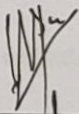
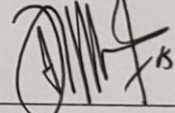
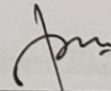
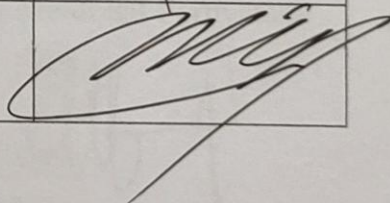
SKRIPSI

Oleh:

ALFI AMRU RAMADHANI

NIM. 200604110048

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 18 Juni 2026

Penguji Utama :	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIP. 19870215 202321 2 031	
Ketua Penguji :	<u>Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si</u> NIP. 19930617 202012 2 003	
Sekretaris Penguji :	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji :	<u>Rusli, M.Si</u> NIP. 19880715 202012 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : ALFI AMRU RAMADHANI
NIM : 200604110048
Program Studi : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : RANCANG BANGUN ALAT UKUR VISKOSITAS
CAIRAN BERBASIS ARDUINO DENGAN METODE
BOLA JATUH

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 26 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan



Alfi Amru Ramadhani
NIM. 200604110048

MOTTO

**“Selesaikan saja yang sudah dimulai, agar hati mu tenang, jiwa mu damai
dan raga mu sehat”**

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya serta memberikan nikmat sehat, kesabaran, pendidikan, dan ilmu pengetahuan sehingga tulisan ini dapat diselesaikan. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa cahaya kebenaran dan menerangi hati kita dengan perbuatan mulia.

Tulisan ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta saya, Bapak Bari Wahyono dan Ibu Risdiyanti Widyaningsih, yang doanya tidak pernah putus di setiap sujud dan waktu-waktu mustajabnya. Terima kasih untuk tetes keringat yang menjadi biaya perjuanganku, untuk kasih sayang yang tiada batas, dan untuk segala pengorbanan serta kesabaran yang tidak akan pernah cukup terbalas oleh kata-kata. Semoga Allah SWT senantiasa menjaga dan merahmati kalian di dunia hingga akhirat kelak.
2. Adik saya terkasih Fauzan, terima kasih untuk dukungan yang diberikan baik melalui canda atau pun memberikan cemilan.
3. Seluruh keluarga saya yang selalu mendoakan, memotivasi dan memberikan semangat menyelesaikan tulisan ini.
4. Kepada dosen pembimbing, Bapak Farid Samsu Hananto, M.T dan Bapak Rusli, M.Si, serta dosen penguji Ibu Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si dan Ibu Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si, yang dengan penuh kesabaran telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan ilmunya sehingga skripsi ini dapat terealisasi dengan baik. Semoga setiap ilmu yang diberikan menjadi amal jariyah yang terus mengalir.

5. Kepada sahabat-sahabat saya Si Meng, Puyu, Salsa, Daplek, dan yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terima kasih untuk doa, dukungan, dan semangat yang kalian berikan selama masa penyusunan skripsi ini.
6. Alfi Amru Ramadhani, yang tak lain adalah diri saya sendiri terima kasih sudah berusaha menyelesaikan apa yang sudah dimulai. Semoga ilmu mu bermanfaat dimana pun dirimu berada. Tak lupa ucapkan terima kasih pada Si Levi, motor beat biru putih.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Alat Ukur Viskositas Cairan Berbasis Arduino Dengan Metode Bola Jatuh”. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia menuju peradaban yang penuh cahaya, yakni *Addinul Islam Wal Iman*.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si, CAHRM., CRMP selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T selaku Ketua PROGRAM STUDI Fisika PROGRAM STUDI Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, kesabaran dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.
4. Rusli, M.Si selaku Dosen pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam bidang integrasi sains dan Al-Quran.

5. Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si dan Fikriyatul Azizah Su'ud, M.Si selaku penguji skripsi yang telah menemani dan membantu penyempurnaan penulisan skripsi dengan baik.
6. Segenap dosen, Laboran dan Admin PROGRAM STUDI Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
7. Bapak, Ibu, adik serta keluarga di rumah yang selalu memberi doa dan dukungan, baik riil maupun materiil selama proses penelitian.
8. Teman-teman angkatan 2020, yang senantiasa mendukung dan memberikan masukan terkait proses penyusunan skripsi.
9. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 26 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
المخلص	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Viskositas Cairan.....	6
2.1.1 Viskositas	6
2.1.2 Cairan	8
2.2 Arduino.....	10
2.3 Metode Bola Jatuh.....	12
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Jenis Penelitian	15
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	16
3.5 Diagram Alir	17
3.6 Desain Rancangan Keseluruhan.....	18
3.7 Pengambilan Data	18
3.8 Pengolahan Data.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Data Hasil Penelitian	21
4.1.1 Pembuatan Alat	21
4.1.2 Pengujian Akurasi dan Presisi Rangkaian Sistem	28
4.2 Pembahasan	32
4.3 Integrasi Penelitian dengan AL-Qur'an	35

BAB V PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Papan Arduino.....	11
Gambar 2. 2 Sensor Reed Switch.....	12
Gambar 2. 3 Gaya Bola Jatuh	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Waktu.....	18
Gambar 4. 1 Diagram Kerja Rangkaian Alat.....	22
Gambar 4. 2 Deklarasi Library, PIN, dan Variasi Global.....	24
Gambar 4. 3 Fungsi handleInput() untuk Pemrosesan Keypad.....	25
Gambar 4. 4 Fungsi setup() untuk Inisialisasi Sistem.....	25
Gambar 4. 5 Logika Input Parameter Massa, Jari-jari, dan Massa Jenis	26
Gambar 4. 6 Deteksi Sensor dan Perhitungan Waktu Tempuh Bola Jatuh.....	27
Gambar 4. 7 Perhitungan Viskositas.....	27
Gambar 4. 8 Penampilan Hasil pada LCD dan Serial Monitor Arduino IDE.....	28

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino UNO R3	11
Tabel 3. 1 Alat dan bahan penelitian.....	16
Tabel 3. 2 Rencana Data Hasil Pengukuran Viskositas	19
Tabel 3. 3 Rencana Data Hasil Kalibrasi Viskositas.....	20
Tabel 4. 1 Pin out Arduino Uno dengan Sensor Mini reed switch Atas	23
Tabel 4. 2 Pin out Arduino Uno dengan Sensor Mini reed switch Bawah	23
Tabel 4. 3 Pin Out Arduino Uno dengan LCD.....	23
Tabel 4. 4 Pin Out Arduino Uno dengan Keypad 4X4	23
Tabel 4. 5 Pin Out Arduino Uno dengan Breadboard.....	23
Tabel 4. 6 Data Hasil Viskositas Air Sebelum Kalibrasi	28
Tabel 4. 7 Data Hasil Viskositas Gliserin Sebelum Kalibrasi	29
Tabel 4. 8 Data Hasil Viskositas Minyak Sebelum Kalibrasi.....	29
Tabel 4. 9 Faktor Koreksi Kalibrasi	30
Tabel 4. 10 Data Hasil Viskositas Air Sesudah Kalibrasi.....	31
Tabel 4. 11 Data Hasil Viskositas Gliserin Sesudah Kalibrasi	31
Tabel 4. 12 Data Hasil Viskositas Minyak Goreng Sesudah Kalibrasi	31
Tabel 4. 13 Data Hasil Perhitungan Standar Deviasi, Akurasi, Dan Presisi.....	32

ABSTRAK

Ramadhani, Alfi Amru. 2026. **Rancang Bangun Alat Ukur Viskositas Cairan Berbasis Arduino dengan Metode Bola Jatuh**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, S.Si, M.T (II) Rusli, M.Si

Kata Kunci: Viskositas, Arduino Uno, Metode Bola Jatuh, *Mini reed switch*, Hukum Stokes

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan mengetahui karakteristik alat ukur viskositas cairan otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno menggunakan metode bola jatuh (Hukum Stokes). Pengembangan alat ini dilakukan melalui metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE untuk mengatasi kelemahan pengukuran manual menggunakan stopwatch yang rentan terhadap *human error*. Sistem yang dibangun menggunakan dua buah sensor *mini reed switch* untuk mendeteksi waktu tempuh bola feromagnetik dengan input parameter melalui keypad 4×4 dan LCD sebagai penampil hasil. Pengujian dilakukan pada tiga sampel cairan (air, minyak dan gliserin). Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan kalibrasi dengan faktor koreksi, alat ini mampu bekerja dengan baik pada cairan berviskositas menengah hingga tinggi. Alat ini menghasilkan rata-rata akurasi sebesar 95% dan error 5%. Akurasi tertinggi dicapai oleh minyak goreng, sedangkan akurasi terendah pada air akibat sensitivitas pergerakan bola terhadap gangguan mekanik kecil pada cairan berviskositas rendah.

ABSTRACT

Ramadhani, Alfi Amru. 2026. **Design and Construction of an Arduino-Based Liquid Viscosity Measuring Device Using the Falling Ball Method..** Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor: (I) Farid Samsu Hananto, S.Si, M.T (II) Rusli, M.Si

Keywords: Viscosity, Arduino Uno, Falling Ball Method, *Mini reed switch*, Stokes' Law

This research aims to design, build, and determine the characteristics of an automatic liquid viscosity meter based on the Arduino Uno microcontroller using the falling ball method (Stokes' Law). The development of this tool was carried out through a Research and Development (R&D) method using the ADDIE model to overcome the weaknesses of manual measurements using a stopwatch, which are prone to human error. The system uses two *mini reed switch* sensors to detect the travel time of the ferromagnetic ball, with parameter input via a 4×4 keypad and an LCD to display the result. Tests were conducted on three fluid samples (water, oil, and glycerin). The result showed that after calibration with correction factors, the device performed well on medium to high viscosity fluids. The device achieved an average accuracy of 95% and 5% error. The highest accuracy was achieved by cooking oil, while the lowest accuracy was obtained for water due to the sensitivity of the ball movement to small mechanical disturbances in low-viscosity fluids.

الملخص

رمضاني، ألفي عمرو. ٢٠٢٦. تصميم وبناء مقياس لزوجة سائل قائم على أردوينو باستخدام طريقة الكرة الساقطة. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا في جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفة: (I) فريد سامسو هانانتو، بكالوريوس، ماجستير، (II) روسلي، الماجستير

الكلمات الرئيسية: اللزوجة، أردوينو أونو، طريقة الكرة الساقطة، مفتاح ريد صغير، قانون ستوكس

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وبناء وتحديد خصائص جهاز قياس لزوجة السوائل الأوتوماتيكي الدقيق وطريقة الكرة الساقطة (قانون ستوكس). تم تطوير هذا Arduino Uno باستخدام متحكم للتغلب على نقاط ADDIE باستخدام نموذج (R&D) الجهاز من خلال منهجية البحث والتطوير ضعف القياسات اليدوية باستخدام ساعة الإيقاف، والتي تتأثر بالخطأ البشري. يستخدم النظام المُصمم مستشعرين صغيرين من نوع مفتاح القصب لقياس زمن انتقال كرة مغناطيسية حديدية، مع إدخال أُجريت الاختبارات على LCD. وعرض النتائج على شاشة 4xالمعلومات عبر لوحة مفاتيح 4 ثلاث عينات سائلة (الماء والزيت والجلسرين). (أظهرت النتائج أنه بعد المعايرة باستخدام معامل تصحيح، يعمل هذا الجهاز بكفاءة مع السوائل متوسطة إلى عالية اللزوجة. حقق الجهاز دقة متوسطة قدرها 95 % ونسبة خطأ 5 %. سُجلت أعلى دقة مع زيت الطهي، بينما سُجلت أدنى دقة مع الماء وذلك بسبب حساسية حركة الكرة للاضطرابات الميكانيكية الطفيفة في السوائل منخفضة اللزوجة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Viskositas zat cair adalah tingkat kekentalan zat cair sebagai akibat gesekan yang ditimbulkan oleh bagian cairan tersebut atau benda padat yang bergerak di dalamnya. Semakin tinggi kekentalan (viskositas) zat cair maka semakin sulit dan lambat pergerakan terjadi, sebaliknya semakin rendah kekentalannya maka semakin mudah dan cepat pergerakan terjadi (Lubis, 2018). Koefisien viskositas merupakan salah satu sifat yang dimiliki oleh material fluida yang menunjukkan tingkat kekentalan suatu zat (Malik et al., 2019).

Viskositas zat cair dapat diukur dengan metode bola jatuh (Dey et al., 2019). Metode bola jatuh adalah salah satu metode sederhana yang digunakan untuk mengukur viskositas cairan, dengan cara menjatuhkan bola ke dalam cairan dan mengukur waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai kedalaman tertentu. Konsep perhitungan waktu merupakan pengukuran sederhana dengan menggunakan Hukum Stokes (Suari, 2017).

Metode bola jatuh merupakan metode yang banyak digunakan dalam pengukuran viskositas karena prinsip kerjanya sederhana dan biaya implementasinya relatif rendah. Pada pelaksanaan praktikum maupun pengukuran secara manual, waktu tempuh bola umumnya masih diukur menggunakan stopwatch. Pengukuran manual tersebut bergantung pada kecepatan respon pengamat saat memulai dan menghentikan pencatatan waktu sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan manusia. Kesalahan pengukuran waktu tersebut

berpengaruh langsung terhadap nilai viskositas yang dihitung menggunakan Hukum Stokes.

Pengukuran viskositas secara manual juga cenderung kurang efisiensi karena proses pencatatan dan perhitungan dilakukan secara terpisah. Kondisi tersebut menyebabkan hasil pengukuran menjadi kurang konsisten, terutama pada cairan dengan viskositas rendah yang memiliki waktu tempuh bola sangat singkat. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengukuran otomatis yang mampu mendeteksi waktu tempuh bola secara akurat dan menghitung nilai viskositas secara langsung untuk meminimalkan kesalahan pengukuran.

Allah telah menetapkan aturan dan proporsi yang tepat pada semua ciptaan-Nya, termasuk dalam hal ukuran dan takaran. Hal ini menciptakan keteraturan dan keseimbangan yang penting dalam kehidupan. Di alam semesta, benda langit bergerak sesuai dengan orbitnya, yang ditentukan oleh ukuran mereka agar tidak terjadi tabrakan. Hal serupa juga terjadi pada zat cair, di mana ukuran partikelnya memengaruhi kekentalannya. Contohnya, air memiliki viskositas yang rendah sehingga mudah diserap oleh tubuh makhluk hidup, yang sangat berguna bagi kelangsungan hidup mereka. Sesuai dengan firman Allah dalam Surat Al-Mu'minun ayat 18:

وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ فَأَسْكَنْتَهُ فِي الْأَرْضِ وَإِنَّا عَلَىٰ ذَهَابٍ بِهِ لَقَادِرُونَ ﴿١٨﴾

Artinya: Kami turunkan air dari langit dengan suatu ukuran. Lalu, Kami jadikan air itu menetap di bumi dan sesungguhnya Kami Mahakuasa melenyapkannya.

Ayat ini menggambarkan salah satu proses alamiah yang diciptakan oleh Allah SWT, yaitu turunnya hujan dari langit dan penyerapan air ke dalam tanah. Proses ini merupakan contoh konkret dari aliran cairan dan pergerakan partikel dalam alam. Dalam konteks pengembangan alat ukur viskositas cairan, ayat ini

mengingatkan kita akan keagungan penciptaan Allah dalam menciptakan sistem alam yang teratur dan kompleks, yang dapat menjadi inspirasi bagi manusia dalam mengembangkan teknologi untuk memahami dan mengukur sifat-sifat cairan, termasuk viskositasnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Jumianto et al., (2014) telah dilakukan metode bola jatuh menggunakan sensor *proximity* sebagai detektor pencatat waktu jalannya bola yang kemudian diolah melalui *Labview* pada penelitian “Rancang Bangun Alat Ukur Viskositas Dalam Rangka Pengembangan Modul Praktikum Fisika Dasar” sesuai dengan pelaksanaan percobaan Hukum Stokes (Viskositas), pencacah waktu pada prototipe ini dilakukan secara otomatis sehingga meminimalisir kesalahan pengukur. Perbedaan penggunaan sensor pada pengembangan yang dilakukan Boimau & Melli, (2020) “Rancang Bangun Alat praktikum Viskometer Berbasis Arduino” menggunakan sensor IR sebagai pendeteksi bola pejal jatuh, menerapkan prinsip Hukum Stokes dengan pemanfaatan pesawat Atwood dan hukum-hukum Newton. Maka, variabel utama yang diukur adalah waktu tempuh bola pejal. Proses ini dimulai dari bola pejal melewati sensor IR pertama yang kemudian dihitung oleh waktu arduino dan berhenti pada saat bola pejal melewati sensor IR kedua.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu alat ukur viskositas cairan yang mampu melakukan pengukuran waktu tempuh bola secara otomatis untuk mengurangi *human error* dan meningkatkan efisiensi pengukuran. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan alat ukur viskositas cairan berbasis Arduino Uno menggunakan metode bola jatuh dan sensor *mini reed switch* sebagai pendeteksi waktu tempuh bola. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mengukur

waktu secara otomatis, tetapi juga menghitung nilai viskositas secara langsung berdasarkan Hukum Stokes sehingga diharapkan mampu menghasilkan pengukuran yang lebih akurat dan konsisten.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana rancangan alat ukur viskositas cairan berbasis Arduino dengan metode bola jatuh?
2. Bagaimana karakteristik dari alat ukur viskositas cairan berbasis Arduino dengan metode bola jatuh?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk membuat rancangan alat ukur viskositas cairan berbasis Arduino dengan metode bola jatuh.
2. Untuk mengetahui karakteristik dari alat ukur viskositas cairan berbasis Arduino dengan metode bola jatuh.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah semakin efektif dan efisiensinya alat ukur viskositas metode bola jatuh. Dengan memanfaatkan pendekatan berbasis Arduino dan metode bola jatuh, alat yang dirancang memperkenalkan pengembangan inovasi dengan integrasi pengukuran waktu.

1.5. Batasan Masalah

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno R3 ATMG328-SMD.

2. Sensor yang digunakan adalah sensor *mini reed switch*
3. Pembuatan alat berfokus pada nilai viskositas
4. Metode yang digunakan dalam pengambilan data menggunakan hukum Stokes
5. Karakteristik yang diteliti adalah akurasi, presisi dan *error* pengukuran
6. Variasi yang dipakai adalah massa jenis cairan yang berbeda dari air, minyak goreng tropical dan gliserin

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Viskositas Cairan

2.1.1 Viskositas

Viskositas adalah ukuran hambatan suatu fluida untuk mengalir (Chang, 2005). Fluida adalah zat yang dapat mengalir dan tidak memiliki bentuk tetap, tetapi menyesuaikan dengan bentuk wadahnya. Fluida terbagi menjadi dua jenis, yaitu cairan dan gas. Ciri utama fluida adalah kemampuannya untuk mengalami deformasi secara terus-menerus saat dikenai gaya geser kecil (White, 2016). Viskositas suatu zat cair merupakan ukuran kekentalan zat cair yang dapat mempengaruhi pergerakan partikel di dalamnya. Koefisien viskositas merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kekentalan zat cair (Boimau & Mello, 2020). Semakin tinggi kekentalan (viskositas) suatu zat cair maka semakin sulit dan lambat pergerakan, sebaliknya semakin rendah nilai viskositas maka pergerakan semakin mudah dan cepat (Lubis, 2018).

Dalam Sistem Internasional (SI), viskositas dinyatakan dalam satuan Pascal-detik ($\text{Pa}\cdot\text{s}$), sedangkan dalam sistem CGS umumnya digunakan satuan poise (P) dan *centipoise* (cP). Hubungan konversi yang sering digunakan adalah $1 \text{ P} = 0,1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ dan $1 \text{ cP} = 0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Nilai viskositas suatu fluida sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Salah satunya adalah suhu: pada cairan, peningkatan suhu menyebabkan viskositas menurun karena energi kinetik molekul meningkat, sehingga gaya antar molekul melemah. Sebaliknya, viskositas gas cenderung meningkat dengan kenaikan suhu akibat meningkatnya frekuensi tumbukan antar

partikel. Selain suhu, tekanan juga memengaruhi viskositas, meskipun pada cairan pengaruhnya relatif kecil kecuali dalam kondisi tekanan tinggi. Pada gas, perubahan tekanan dapat memberikan dampak yang lebih nyata, terutama dalam kondisi ekstrem. Faktor lain yang turut berperan adalah komposisi kimia fluida. Penambahan zat terlarut seperti gula atau garam ke dalam pelarut dapat meningkatkan viskositas karena terjadi peningkatan interaksi antar partikel di dalam larutan (Çengel & Cimbala, 2014).

Fenomena viskositas menunjukkan adanya keteraturan dan hukum alam yang pasti dalam perilaku fluida. Keteraturan tersebut selaras dengan pandangan islam yang menyatakan bahwa alam semesta diciptakan dalam keadaan seimbang dan teratur, sebagaimana dijelaskan dalam QS Al-Mulk ayat 3:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَا تَرَى فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِنْ تَفَوُّتٍ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَى
مِنْ فُتُورٍ ﴿٣﴾

Artinya: (Dia juga) yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Kamu tidak akan melihat pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih ketidakseimbangan sedikit pun. Maka, lihatlah sekali lagi! Adakah kamu melihat suatu cela?

Menurut Quraish Shihab dalam tafsir Al-Mishbah, ayat ini menegaskan bahwa seluruh ciptaan Allah SWT tersusun secara rapi, seirama, dan mengikuti hukum yang tetap. Tidak adanya *tafāwut* (ketidak seimbangan atau ketidakteraturan) menunjukkan bahwa alam semesta berjalan berdasarkan sistem dan ketentuan konsisten, yang dapat diamati dan dipelajari oleh manusia melalui ilmu pengetahuan. Keteraturan tersebut bukan hanya berlaku pada struktur makrokosmos, tetapi juga pada fenomena alam yang bersifat mikroskopis dan fisis (Shihab, 2002).

Ilmu fisika fluida menjelaskan konsep viskositas menggambarkan keteraturan tersebut melalui perilaku aliran zat cair yang selalu mengikuti hukum-

hukum tertentu. Setiap fluida memiliki nilai viskositas yang berbeda, tetapi tetap konsisten dan dapat diukur secara kuantitatif. Hal ini menunjukkan tidak adanya ketidakaturan dalam sifat fluida, sebagaimana dijelaskan dalam QS AL-Mulk ayat 3 bahwa ciptaan Allah SWT bebas dari ketidakseimbangan. Dengan demikian, pengukuran viskositas merupakan salah satu bentuk pengamatan terhadap keteraturan dan kesempurnaan hukum alam yang telah ditetapkan oleh Allah SWT.

2.1.2 Cairan

Cairan merupakan salah satu wujud zat yang memiliki volume tetap namun bentuknya mengikuti wadah yang ditempatinya. Molekul-molekul dalam cairan lebih bebas bergerak dibandingkan zat padat, namun tetap memiliki gaya tarik-menarik antar molekul. Salah satu sifat penting yang dimiliki cairan adalah viskositas, yaitu ukuran dari hambatan internal suatu cairan terhadap aliran atau deformasi (White, 2016).

Air merupakan cairan polar yang secara luas digunakan sebagai standar dalam pengukuran viskositas karena kestabilan sifat fisiknya dan kemudahan perolehannya. Air memiliki viskositas yang rendah, sehingga gaya resistif terhadap benda yang bergerak di dalamnya relatif kecil. Hal ini membuat air sangat sesuai digunakan sebagai acuan dalam metode bola jatuh, terutama untuk menguji kecepatan respon sensor dan akurasi sistem mikrokontroler seperti Arduino. Berdasarkan penelitian oleh Sulistyaningsih et al., (2019), viskositas air yang diukur menggunakan metode aliran kapiler pada suhu sekitar 20 °C adalah sebesar $(1,070 \pm 0,006) \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ atau sekitar 1,07 mPa·s. Hasil ini masih sejalan dengan standar internasional dari NIST yang melaporkan nilai viskositas air sebesar 0,8937 mPa·s pada suhu 25 °C. Massa jenis air sendiri berada pada kisaran

997 kg/m³ pada suhu 25 °C. Dengan karakteristik tersebut, air tidak hanya mudah digunakan dalam kalibrasi, tetapi juga memungkinkan analisis presisi dari sistem pengukuran berbasis sensor.

Gliserin, atau gliserol, adalah senyawa cairan kental yang bersifat higroskopis, artinya mudah menyerap uap air dari udara sekitarnya. Gliserin digunakan secara luas dalam industri farmasi, makanan, kosmetik, dan kimia. Pada suhu 25°C, gliserin memiliki massa jenis sekitar 1260 kg/m³ dan viskositas dinamis sebesar 0,945 Pa·s atau 945 mPa·s (Haynes, 2016). Viskositas yang sangat tinggi membuat gliserin lambat mengalir, dan dalam percobaan bola jatuh, bola akan memerlukan waktu yang jauh lebih lama untuk mencapai dasar tabung. Gliserin tidak berwarna, agak manis, dan larut dengan sangat baik dalam air. Karena kekentalannya, gliserin sangat cocok digunakan sebagai sampel cairan untuk menguji sensitivitas dan akurasi alat viskometer terhadap cairan dengan viskositas tinggi.

Minyak goreng tropis-terutama minyak sawit, kelapa, dan campuran alami umumnya bersifat Newtonian, dengan viskositas yang memengaruhi aliran fluida secara langsung. Berdasarkan penelitian oleh Nasir (2020), viskositas minyak kelapa sebesar 0,5178 Pa.s tercatat lebih rendah dibandingkan minyak sawit bermerek yang memiliki viskositas sebesar 0,5515 Pa.s, yang menunjukkan aliran minyak kelapa cenderung lebih lancar. Selain itu, Damayanti et al., (2018) menggunakan metode bola jatuh untuk mengamati pengaruh suhu terhadap viskositas minyak goreng kemasan dan menemukan bahwa peningkatan suhu menyebabkan penurunan viskositas secara signifikan, sesuai dengan teori penurunan kohesi molekul pada suhu tinggi. Sementara itu, Pratiwi & Luthfia,

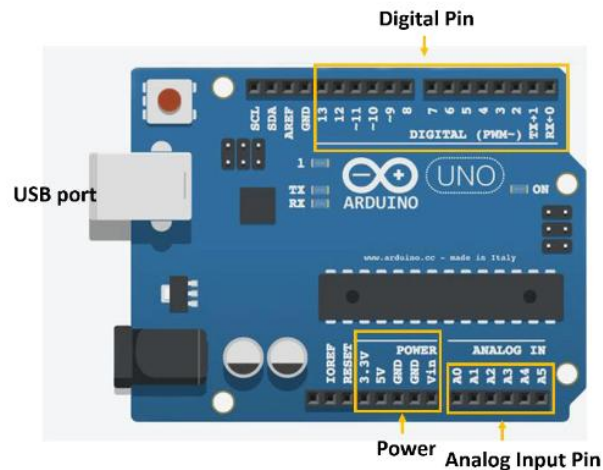
(2023) mengembangkan sistem pengukuran viskositas berbasis Arduino menggunakan sensor *mini reed switch*, dan mendapatkan hasil pengukuran viskositas minyak baru sebesar 3,18 Pa·s dan minyak bekas sebesar 2,84 Pa·s dengan tingkat akurasi sebesar $\pm 7,4\%$ terhadap alat konvensional. Di sisi lain, Ulva & Ningdayati, (2022) dalam kajiannya terhadap minyak nabati lokal (kelapa, kemiri, urang-aring) menemukan bahwa viskositas berada pada rentang 0,07–0,21 Pa·s, dengan minyak kelapa memiliki nilai tertinggi di antara jenis minyak lainnya.

2.2 Arduino

Arduino merupakan papan pengendali mikro yang bersifat *open source* berbasis Atmega328. Arduino terdiri dari beberapa komponen, yaitu 14 pin digital input/output (6 diantaranya dapat digunakan untuk output PWM) yang berfungsi sebagai pembagi tegangan kurang dari 0,8 Volt akan terbaca LOW dan tegangan dari 2 Volt akan terbaca HIGH, 6 buah analog input berfungsi sebagai pembaca nilai tegangan 0-5 Volt, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, sebuah ISCP header, dan tombol reset (Pratidhina et al., n.d.). Arduino beroperasi menggunakan komputer/PC dan Software Arduino (IDE) yang mendukung bahasa pemrograman C dan C++ atau menggunakan *Stratch fo Arduino* atau *Common-Coding* yang menggunakan pemrograman berbasis blok/gambar.

Prinsip kerja Arduino yaitu ketika Arduino dihubungkan dengan komponen input berupa sensor akan dilakukan pembacaan atau pengukuran data, kemudian dikirimkan ke pin input Arduino. Data di pin input akan masuk ke mikrokontroler atau inti Arduino masuk pada tahap pemrosesan oleh program yang telah diberikan. Untuk memberikan perintah pada mikrokontroler Arduino,

menggunakan bahasa pemrograman C dan melalui Software Arduino IDE. Tahap selanjutnya yaitu dikirim data hasil proses ke pin output untuk disalurkan pada komponen output seperti *relay*, lampu LED, *buzzer*, dan sebagainya (Razor, 2021).



Gambar 2. 1 Papan Arduino

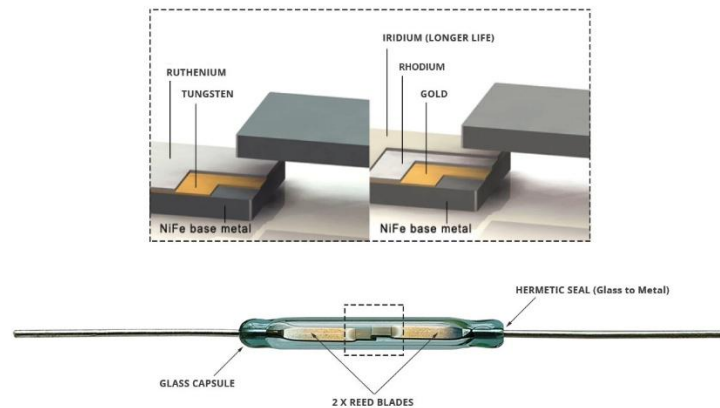
Berikut merupakan deskripsi bagian – bagian Arduino UNO R3 menurut (Prasetyo, 2014):

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino UNO R3

Papan	Nama	Arduino UNO R3
Mikrokontroler	Atmega328P	
Konektor USB	USB-B	
Pin	Pin I/O Digital	14
	Pin LED bawaan	13
	Pin masukan analog	6
	Pin PWM	6
Kekuatan	Tegangan I/O	5V
	Tegangan masukan (nominal)	7-12V
	Arus DC per Pin I/O	20mA
Kecepatan Jam	16 MHz	
Penyimpanan	Atmega328P	SRAM 2KB, FLASH 32 KB, EEPROM 2 KB
Ukuran	Berat	25 g
	Lebar	53,4 mm
	Panjang	68,6 mm

Mini reed switch adalah sakelar listrik kecil yang dioperasikan oleh medan magnet. Sensor ini terdiri dari dua bilah logam feromagnetik yang dipisahkan jarak

kecil tertutup dalam kapsul kaca (Romadhon, 2019). Prinsip kerja dari sensor ini menggunakan magnet didekatkan, kedua bilah akan termagnetisasi dan saling tarik-menarik hingga bersentuhan, sehingga menutup sirkuit listrik (ON). Saat magnet dijauhkan, bilah-bilah akan kehilangan sifat magnetnya dan kembali terpisah, memutus sirkuit (OFF) (Julie, 2020).



Gambar 2. 2 Sensor Reed Switch

2.3 Metode Bola Jatuh

Ketika bola dijatuhkan ke dalam fluida, terdapat tiga gaya yang bekerja yaitu gaya apung (F_A), gaya gesek antar bola dan fluida (F_s), dan gaya berat (w). Maka dapat dirumuskan berdasarkan Hukum I Newton yang mengatakan bahwa percepatan benda nol jika gaya total atau resultan gaya yang bekerja tersebut juga nol (Hartono & Praharto, 2021). Menurut Stokes, aliran fluida yang terhalang oleh permukaan sferis yang bergerak di dalam fluida diam akan mendapatkan gaya gesek yang besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F = 6\pi\eta r v \quad (2.1)$$

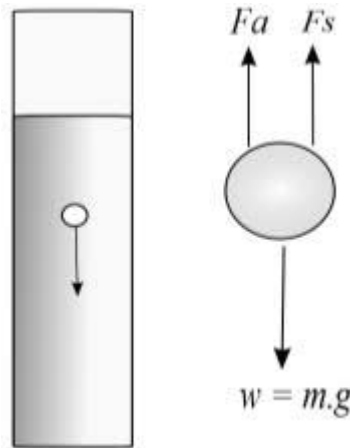
dengan:

v = kecepatan aliran atau kecepatan bola (m/s)

η = kekentalan (viskositas) (Pa.s)

R = jari-jari permukaan bola (m)

Ditinjau sebuah bola yang dijatuhkan ke dalam cairan dan bola tersebut bergerak ke bawah dengan kecepatan v seperti pada gambar 1.



Gambar 2. 3 Gaya Bola Jatuh

Gaya-gaya yang bekerja pada bola adalah:

$$w = \text{gaya berat bola} = mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{(bola)} g$$

$$F_a = \text{gaya apung} = \text{gaya tekan ke atas} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{(cairan)} g$$

$$F_s = \text{gaya gesekan Stokes} = 6\pi\eta r v$$

Bola yang jatuh di dalam silinder, pada awalnya bergerak dengan gerakan yang bervariasi. Karena gaya hambat Stokes bergantung pada kecepatan, meningkat seiring dengan kecepatan ini, maka ada nilai pembatas kecepatan bola di mana gaya total yang bekerja pada bola sama dengan nol (Wietecha & Kurzydło, 2019). Gaya Stokes sebanding dengan kecepatan. Oleh sebab itu, makin cepat bola bergerak, makin besar Gaya Stokes. Mula-mula terlihat bola bergerak turun akan dipercepat. Karena gesekan bola dengan zat cair, maka bola akan mengalami kestimbangan gaya yang ditandai kecepatan konstan ketika bola bergerak turun. Dalam keadaan setimbang tersebut berlaku hubungan:

$$W = F_a + F_s$$

$$F_s = W - F_a$$

$$6\pi\eta vr = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{(bola)} g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{(cairan)} g$$

$$6\pi\eta vr = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_{(bola)} - \rho_{(cairan)}) g$$

$$\eta = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_{(bola)} - \rho_{(cairan)}) g}{6\pi r v}$$

$$\eta = \frac{2r^2 (\rho_{(bola)} - \rho_{(cairan)}) g}{9v}$$

$$\eta = \frac{2r^2 (\rho_{(bola)} - \rho_{(cairan)}) g t}{9s} \quad (2.2)$$

dengan: η = viskositas (Pa.s)

ρ = berat jenis (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

v = kecepatan (m/s²)

r = jari-jari bola (m)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan yaitu eksperimen *Research and development* atau R&D merupakan penelitian pengembangan untuk menghasilkan produk baru dari penelitian terdahulu. Produk yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah alat pengukur waktu tempuh bola jatuh viskositas cairan. Model pengembangan yang digunakan yaitu model ADDIE terdiri dari lima tahapan yaitu tahap *Analysis* (Analisis), tahap *Design* (Perancangan), tahap *Development* (Pengembangan), tahap *Implementation* (Implementasi), dan tahap *Evaluation* (Evaluasi).

Tahap analisis merupakan tahap untuk menganalisis masalah yang ada pada sistem pengukuran viskositas sebelumnya, khususnya dalam akurasi penghitungan waktu bola jatuh. Tahap desain atau perancangan merupakan tahap pembuatan skema elektronik dan pemrograman Arduino untuk memonitor gerakan bola jatuh pada cairan. Tahap pengembangan merupakan tahap merealisasikan tahapan sebelumnya. Tahapan ini terbagi menjadi perakitan perangkat keras, pemrograman Arduino dan penyambungan antar komponen.

Tahap implementasi merupakan tahapan pengujian dan pengambilan data waktu bola jatuh pada cairan untuk diolah data hasil viskositasnya. Tahap evaluasi mengkaji kinerja keseluruhan alat, mengukur keberhasilan perbaikan pada pengembangan yang telah dibuat dan merevisi kekurangan guna pengembangan selanjutnya.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian Rancang Bangun Alat Ukur Viskositas Cairan Berbasis Arduino dilakukan pada bulan Oktober sampai dengan Juni 2025 di Laboratorium Termodinamika dan Fisika Dasar Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

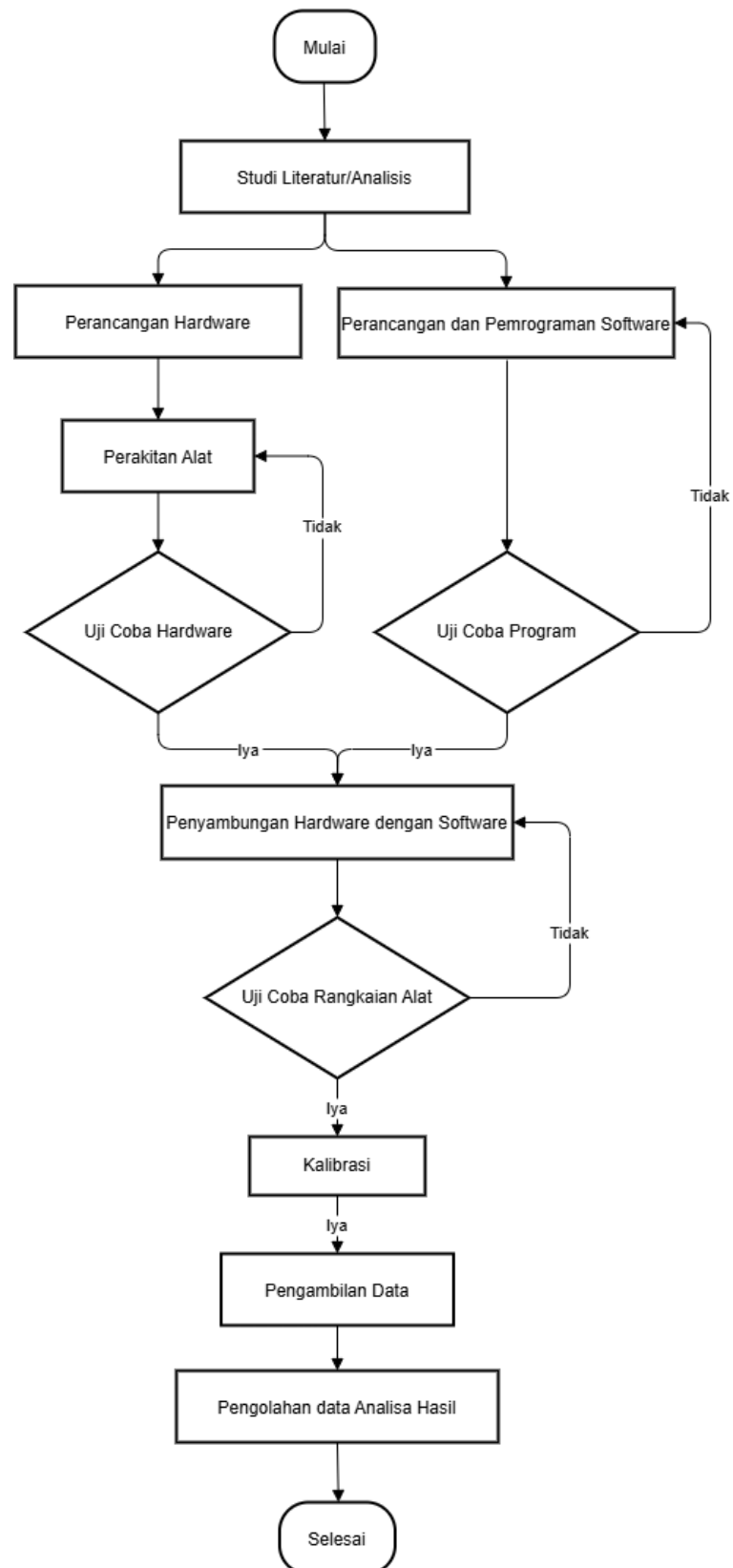
3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Alat dan bahan penelitian

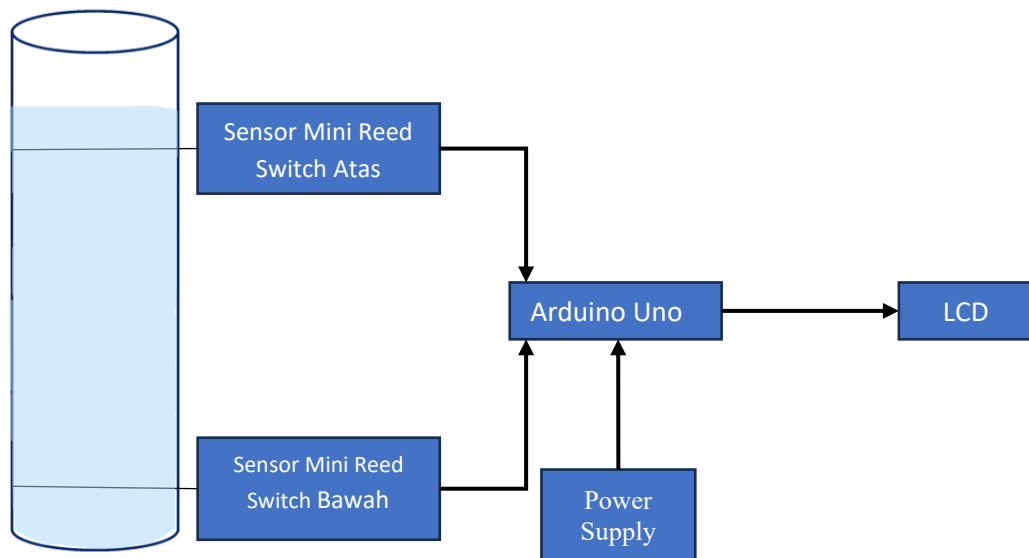
No.	Nama	Qty	Satuan	Spesifikasi
<i>Alat</i>				
1.	Arduino Uno	1	Buah	ATMega328P Processor, tegangan operasi 5V.
2.	Sensor <i>Mini reed switch</i>	2	Buah	-
3.	Tabung Transparan	1	Buah	-
4.	Bola Logam	2	Buah	-
5.	LCD	1	Buah	LCD 16x2
6.	Breadboard	1	Buah	830 tie-points
7.	Power Supply	1	Buah	Adaptor DC atau Baterai 9V, Tegangan Output 9V atau 5 5V, Arus Output 1-2A.
8.	Rangka Mekanik	1	Buah	-
9.	Kotak	1	Buah	-
<i>Bahan</i>				
10.	Cairan Uji	3	Buah	Air, minyak goreng, dan Gliserin.
11.	Kabel Jumper			-

3.5 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.6 Desain Rancangan Keseluruhan



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Waktu

Desain rancangan alat keseluruhan menggambarkan cara kerja alat secara garis besar. Dimulai dari bola yang dijatuhkan dalam tabung berisi cairan terdeteksi oleh Sensor Mini Red Switch atas dicatat sebagai waktu awal. Selanjutnya bola jatuh dengan kecepatan tertentu dan dideteksi oleh Sensor *Mini reed switch* bawah tercatat sebagai waktu akhir. Data hasil diproses pada Arduino menghasilkan nilai viskositas untuk ditampilkan pada LCD. Seluruh sistem diberdayakan oleh *Power Supply* yang memberikan listrik ke Arduino untuk memastikan alat berfungsi dengan baik.

3.7 Pengambilan Data

Tahap ini dilakukan setelah peralatan terangkai dengan rapi dan siap digunakan. Pengujian untuk pengambilan data dilakukan dengan menjatuhkan bola logam di dalam cairan, di mana sensor *mini reed switch* akan mendeteksi waktu jatuh bola dari satu titik ke titik lainnya. Data waktu jatuh yang diperoleh secara

otomatis kemudian dihitung untuk menentukan viskositas cairan menggunakan rumus Hukum Stokes. Pengulangan dilakukan pada tahap ini untuk mendapatkan hasil presisi pada penelitian. Hasil pengukuran alat ini dibandingkan dengan pengukur manual atau alat standar untuk mengukur akurasi dan konsistensinya.

Tabel 3. 2 Rencana Data Hasil Pengukuran Viskositas

No	Jenis Cairan	t_c (s)	ρ_{cairan} (kg/m ³)	η (Pa.s)	η (Pa.s) Viscometer

3.8 Pengolahan Data

Tahapan setelah pengambilan data ialah dilakukan pengolahan data. Pengolahan data meliputi nilai presisi, akurasi, dan *error*. Nilai presisi dapat dihitung dengan penggunaan persamaan berikut:

$$\text{Presisi} = 100\% - \%KV \quad (3.1)$$

Dimana KV dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2

$$\%KV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \quad (3.2)$$

Standar deviasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

Perhitungan standar deviasi pada penelitian ini menggunakan penyebut (n-1) karena data yang diperoleh merupakan data sampel hasil pengukuran berulang. Penggunaan penyebut (n-1), yang dikenal sebagai koreksi Bessel (Bessel's correction), bertujuan untuk menghasilkan estimasi simpangan baku yang

tidak bias terhadap populasi. Hal ini dilakukan karena satu derajat kebebasan telah digunakan dalam proses perhitungan nilai rata-rata sampel (Montgomery & Runger, 2021).

Nilai akurasi dan *error* dihitung dengan cara nilai viskositas yang didapatkan dari penelitian ini akan dibandingkan dengan nilai viskositas alat standar. Uji akurasi ini dilakukan untuk mengkalibrasi nilai pada alat yang telah dibuat dengan alat konvensional. Alat viskometer ini dapat dikatakan akurat ketika nilai *error* kurang dari 5%. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$e (\%) = \frac{|\eta_2 - \eta_1|}{\eta_2} \times 100\% \quad (3.4)$$

Dihitung nilai akurasi dengan cara mengurangi nilai *error* dengan 100%

$$Akurasi (\%) = 100\% - Error \% \quad (3.5)$$

dengan:

X_i = hasil pengukuran

$\bar{X}$ = rata – rata pengukuran

D = deviasi rata – rata

n = banyaknya pengukuran

$|dn|$ = deviasi ke-n

η_1 = hasil pembacaan alat viskositas yang telah dibuat

η_2 = hasil pembacaan alat viskositas konvensional atau referensi

Tabel 3. 3 Rencana Data Hasil Kalibrasi Viskositas

Sampel Cairan	η_1 (kg/m.s)	η_2 (kg/m.s)	Deviasi	<i>Error</i>	Presisi	Akurasi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

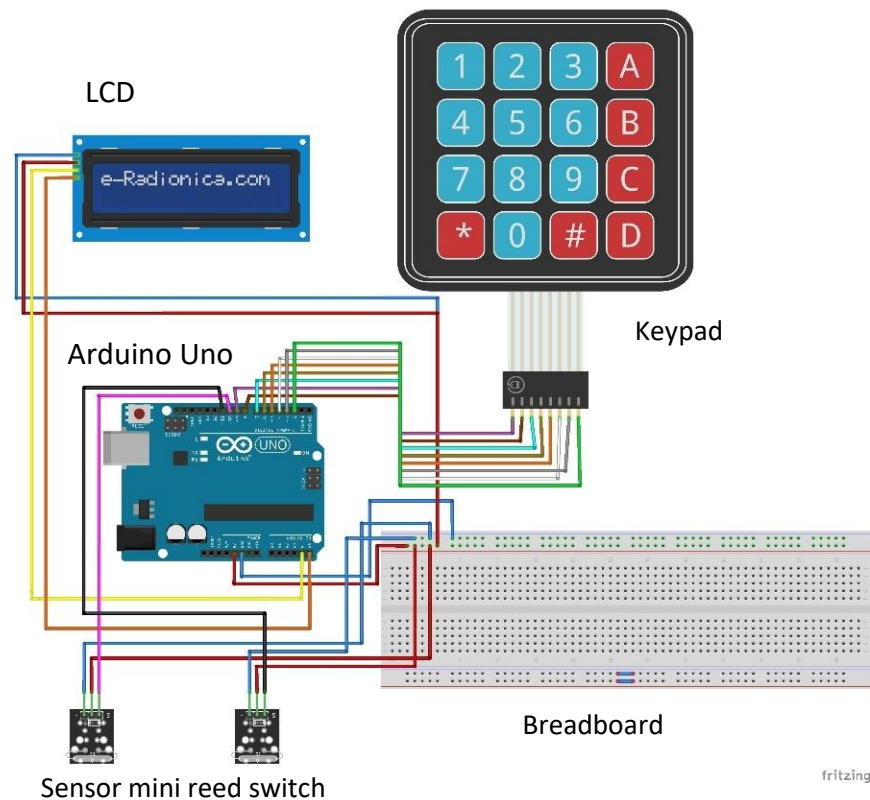
4.1 Data Hasil Penelitian

Rangkaian alat yang dibuat pada penelitian kali ini merupakan alat untuk mengukur viskositas cairan menggunakan metode bola jatuh. Rangkaian alat terdiri dari dua sensor *mini reed switch* sebagai pendeteksi waktu jatuh bola, Arduino sebagai pemroses data, dan LCD untuk menampilkan hasil. Sensor diletakkan di bagian atas dan bawah tabung untuk mencatat waktu tempuh bola ferromagnetik. Data waktu jatuh yang diperoleh digunakan untuk menghitung viskositas cairan berdasarkan rumus Stokes. Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan presisi alat ukur viskositas yang dirancang. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa alat mampu untuk mengukur viskositas dengan tingkat keakuratan dan ketepatan sesuai standar. Pengujian dan analisis alat ukur viskositas ini akan dijelaskan pada bab ini secara rinci.

4.1.1 Pembuatan Alat

Perancangan dan pengembangan alat ukur viskositas cairan dilakukan melalui dua tahap utama. Pertama, perancangan perangkat keras yang meliputi pemasangan sensor *mini reed switch* di tabung uji, perakitan rangkaian dengan Arduino Uno, serta pengujian fungsional seluruh sistem. Kedua, perancangan perangkat lunak yang mencakup pemrograman Arduino Uno untuk membaca sinyal dari sensor, perhitungan waktu jatuh bola, perhitungan viskositas cairan, serta penampilan data pada layar LCD.

4.1.1.1 Perancangan Perangkat Keras



Gambar 4. 1 Diagram Kerja Rangkaian Alat

Gambar 4.1 menunjukkan rangkaian keseluruhan sistem alat ukur viskositas cairan yang terdiri atas dua buah sensor *mini reed switch* sebagai pendeteksi waktu jatuh bola, satu buah Arduino Uno sebagai pusat pemrosesan data, satu buah LCD untuk menampilkan hasil perhitungan viskositas, keypad 4X4 sebagai media input, dan breadboard sebagai penghubung rangkaian. Sumber daya utama dapat menggunakan baterai 5 Volt. Sensor reed switch dipasang di bagian atas dan bawah tabung uji untuk mendeteksi saat bola melewati kedua titik tersebut. Sinyal dari sensor kemudian diolah oleh Arduino Uno untuk menghitung waktu tempuh bola dan selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai viskositas cairan. Adapun konfigurasi pin antara Arduino Uno dengan komponen yang lainnya terdapat pada tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5.

Tabel 4. 1 *Pin out* Arduino Uno dengan Sensor *Mini reed switch* Atas

Arduino Uno	Sensor <i>Mini reed switch</i> Atas
GND	GND
5V	VCC
D10	D0

Tabel 4. 2 *Pin out* Arduino Uno dengan Sensor *Mini reed switch* Bawah

Arduino Uno	Sensor <i>Mini reed switch</i> Bawah
GND	GND
5V	VCC
D11	D0

Tabel 4. 3 *Pin Out* Arduino Uno dengan LCD

Arduino Uno	LCD
GND	GND
5V	VCC
A4	SDA
A5	SCL

Tabel 4. 4 *Pin Out* Arduino Uno dengan Keypad 4X4

Arduino Uno	Keypad 4X4
D2	R1
D3	R2
D4	R3
D5	R4
D6	C1
D7	C2
D8	C3
D9	C4

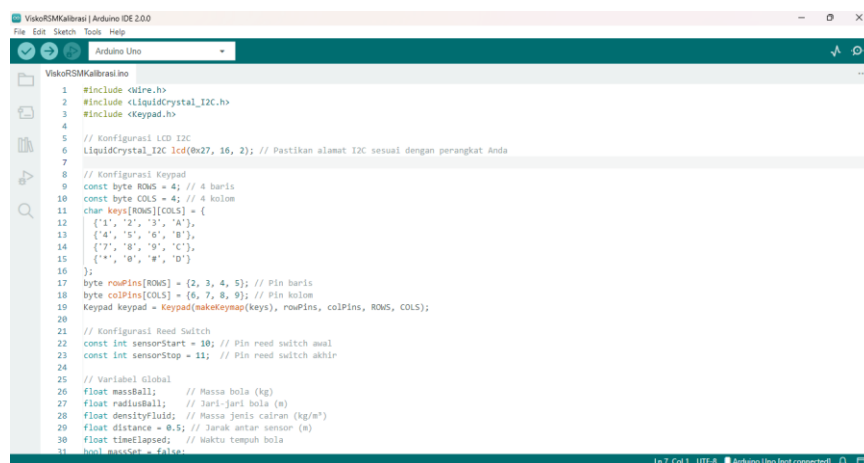
Tabel 4. 5 *Pin Out* Arduino Uno dengan Breadboard

Arduino Uno	Breadboard
GND	Jalur Negatif (-)
5V	Jalur Positif (+)

4.1.1.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Kode pemrograman dirancang untuk inisialisasi komponen, menerima input parameter dari keypad, mendeteksi bola jatuh melalui dua sensor reed switch, menghitung waktu tempuh, menghitung viskositas berdasarkan hukum Stokes, serta menampilkan hasil pada LCD.

Inisialisasi pemrograman diawali dengan mendeklarasikan beberapa *library* utama seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 2 Deklarasi Library, PIN, dan Variasi Global. *Library Wire.h* digunakan untuk memfasilitasi komunikasi I2C, *LiquidCrystal_I2C.h* untuk mengontrol layar LCD, dan *Keypad.h* untuk membaca input dari keypad 4X4. Selanjutnya didefinisikan nomor pin untuk sensor *mini reed switch* yaitu pin D10 untuk sensor atas (*start*) dan pin D11 untuk sensor bawah (*stop*). Variabel global seperti *massBall*, *radiusBall*, *densityFluid*, dan *distance* juga dijelaskan untuk menyimpan data hasil pengukuran.



```

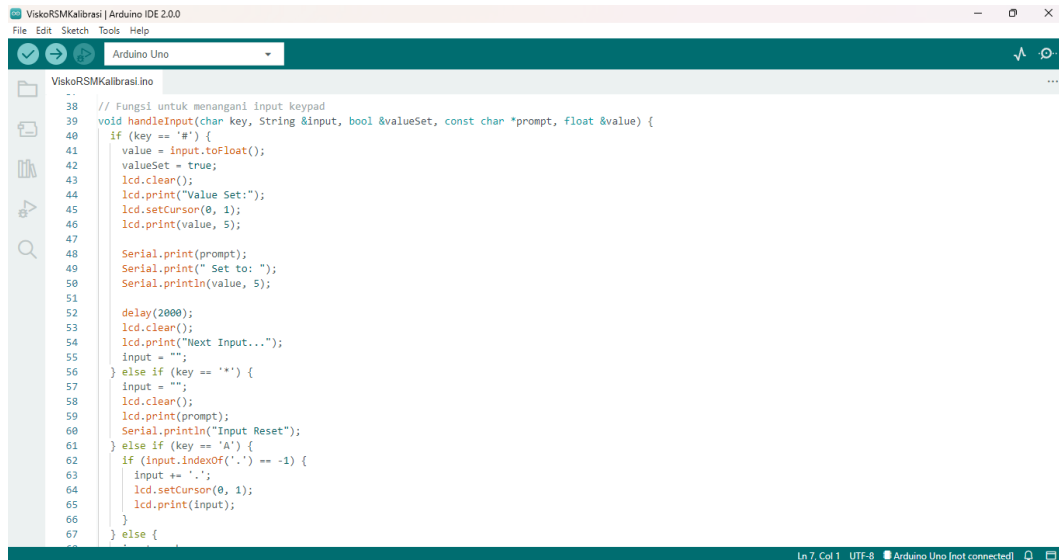
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <Keypad.h>
4
5 // Konfigurasi LCD I2C
6 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Pastikan alamat I2C sesuai dengan perangkat Anda
7
8 // Konfigurasi Keypad
9 const byte ROWS = 4; // 4 baris
10 const byte COLS = 4; // 4 kolom
11 char keys[ROWS][COLS] = {
12   {'1', '2', '3', 'A'},
13   {'4', '5', '6', 'B'},
14   {'7', '8', '9', 'C'},
15   {'*', '0', '#', 'D'}
16 };
17 byte rowPins[ROWS] = {2, 3, 4, 5}; // Pin baris
18 byte colPins[COLS] = {6, 7, 8, 9}; // Pin kolom
19 Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);
20
21 // Konfigurasi Reed Switch
22 const int sensorStart = 10; // Pin reed switch awal
23 const int sensorStop = 11; // Pin reed switch akhir
24
25 // Variabel Global
26 float massBall; // Massa bola (kg)
27 float radiusBall; // Jari-jari bola (m)
28 float densityFluid; // Massa jenis cairan (kg/m³)
29 float distance = 0.5; // Jarak antar sensor (m)
30 float timeElapsed; // Waktu tempuh bola
31 bool massSet = false;

```

Gambar 4. 2 Deklarasi Library, PIN, dan Variasi Global

Gambar 4. 3 menunjukkan fungsi *handleInput()* yang digunakan untuk memproses tombol yang ditekan pada keypad. Tombol # berfungsi untuk menyelesaikan input dan menyimpan nilai ke variabel, tombol * untuk mereset

input, dan tombol *A* untuk memasukkan tanda desimal pada angka. Setiap kali nilai berhasil disimpan, LCD akan menampilkan konfirmasi dan program melanjutkan ke parameter berikutnya.



Gambar 4. 3 Fungsi handleInput() untuk Pemrosesan Keypad

Fungsi *setup()* pada Gambar 4. 4 menjalankan inisialisasi LCD dengan memanggil *lcd.begin()* dan menyalakan *backlight*. Kedua pin sensor reed switch dikonfigurasi sebagai *INPUT_PULLUP* agar membaca logika HIGH saat tidak ada bola dan LOW saat melewati sensor. Komunikasi serial dimulai pada baud rate 9600 untuk keperluan *debugging* dan pengiriman data. Terakhir, LCD menampilkan teks “Input Mass Ball:” sebagai petunjuk awal kepada pengguna.

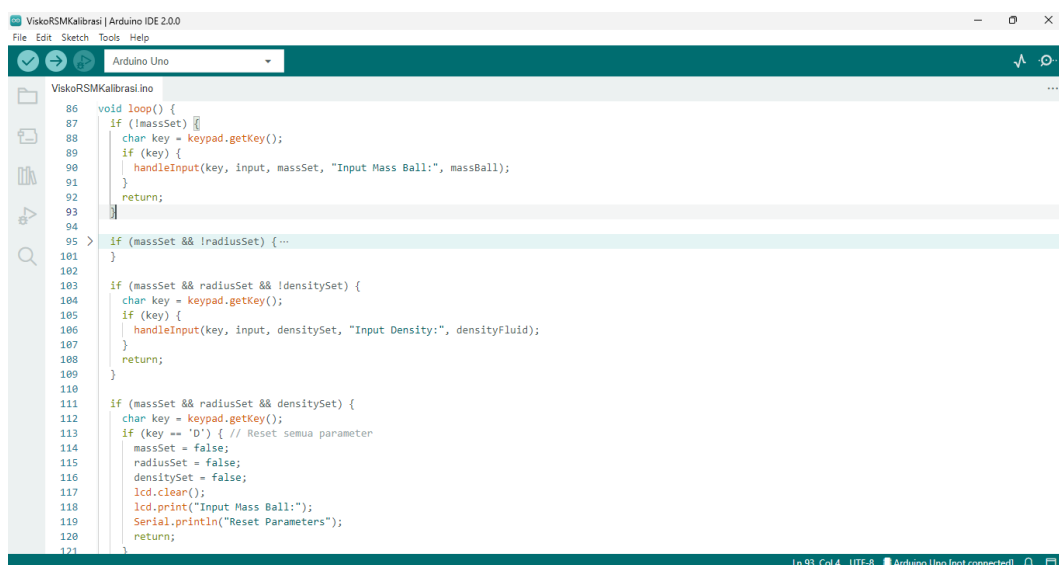
```

74 void setup() {
75     lcd.begin();
76     lcd.backlight();
77     pinMode(sensorStart, INPUT_PULLUP);
78     pinMode(sensorStop, INPUT_PULLUP);
79
80     Serial.begin(9600);
81     Serial.println("Program Started");
82     lcd.setCursor(0, 0);
83     lcd.print("Input Mass Ball:");
84 }

```

Gambar 4. 4 Fungsi setup() untuk Inisialisasi Sistem

Fungsi *loop()*, program pertama-tama akan meminta pengguna memasukkan tiga parameter secara berurutan, yaitu massa bola (kg), jari-jari bola (m), dan massa jenis cairan (kg/m^3). Program menggunakan *flag* boolean (*massSet*, *radiusSet*, *densitySet*) untuk menentukan tahap input mana yang sedang aktif. Setiap tombol yang ditekan akan diproses oleh fungsi *handleInput()*. Tombol *D* disediakan untuk mereset semua parameter jika ingin melakukan pengukuran baru dengan nilai yang berbeda, seperti terlihat pada Gambar 4. 5.



Gambar 4. 5 Logika Input Parameter Massa, Jari-jari, dan Massa Jenis

Program siap mendeteksi bola jatuh setelah parameter semua dimasukkan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 6, ketikan sensor atas (*sensor start*) mendeteksi bola (membaca LOW), program mencatat waktu mulai menggunakan fungsi *millis()* menampilkan “*Ball Detected*” pada LCD, dan memasuki perulangan (*while*) untuk menunggu bola melewati sensor bawah. Program dilengkapi dengan *timeout* 60 detik untuk mencegah sistem *hang* jika bola tidak terdeteksi. Ketika sensor bawah mendeteksi bola, waktu selesai dicatat dan waktu tempuh dihitung dalam satuan detik.

```

122
123 if (digitalRead(sensorStart) == LOW && !startDetected) {
124     startDetected = true;
125     lcd.clear();
126     lcd.print("Ball Detected");
127     Serial.println("Ball Detected at Start Sensor");
128     delay(1000);
129     lcd.clear();
130     lcd.print("Measuring...");
131     unsigned long startTime = millis();
132
133     // Tunggu bola mencapai sensor stop dengan timeout
134     while (digitalRead(sensorStop) == HIGH) {
135         if (millis() - startTime > 60000) {
136             lcd.clear();
137             lcd.print("Timeout!");
138             Serial.println("Timeout waiting for ball.");
139             delay(2000);
140             lcd.clear();
141             lcd.print("Ready to Start");
142             startDetected = false;
143             return;
144         }
145         delay(1);
146     }
147
148     unsigned long stopTime = millis();
149     timeElapsed = (stopTime - startTime) / 1000.0;

```

Gambar 4. 6 Deteksi Sensor dan Perhitungan Waktu Tempuh Bola Jatuh

Perhitungan nilai viskositas dilakukan secara otomatis oleh program menggunakan persamaan Hukum Stokes sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. 7. Pertama, volume bola dihitung dari jari-jari, kemudian massa jenis bola diperoleh dari massa dibagi volume. Rumus viskositas yang digunakan sama dengan persamaan 2.2, di mana percepatan gravitasi menggunakan $9,81 \text{ m/s}^2$.

```

150
151 // Hitung viskositas dengan hukum Stokes
152 float volumeBall = (4.0 / 3.0) * 3.14159 * pow(radiusBall, 3);
153 float densityBall = massBall / volumeBall;
154 float viscosity = (2 * pow(radiusBall, 2) * (densityBall - densityFluid) * 9.81 * timeElapsed) / (9 * distance);
155

```

Gambar 4. 7 Perhitungan Viskositas

Hasil akhir berupa waktu tempuh dan nilai viskositas ditampilkan pada LCD selama 5 detik, seperti yang terlihat pada Gambar 4. 8. Selain itu, data yang sama juga dikirimkan ke komputer melalui serial monitor untuk keperluan dokumentasi dan analisis lebih lanjut. Setelah selesai menampilkan hasil, program kembali ke kondisi siap untuk melakukan pengukuran berikutnya.

```

// Tampilkan hasil
lcd.clear();
lcd.print("Time: ");
lcd.print(timeElapsed, 3);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Viscosity:");
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(viscosity, 3);

Serial.print("Time Elapsed: ");
Serial.print(timeElapsed, 3);
Serial.println(" seconds");

Serial.print("Corrected Viscosity: ");
Serial.print(viscosity, 3);
Serial.println(" Pa.s");

delay(5000);
lcd.clear();
lcd.print("Ready to Start");
startDetected = false;
}
}

```

Gambar 4. 8 Penampilan Hasil pada LCD dan Serial Monitor Arduino IDE

4.1.2 Pengujian Akurasi dan Presisi Rangkaian Sistem

Pengujian akurasi dan presisi dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana hasil pengukuran viskositas dari alat yang dirancang mendekati hasil pengukuran menggunakan alat standar. Penelitian ini menggunakan *rotary* viskometer sebagai alat pembanding standar. Sampel cairan diuji menggunakan kedua alat, kemudian hasil pengukuran dibandingkan. Rentang waktu pengambilan data viskositas untuk setiap jenis cairan dilakukan dalam interval waktu tertentu dengan masing-masing pengukuran diulang sebanyak 5 kali. Nilai rata-rata hasil pengukuran viskositas dari alat yang dirancang disajikan dalam tabel 4.6, 4.7, dan 4.8 berikut.

Tabel 4. 6 Data Hasil Viskositas Air Sebelum Kalibrasi

No	Jenis Cairan	ρ_{cairan} (kg/m ³)	t_c (s)	η (Pa.s)	η (Pa.s) Viscometer
1	Air	1000	0,175	0,171	0,003
2			0,182	0,178	0,003
3			0,155	0,152	0,001
4			0,111	0,108	0,003
5			0,182	0,178	0,003
Rata-rata			0,161	0,1574	0,0026

Tabel 4. 7 Data Hasil Viskositas Gliserin Sebelum Kalibrasi

No	Jenis Cairan	ρ_{cairan} (kg/m ³)	t_c (s)	η (Pa.s)	η (Pa.s) Viscometer
1	Gliserin	1260	2,571	2,387	0,826
2			2,778	2,577	0,826
3			2,784	2,583	0,826
4			2,864	2,657	0,826
5			3,192	2,962	0,826
Rata-rata			2,8378	2,6514	0,826

Tabel 4. 8 Data Hasil Viskositas Minyak Sebelum Kalibrasi

No	Jenis Cairan	ρ_{cairan} (kg/m ³)	t_c (s)	η (Pa.s)	η (Pa.s) Viscometer
1	Minyak	920	0,875	0,869222	0,064
2			1,111	1,10863	0,06
3			1,178	1,170221	0,06
4			1,158	1,333138	0,064
5			1,392	1,248699	0,064
Rata-rata			1,1428	1,145982	0,0624

Tabel 4. 6 - Tabel 4. 8, menunjukkan hasil pengukuran viskositas dari alat rancangan pada beberapa jenis cairan. Hasil verifikasi pada lampiran 3 menunjukkan bahwa nilai viskositas yang dihitung sistem sesuai dengan hasil perhitungan manual menggunakan Persamaan Stokes. Hal ini membuktikan sensor *mini reed switch*, pencacah waktu, dan program telah sesuai rancangan. Meskipun demikian, hasil pengukuran yang diperoleh dari alat rancangan menunjukkan perbedaan terhadap nilai viskositas yang diukur menggunakan viskometer standar. Perbedaan tersebut mengindikasikan adanya kesalahan sistematis pada hasil alat yang dirancang, sehingga diperlukan proses kalibrasi untuk meningkatkan tingkat kedekatan hasil pengukuran dengan nilai acuan. Kalibrasi dilakukan menggunakan metode faktor koreksi dengan membandingkan nilai viskositas hasil pengukuran alat terhadap nilai viskositas yang diperoleh dari viskometer standar. Faktor koreksi dihitung menggunakan persamaan:

$$k = \frac{\eta_{standar}}{\eta_{alat}} \quad (4.1)$$

dengan:

k = faktor koreksi

$\eta_{standar}$ = viskositas hasil pengukuran viskometer standar (Pa.s)

η_{alat} = rata-rata viskositas hasil pengukuran alat sebelum kalibrasi (Pa.s)

Perhitungan yang sama dilakukan pada gliserin dan minyak goreng. Hasil perhitungan faktor koreksi ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Faktor Koreksi Kalibrasi

Jenis Cairan	η Alat (Pa.s)	η Standar (Pa.s)	Faktor Koreksi
Air	0,1574	0,0026	0,0165
Gliserin	2,6514	0,8260	0,3115
Minyak Goreng	1,145982	0,0624	0,0545

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.9 diperoleh faktor koreksi sebesar 0,0165 untuk air, 0,3115 untuk gliserin, dan 0,0545 untuk minyak goreng. Faktor koreksi tersebut kemudian diimplementasikan ke dalam program Arduino IDE sebagai konstanta kalibrasi. Nilai viskositas hasil pengukuran sebelum kalibrasi dikalikan dengan faktor koreksi sehingga diperoleh nilai viskositas yang telah dikalibrasi dan memiliki kedekatan yang lebih baik terhadap hasil pengukuran viskometer standar. Penerapan faktor koreksi dalam sistem pemrograman ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan sistematis dan meningkatkan kesesuaian hasil pengukuran alat dengan nilai standar viskometer. Hasil dari kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 4.10, 4.11, dan 4.12. Nilai viskositas sesudah kalibrasi diperoleh dari implementasi faktor koreksi ke dalam program Arduino IDE. Perbedaan kecil antara hasil perhitungan teoritis dan hasil yang ditampilkan sistem dapat terjadi akibat proses pembulatan angka desimal serta pemrosesan numerik pada

mikrokontroler. Namun demikian, perbedaan tersebut relatif kecil dan tidak memengaruhi kecenderungan maupun interpretasi hasil pengukuran secara keseluruhan.

Tabel 4. 10 Data Hasil Viskositas Air Sesudah Kalibrasi

No	Jenis Cairan	ρ_{cairan} (kg/m ³)	t_c (s)	η (Pa.s)	η (Pa.s) Viscometer
1	Air	1000	0,065	0,001	0,003
2			0,165	0,003	0,003
3			0,153	0,003	0,001
4			0,146	0,003	0,003
5			0,128	0,002	0,003
Rata-rata			0,1314	0,0024	0,0026

Tabel 4. 11 Data Hasil Viskositas Gliserin Sesudah Kalibrasi

No	Jenis Cairan	ρ_{cairan} (kg/m ³)	t_c (s)	η (Pa.s)	η (Pa.s) Viscometer
1	Gliserin	1260	2,671	0,772	0,826
2			2,777	0,825	0,826
3			2,784	0,825	0,826
4			2,864	0,827	0,826
5			2,441	0,705	0,826
Rata-rata			2,7074	0,791	0,826

Tabel 4. 12 Data Hasil Viskositas Minyak Goreng Sesudah Kalibrasi

No	Jenis Cairan	ρ_{cairan} (kg/m ³)	t_c (s)	η (Pa.s)	η (Pa.s) Viscometer
1	Minyak	920	0,881	0,047	0,064
2			1,116	0,061	0,06
3			1,178	0,064	0,06
4			1,16	0,064	0,064
5			1,257	0,065	0,064
Rata-rata			1,1172	0,0604	0,0624

Penentuan akurasi sistem rangkaian dilakukan dengan menghitung kesalahan pengukuran. Penentuan presentase kesalahan pengukuran terdapat pada persamaan 3.4. Dimana η_2 merupakan nilai viskositas terukur alat konvensional dan η_1 merupakan nilai viskositas terukur alat peraga yang telah dibuat.

Presisi mengindikasikan tingkat konsistensi hasil pengukuran yang dilakukan dengan instrumen yang sesuai satu sama lain. Tingkat konsistensi ini dapat dihitung menggunakan simpangan baku atau koefisien variasi. Semakin kecil sebaran hasil pengukuran terhadap nilai rata-ratanya, semakin presisi metode tersebut. Presisi pengukuran dapat dihitung dengan persamaan 3.1 (Resmiati & Putra, 2021). Hasil perhitungan standar deviasi, akurasi dan presisi rangkaian sistem terdapat pada tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Data Hasil Perhitungan Standar Deviasi, Akurasi, Dan Presisi

Jenis Cairan	η Alat (Pa.s)	η Standar (Pa.s)	Standar Deviasi	KV	Presisi	Error	Akurasi
Air	0,0024	0,0026	0,000894427	0,372677	62,73%	8%	92%
Gliserin	0,791	0,826	0,053302908	0,067403	93%	4%	96%
Minyak Goreng	0,0604	0,0624	0,007092249	0,117421	88,26%	3%	97%
Rata-rata						5%	95%

4.2 Pembahasan

Akurasi merupakan ukuran tingkat kedekatan hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Nilai akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa alat ukur memiliki kinerja yang baik. Akurasi berbanding terbalik dengan error maka nilai akurasi tinggi menunjukkan nilai error rendah begitupun sebaliknya. Tabel 4.13 menunjukkan pengukuran viskositas pada minyak goreng menunjukkan akurasi tertinggi, yaitu sebesar 97%, dengan *error* hanya 3%. Selanjutnya, pengukuran terhadap gliserin menghasilkan akurasi sebesar 96% dan *error* sebesar 4%. Sedangkan air menunjukkan akurasi terendah, yaitu 92% dengan nilai *error* mencapai 8%. Rata-rata akurasi pengukuran dari ketiga cairan tersebut adalah 95% dengan *error* 5%. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), suatu alat ukur dikatakan memiliki akurasi dan presisi tinggi apabila presentase akurasinya $\geq 95\%$.

Sementara itu, menurut Standar Internasional (SI), sebuah alat ukur dianggap memiliki akurasi tinggi bila presentase akurasinya $\geq 97\%$ (Resmiati & Putra, 2021).

Standar deviasi (simpangan baku) merupakan ukuran statistik yang menggambarkan sebaran data hasil pengukuran berulang terhadap nilai rata-rata. Dalam penelitian ini, standar deviasi digunakan untuk menilai tingkat presisi alat ukur viskositas yang dirancang. Tabel 4.13 menunjukkan nilai standar deviasi air adalah 0,000894427, gliserin 0,053302908 , dan minyak goreng 0,007092249. Secara absolut, standar deviasi gliserin yang jauh lebih tinggi dibandinglan cairan lainnya. Apabila dibandingkan dengan nilai rata-rata viskositas masing-masing, ketiga cairan menunjukkan variasi yang relatif kecil, yang menunjukkan bahwa data hasil pengukuran cenderung mengelompok di sekitar nilai rata-ratanya.

Presisi tidak sama dengan akurasi. Presisi menunjukkan tingkat konsistensi hasil pengukuran dari pengulangan percobaan. Berdasarkan Tabel 4.13, nilai presisi tertinggi diperoleh oleh gliserin sebesar 93% selanjutnya minyak goreng sebesar 88,26% dilanjutkan yang mengidentifikasikan bahwa alat memiliki tingkat pengulangan sangat baik pada cairan viskositas yang menengah hingga tinggi. Sementara itu, presisi terendah dimiliki air sebesar 62,73%, hal ini dipengaruhi oleh viskositas air yang sangat rendah sehingga variasi kecil dalam waktu jatuh bola menghasilkan penyimpangan relatif besar.

Perbedaan nilai presisi pada masing-masing cairan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor adalah karakteristik viskositas cairan. Pada cairan dengan viskositas tinggi seperti gliserin dan minyak goreng, bola mengalami hambatan yang lebih besar sehingga kecepatannya stabil. Kondisi ini membuat variasi antara pengulangan relatif kecil sehingga presisinya tinggi. Sebaliknya pada

air yang memiliki viskositas sangat rendah, pergerakan bola sensitif terhadap gangguan kecil seperti turbulensi, gelembung udara, getaran alat, serta ketidakstabilan posisi awal bola. Hal ini menyebabkan simpangan antar data lebih besar sehingga nilai presisinya lebih rendah.

Selain karakteristik cairan itu sendiri, terdapat beberapa faktor teknis yang berperan penting dalam menentukan akurasi pengukuran. Kepekaan sensor pembaca waktu, kualitas perakitan mekanik (yang memengaruhi kesumbuan tabung), konsistensi tinggi kolom cairan, serta ketepatan posisi awal pelepasan bola merupakan variabel-variabel kritis. Ketidakkonsistenan pada salah satu komponen atau prosedur tersebut dapat secara signifikan meningkatkan simpangan (variansi) data antar pengulangan pengukuran. Lebih lanjut, konfigurasi sistem pengukuran itu sendiri berpotensi memperkenalkan dua jenis kesalahan sistematis.

Kesalahan dalam penetapan titik waktu pengukuran. Ada kemungkinan bahwa waktu yang dicatat oleh program pada mikrokontroler Arduino adalah waktu ketika bola masih mengalami fase percepatan, tepat setelah melewati sensor pertama. Sedangkan pengukuran waktu tempuh bola untuk Hukum Stokes dilakukan setelah bola bergerak dengan kecepatan konstan (terminal velocity), yaitu ketika telah tercapai kesetimbangan gaya ($\text{ gaya berat} = \text{ gaya apung} + \text{ gaya gesek}$). Jika waktu yang diukur mencakup fase transien ini, maka kecepatan yang dihitung akan lebih tinggi dengan kecepatan terminal sebenarnya, sehingga berdampak pada perhitungan viskositas.

Hasil pengujian presisi yang diperoleh, alat ukur viskositas yang dirancang dalam penelitian ini menunjukkan kinerja yang cukup efektif untuk pengukuran viskositas menengah hingga tinggi, seperti pada sampel gliserin dan minyak

goreng. Pada jangkauan viskositas tersebut, bola ferromagnetik bergerak dengan kecepatan relatif stabil akibat gaya hambat yang signifikan, sehingga sensor *mini reed switch* mampu mendeteksi waktu jatuh secara konsisten. Hal ini dibuktikan dengan nilai presisi yang mencapai 93% untuk kedua cairan tersebut. Sebaliknya, pada cairan viskositas rendah seperti air nilai presisi 62,73%, pergerakan bola cenderung lebih cepat dan rentan terhadap gangguan eksternal seperti turbulensi ringan, gelembung udara, getaran mekanik serta ketidakkonsistenan posisi awal pelepasan bola. Oleh karena itu, untuk meningkatkan akurasi pengukuran pada cairan ber-viskositas rendah, diperlukan peningkatan stabilitas mekanik tabung uji, serta optimasi sensitivitas sensor.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini sejalan dengan Budiyo et al., (2022) yang merancang viskometer bola jatuh digital menggunakan Arduino Uno Atmega dengan sensor inframerah dan fotodioda, yang menghasilkan error pengukuran antara 1% hingga 4%. Selain itu, Pratiwi & Luthfia, (2023) dalam penelitiannya menggunakan sensor *mini reed switch* magnetic berbasis Arduino Uno juga berhasil mengukur viskositas berbagai fluida dengan rata-rata error 7,425%. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah implementasi faktor koreksi terintegrasi dalam kode pemrograman yang berhasil menurunkan error secara signifikan hingga rata-rata 5%, serta penguatan akurasi pengukuran pada rentang viskositas menengah hingga tinggi.

4.3 Integrasi Penelitian dengan AL-Qur'an

Penelitian dan pengembangan alat ukur ini merupakan bagian dari upaya manusia dalam memahami hukum-hukum alam yang telah Allah SWT ciptakan.

Al-Qur'an mendorong manusia untuk melakukan pengamatan dan pengkajian terhadap fenomena alam sebagaimana firman Allah dalam QS Yunus Ayat 101.

قُلْ انظُرُوا مَاذَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا تُغْنِي الْآيَاتِ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُونَ ﴿١٠١﴾

Artinya : Katakanlah (Nabi Muhammad), “Perhatikan apa saja yang ada di langit dan di bumi!” Tidaklah berguna tanda-tanda (kebesaran Allah) dan peringatan-peringatan itu (untuk menghindari azab Allah) dari kaum yang tidak beriman.

Ayat di atas menunjukkan manusia diperintahkan untuk memperhatikan apa yang ada di langit dan di bumi. Menurut tafsir Al-Mishbah, perintah “memperhatikan” dalam ayat tersebut tidak hanya bermakna melihat secara kasat mata, tetapi mencakup untuk menemukan keteraturan dan hukum-hukum yang berlaku di dalamnya (Shihab, 2002).

Penelitian ini mengkaji fenomena viskositas fluida menggunakan metode bola jatuh. Viskositas merupakan sifat fisis fluida yang menunjukkan tingkat hambatan suatu cairan terhadap gerakan benda yang melaluinya. Ketika bola dijatuhkan ke dalam fluida, bola akan mengalami gaya gravitasi, gaya apung, dan gaya hambat viskos. Ketiga gaya tersebut bekerja secara teratur sehingga menghasilkan kecepatan terminal yang dapat digunakan untuk menentukan nilai viskositas cairan berdasarkan Hukum Stokes. Keteraturan hubungan antar gaya tersebut menunjukkan bahwa alam semesta bekerja berdasarkan hukum-hukum tertentu yang dapat dipelajari melalui metode ilmiah.

Konsep mengenai pentingnya penggunaan akal untuk memahami fenomena alam dijelaskan oleh Allah SWT dalam QS. Ar-Rum ayat 8:

أَوَلَمْ يَتَفَكَّرُوا فِي أَنفُسِهِمْ مَا خَلَقَ اللَّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا إِلَّا بِالْحَقِّ وَأَجَلٍ مُّسَمًّى ۚ

وَإِنَّ كَثِيرًا مِّنَ النَّاسِ بِلِقَائِ رَبِّهِمْ لَكَفِرُونَ ﴿٨﴾

"Dan mengapa mereka tidak memikirkan tentang (kejadian) diri mereka? Allah tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya melainkan dengan tujuan yang benar dan waktu yang ditentukan." (QS. Ar-Rum: 8)

Ayat tersebut menegaskan bahwa manusia harus menggunakan akalnya untuk memahami berbagai fenomena yang terjadi di alam semesta. Tafsir Kementerian Agama Republik Indonesia menjelaskan bahwa ayat ini mengandung dorongan agar manusia berpikir secara mendalam terhadap ciptaan Allah dan memahami bahwa seluruh fenomena alam berlangsung berdasarkan ketentuan serta hukum yang telah ditetapkan-Nya. Dengan demikian, kegiatan penelitian ilmiah merupakan salah satu bentuk pemanfaatan akal yang dianugerahkan Allah kepada manusia.

Hubungan ayat tersebut dengan penelitian ini terlihat pada proses pengukuran viskositas cairan. Peneliti melakukan pengamatan terhadap gerak bola yang jatuh di dalam fluida, mengukur waktu tempuh bola menggunakan sensor reed switch, kemudian menganalisis data berdasarkan persamaan Hukum Stokes. Proses tersebut menunjukkan bahwa sifat-sifat fluida dapat dipahami melalui pengamatan, pengukuran, dan analisis yang dilakukan secara sistematis. Dengan kata lain, penelitian ini merupakan implementasi dari perintah untuk berpikir dan mengkaji fenomena alam sebagaimana yang dijelaskan dalam QS. Ar-Rum ayat 8.

Selain memerintahkan manusia untuk mengamati dan berpikir, Allah SWT juga menjelaskan bahwa alam semesta telah ditundukkan untuk dimanfaatkan oleh manusia. Hal tersebut dijelaskan dalam QS. Al-Jatsiyah ayat 13:

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُۥٓ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَآوَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ
وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُۥٓ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَآيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ ﴿١٣﴾

"Dan Dia menundukkan untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya sebagai rahmat dari-Nya. Sungguh, pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda bagi kaum yang berpikir." (QS. Al-Jatsiyah: 13)

Berdasarkan Tafsir Ringkas Kementerian Agama Republik Indonesia, penundukan alam tersebut menunjukkan bahwa Allah memberikan kemampuan kepada manusia untuk memanfaatkan dan mengelola berbagai sumber daya alam melalui ilmu pengetahuan dan teknologi. Manusia diberikan akal untuk memahami karakteristik alam sehingga dapat menghasilkan berbagai inovasi yang bermanfaat bagi kehidupan.

Penelitian ini merupakan salah satu bentuk pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam memahami sifat fluida. Penggunaan Arduino Uno, sensor reed switch, dan LCD pada sistem pengukuran viskositas menunjukkan bagaimana perkembangan teknologi dapat digunakan untuk membantu manusia memperoleh data yang lebih cepat dan akurat. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan dalam bidang pendidikan maupun pengembangan instrumen laboratorium yang lebih ekonomis. Oleh karena itu, penelitian ini sejalan dengan konsep pemanfaatan alam dan teknologi untuk kemaslahatan manusia sebagaimana dijelaskan dalam QS. Al-Jatsiyah ayat 13.

Islam juga memberikan perhatian yang besar terhadap pentingnya ilmu pengetahuan. Perintah pertama yang diturunkan kepada Nabi Muhammad SAW adalah perintah untuk membaca dan belajar sebagaimana terdapat dalam QS. Al-'Alaq ayat 1–5:

إِقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ۝١ خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ۝٢ اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ ۝٣ الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ۝٤ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ۝٥

"Bacalah dengan nama Tuhanmu yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Mahamulia. Yang

mengajar manusia dengan pena. Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya." (QS. Al-'Alaq: 1–5)

Menurut Tafsir Al-Mishbah, perintah membaca dalam ayat tersebut tidak hanya terbatas pada membaca teks tertulis, tetapi juga mencakup membaca fenomena alam, mengamati realitas empiris, serta mengembangkan ilmu pengetahuan melalui penelitian dan pembelajaran. Oleh sebab itu, kegiatan penelitian yang dilakukan dalam pengembangan alat ukur viskositas cairan dapat dipandang sebagai salah satu bentuk implementasi perintah *iqra'* yang diajarkan dalam Islam.

Penelitian ini memanfaatkan metode eksperimen untuk memperoleh pengetahuan mengenai sifat viskositas berbagai jenis cairan. Peneliti melakukan pengukuran berulang, mengolah data hasil pengamatan, menghitung nilai viskositas, dan membandingkan hasilnya dengan alat standar berupa viskometer. Seluruh tahapan tersebut menunjukkan bahwa proses memperoleh ilmu pengetahuan memerlukan pengamatan, pengukuran, analisis, dan verifikasi data. Proses tersebut sejalan dengan semangat pencarian ilmu yang diajarkan dalam QS. Al-'Alaq ayat 1–5.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian rancang bangun alat ukur viskositas cairan berbasis Arduino menggunakan metode bola jatuh memiliki keterkaitan dengan nilai-nilai yang terkandung dalam Al-Qur'an. QS. Yunus ayat 101 mendorong manusia untuk mengamati fenomena alam, QS. Ar-Rum ayat 8 mengajarkan pentingnya berpikir dan memahami hukum-hukum ciptaan Allah, QS. Al-Jatsiyah ayat 13 menjelaskan pemanfaatan alam dan teknologi untuk kemaslahatan manusia, serta QS. Al-'Alaq ayat 1–5 menegaskan pentingnya pencarian ilmu pengetahuan. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya memiliki

nilai ilmiah dalam bidang fisika dan instrumentasi, tetapi juga mencerminkan implementasi ajaran Islam dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Telah berhasil dirancang dan direalisasikan alat ukur viskositas cairan berbasis Arduino menggunakan metode bola jatuh, yang terdiri dari dua sensor *mini reed switch* sebagai pencatat waktu, Arduino Uno sebagai pemroses data, dan LCD sebagai penampil hasil.
2. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa alat memiliki rata-rata akurasi sebesar 95% dan error sebesar 5% terhadap viskometer standar. Nilai presisi yang diperoleh sebesar 63,73% untuk air, 93% untuk gliserin, dan 88,26% untuk minyak goreng. Hasil tersebut menunjukkan bahwa alat memiliki kinerja yang lebih baik untuk pengukuran cairan dengan viskositas menengah hingga tinggi, seperti pada gliserin dan minyak goreng, dibandingkan dengan viskositas rendah seperti air.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan presisi pengukuran, terutama pada cairan viskositas rendah, disarankan pengembangan alat dengan memperbesar jarak antar sensor, meningkatkan stabilitas mekanik, serta menggunakan sensor dengan resolusi waktu yang lebih tinggi.
2. Peneliti selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan pengukuran variasi suhu cairan dan integrasi penyimpanan data otomatis agar hasil pengukuran viskositas dapat dianalisis secara lebih komprehensif dan aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Boimau, I., & Mellu, R. (2020). Rancang Bangun Alat Praktikum Viskometer Berbasis Arduino. *Wahana Fisika*, 5, 28–40. <https://doi.org/10.17509/wafi.v5i1.23903>
- Budiyono, B., Sutrisno, E., & Wibowo, T. U. (2022). Design of a Falling Ball Speed Measuring Instrument in Viscosity Experiment Using Arduino Uno Atmega. *BERKALA SAINSTEK*, 10(1), 10–16. <https://doi.org/10.19184/bst.v10i1.27315>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications* (3. ed). McGraw-Hill.
- Chang, R. (2005). *Kimia Dasar Jl. 1 Ed. 3*. Erlangga.
- Damayanti, Y., Lesmono, A. D., & Prihandono, T. (2018). KAJIAN PENGARUH SUHU TERHADAP VISKOSITAS MINYAK GORENG SEBAGAI RANCANGAN BAHAN AJAR PETUNJUK PRAKTIKUM FISIKA. *JURNAL PEMBELAJARAN FISIKA*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.19184/jpf.v7i3.8606>
- Dey, S., Ali, S. Z., & Padhi, E. (2019). Terminal fall velocity: The legacy of Stokes from the perspective of fluvial hydraulics. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 475(2228), 20190277. <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0277>
- Hartono, H., & Praharto, Y. B. (2021). Inovasi Viskometer Bola Jatuh Berbasis Mikrokontroler Arduino Arduini Mega 2560 Dengan Optimasi Parallax Data Acquisition (Plx Daq). *Iteks*, 13(1), Article 1.
- Haynes, W. M. (Ed.). (2016). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (97th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315380476>
- Julie. (2020, November 12). What is a Reed Switch and How Does it Work. *Standex Electronics*. <https://standexelectronics.com/reed-switch-technology/what-is-a-reed-switch-and-how-does-it-work/>
- Jumianto, S., Mujadin, A., & Elfidasari, D. (2014). Rancang Bangun Alat Ukur Viskositas Dalam Rangka Pengembangan Modul Praktikum Fisika Dasar. *JURNAL Al-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.36722/sst.v2i1.98>
- Lubis, N. A. (2018). THE INFLUENCE OF LIQUID VISCOSITY ON FALLING TIME BY FALLING BALL METHOD. *Fisitek : Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*, 2(2), 26. <https://doi.org/10.30821/fisitek.v2i2.1809>
- Malik, A., Hakiki, M. A., Imiyati, N., Kurnia, P., Zakwandi, R., Setya, W., & Chusni, M. M. (2019). Analysis characteristics of viscosity coefficient using

viscometer stromer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(4), 044085. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/4/044085>

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2021). *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 7/E. Wiley. <https://repositori.telkomuniversity.ac.id/pustaka/166935/applied-statistics-and-probability-for-engineers-7-e-.html>

Nasir, M. (2020). Perbandingan Kualitas Minyak Sawit Bermerk dan Minyak Kelapa Menggunakan Parameter Viskositas dan Indeks Bias. *Sainstek : Jurnal Sains dan Teknologi*, 12(2), 36. <https://doi.org/10.31958/js.v12i2.2470>

Prasetyo, D. R., Aji, M. P., & Supriyadi, -. (2014). UJI KUALITAS MINYAK GORENG BERDASARKAN INDEKS BIAS CAHAYA MENGGUNAKAN ALAT REFRAKTOMETER SEDERHANA. *Jurnal Fisika*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.15294/jf.v4i1.3866>

Pratidhina, E., Kuswanto, H., & Rosana, D. (n.d.). *Penggunaan Arduino Uno dan Common-Coding pada Percobaan Fisika Materi Kelistrikan*. Cipta Media Nusantara.

Pratiwi, U., & Luthfia, A. (2023). PENGUKURAN VISKOSITAS OLI DAN MINYAK GORENG MENGGUNAKAN SENSOR MINI REED SWITCH MAGNETIC BERBASIS ARDUINO. *ORBITA: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 9(2), 277–283. <https://doi.org/10.31764/orbita.v9i2.17342>

Razor, A. (2021, February 15). *Cara Kerja Arduino Uno dan Bagaimana Prinsip Serta Peranannya*. <https://www.aldyrazor.com/2020/07/cara-kerja-arduino.html>

Resmiati, R., & Putra, M. E. (2021). Akurasi dan presisi alat ukur tinggi badan digital untuk penilaian status gizi. *Jurnal Endurance*, 6(3), 616–621.

Romadhon, N. (2019). (PDF) KEEFEKTIFAN ALAT PERAGA VISKOSITAS DENGAN SENSOR MINI REED SWITCH MAGNETIC BERBASIS ARDUINO UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN ANALYZEPESERTA DIDIK. *ResearchGate*, 301–315. <https://doi.org/10.21154/muslimheritage.v4i2.1765>

Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al-Mishbah Volume 14 = Surah Ash-Shaff, Surah Al-Jumu'ah, Surah Al-Munafiqun, Surah At-Taghabun, Surah Ath-Thalaq, Surah At-Tahrim, Surah Al-Mulk, Surah Al-Qalam, Surah Al-Haqqah, Surah Al-Ma'arij, Surah Nuh, Surah Al-Jinn, Surah Al-Muzzammil, Surah al-Muddatstsir, Surah Al-Qiyamah, Surah Al-Insan dan Surah Al-Mursalat*. Lentera Hati. (Jakarta). [//perpustakaan.kemendikdasmen.go.id/%2Findex.php%3Fp%3Dshow_detail%26id%3D4649%26keywords%3D](http://perpustakaan.kemendikdasmen.go.id/%2Findex.php%3Fp%3Dshow_detail%26id%3D4649%26keywords%3D)

- Suari, M. (2017). *RANCANG BANGUN ALAT UKUR KEKENTALAN OLI SAE 10-30 MENGGUNAKAN METODE FALLING BALL VISCOMETER (FBV) SMALL TUBE*. 9(2).
- Sulistyaningsih, D., Ishafit, I., Mahmudah, I. R., & Sujarwanto, E. (2019). Penentuan Koefisien Viskositas Air dengan Aliran Kapiler. *DIFFRACTION: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.37058/diffraction.v1i1.809>
- Ulva, S. M., & Ningdayati, R. (2022). ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAK BERBAHAN TANAMAN ALAMI MENGGUNAKAN FALLING BALL METHOD. *Jurnal Sains Benuanta*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.61323/jsb.v1i1.10>
- White, F. M. (2016). *Fluid mechanics* (Eighth edition). McGraw-Hill Education.
- Wietecha, T., & Kurzydło, P. (2019). Determination of the dynamic viscosity coefficient of the Stokes viscometer – construction of a measuring set in the Physical Laboratory of the State Higher Vocational School in Tarnów. *Science, Technology and Innovation*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2885>

LAMPIRAN

Lampiran 1

GAMBAR



Pengukuran cairan dengan alat standar



Pengukuran massa bola magnet



Pengujian LCD



Pengambilan data

Lampiran 2

PEMROGRAMAN

A. Viskositas Bola Jatuh

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Keypad.h>

// Konfigurasi LCD I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Pastikan alamat I2C sesuai dengan perangkat Anda

// Konfigurasi Keypad
const byte ROWS = 4; // 4 baris
const byte COLS = 4; // 4 kolom
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};

byte rowPins[ROWS] = {2, 3, 4, 5}; // Pin baris
byte colPins[COLS] = {6, 7, 8, 9}; // Pin kolom
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);

// Konfigurasi Reed Switch
const int sensorStart = 10; // Pin reed switch awal
const int sensorStop = 11; // Pin reed switch akhir

// Variabel Global
float massBall; // Massa bola (kg)
float radiusBall; // Jari-jari bola (m)
float densityFluid; // Massa jenis cairan (kg/m³)
float distance = 0.5; // Jarak antar sensor (m)
float timeElapsed; // Waktu tempuh bola
bool massSet = false; // Apakah massa bola sudah diatur
bool radiusSet = false; // Apakah jari-jari bola sudah diatur
bool densitySet = false; // Apakah massa jenis cairan sudah diatur
bool startDetected = false;

String input = ""; // Variabel untuk menyimpan input dari keypad

// Fungsi untuk menangani input keypad
void handleInput(char key, String &input, bool &valueSet, const char *prompt, float &value)
{
  if (key == '#') { // Tombol '#' untuk konfirmasi
    value = input.toFloat();
    valueSet = true;
  }
}
```

```

    lcd.clear();
    lcd.print("Value Set:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(value, 3);

    Serial.print(prompt);
    Serial.print(" Set to: ");
    Serial.println(value, 3);

    delay(2000);
    lcd.clear();
    lcd.print("Next Input...");
    input = "";
} else if (key == '*') { // Tombol '*' untuk reset
    input = "";
    lcd.clear();
    lcd.print(prompt);
    Serial.println("Input Reset");
} else if (key == 'A') { // Tombol 'A' untuk tanda desimal
    if (input.indexOf('.') == -1) { // Hindari lebih dari satu tanda desimal
        input += '.';
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(input);
    }
} else {
    input += key;
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(input);
}
}

void setup() {
    lcd.begin();
    lcd.backlight();
    pinMode(sensorStart, INPUT_PULLUP); // Gunakan pull-up untuk reed switch
    pinMode(sensorStop, INPUT_PULLUP); // Gunakan pull-up untuk reed switch

    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Program Started");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Input Mass Ball:");
}

void loop() {
    if (!massSet) {
        char key = keypad.getKey();
        if (key) {

```

```

    handleInput(key, input, massSet, "Input Mass Ball:", massBall);
}
return;
}

if (massSet && !radiusSet) {
    char key = keypad.getKey();
    if (key) {
        handleInput(key, input, radiusSet, "Input Radius:", radiusBall);
    }
    return;
}

if (massSet && radiusSet && !densitySet) {
    char key = keypad.getKey();
    if (key) {
        handleInput(key, input, densitySet, "Input Density:", densityFluid);
    }
    return;
}

if (massSet && radiusSet && densitySet) {
    if (digitalRead(sensorStart) == LOW && !startDetected) {
        startDetected = true;
        lcd.clear();
        lcd.print("Ball Detected");
        Serial.println("Ball Detected at Start Sensor");
        delay(1000);
        lcd.clear();
        lcd.print("Measuring...");
        unsigned long startTime = millis();

        // Tunggu bola mencapai sensor stop dengan logika timeout
        while (digitalRead(sensorStop) == HIGH) {
            if (millis() - startTime > 60000) { // Timeout 60 detik
                lcd.clear();
                lcd.print("Timeout!");
                Serial.println("Timeout waiting for ball.");
                delay(2000); // Tampilkan pesan selama 2 detik
                lcd.clear();
                lcd.print("Ready to Start");
                startDetected = false; // Reset status deteksi
                return; // Keluar dari loop utama untuk memulai ulang
            }
            delay(1); // Hindari beban CPU berlebih
        }
    }
}

```

```

unsigned long stopTime = millis();
timeElapsed = (stopTime - startTime) / 1000.0;

// Hitung viskositas menggunakan hukum Stokes
float volumeBall = (4.0 / 3.0) * 3.14159 * radiusBall * radiusBall * radiusBall;
float densityBall = massBall / volumeBall;
float viscosity = (2 * radiusBall * radiusBall * (densityBall - densityFluid) * 9.81 *
timeElapsed) / (9 * distance);

// Tampilkan hasil di LCD
lcd.clear();
lcd.print("Time: ");
lcd.print(timeElapsed, 3);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Viscosity: ");
lcd.print(viscosity, 3);

// Tampilkan hasil di Serial Monitor
Serial.print("Time Elapsed: ");
Serial.print(timeElapsed, 3);
Serial.println(" seconds");

Serial.print("Calculated Viscosity: ");
Serial.print(viscosity, 3);
Serial.println(" Pa.s");

delay(5000);
lcd.clear();
lcd.print("Ready to Start");
startDetected = false;
}
}
}

```

B. Viskositas Bola Jatuh Sudah Kalibrasi

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Keypad.h>

// Konfigurasi LCD I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Pastikan alamat I2C sesuai dengan perangkat Anda

// Konfigurasi Keypad
const byte ROWS = 4; // 4 baris
const byte COLS = 4; // 4 kolom
char keys[ROWS][COLS] = {

```

```

    {'1', '2', '3', 'A'},
    {'4', '5', '6', 'B'},
    {'7', '8', '9', 'C'},
    {'*', '0', '#', 'D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {2, 3, 4, 5}; // Pin baris
byte colPins[COLS] = {6, 7, 8, 9}; // Pin kolom
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);

// Konfigurasi Reed Switch
const int sensorStart = 10; // Pin reed switch awal
const int sensorStop = 11; // Pin reed switch akhir

// Variabel Global
float massBall; // Massa bola (kg)
float radiusBall; // Jari-jari bola (m)
float densityFluid; // Massa jenis cairan (kg/m³)
float distance = 0.5; // Jarak antar sensor (m)
float timeElapsed; // Waktu tempuh bola
bool massSet = false;
bool radiusSet = false;
bool densitySet = false;
bool startDetected = false;

String input = "";

// Fungsi untuk menangani input keypad
void handleInput(char key, String &input, bool &valueSet, const char *prompt, float &value)
{
    if (key == '#') {
        value = input.toFloat();
        valueSet = true;
        lcd.clear();
        lcd.print("Value Set:");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(value, 5);

        Serial.print(prompt);
        Serial.print(" Set to: ");
        Serial.println(value, 5);

        delay(2000);
        lcd.clear();
        lcd.print("Next Input...");
        input = "";
    } else if (key == '*') {
        input = "";
        lcd.clear();

```

```

    lcd.print(prompt);
    Serial.println("Input Reset");
} else if (key == 'A') {
    if (input.indexOf('.') == -1) {
        input += '.';
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(input);
    }
} else {
    input += key;
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(input);
}
}

void setup() {
    lcd.begin();
    lcd.backlight();
    pinMode(sensorStart, INPUT_PULLUP);
    pinMode(sensorStop, INPUT_PULLUP);

    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Program Started");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Input Mass Ball:");
}

void loop() {
    if (!massSet) {
        char key = keypad.getKey();
        if (key) {
            handleInput(key, input, massSet, "Input Mass Ball:", massBall);
        }
        return;
    }

    if (massSet && !radiusSet) {
        char key = keypad.getKey();
        if (key) {
            handleInput(key, input, radiusSet, "Input Radius:", radiusBall);
        }
        return;
    }

    if (massSet && radiusSet && !densitySet) {
        char key = keypad.getKey();
        if (key) {
            handleInput(key, input, densitySet, "Input Density:", densityFluid);
        }
    }
}

```

```

    }
    return;
}

if (massSet && radiusSet && densitySet) {
    char key = keypad.getKey();
    if (key == 'D') { // Reset semua parameter
        massSet = false;
        radiusSet = false;
        densitySet = false;
        lcd.clear();
        lcd.print("Input Mass Ball:");
        Serial.println("Reset Parameters");
        return;
    }

    if (digitalRead(sensorStart) == LOW && !startDetected) {
        startDetected = true;
        lcd.clear();
        lcd.print("Ball Detected");
        Serial.println("Ball Detected at Start Sensor");
        delay(1000);
        lcd.clear();
        lcd.print("Measuring...");
        unsigned long startTime = millis();

        // Tunggu bola mencapai sensor stop dengan timeout
        while (digitalRead(sensorStop) == HIGH) {
            if (millis() - startTime > 60000) {
                lcd.clear();
                lcd.print("Timeout!");
                Serial.println("Timeout waiting for ball.");
                delay(2000);
                lcd.clear();
                lcd.print("Ready to Start");
                startDetected = false;
                return;
            }
        }
        delay(1);
    }

    unsigned long stopTime = millis();
    timeElapsed = (stopTime - startTime) / 1000.0;

    // Hitung viskositas dengan hukum Stokes
    float volumeBall = (4.0 / 3.0) * 3.14159 * pow(radiusBall, 3);
    float densityBall = massBall / volumeBall;

```

```

float viscosity = (2 * pow(radiusBall, 2) * (densityBall - densityFluid) * 9.81 * timeElapsed)
/ (9 * distance);

// Koreksi viskositas berdasarkan jenis cairan
if (abs(densityFluid - 1000.0) < 1.0) {
    viscosity *= 0.016518;
}
else if (abs(densityFluid - 1260.0) < 1.0) {
    viscosity *= 0.311533;
}
else if (abs(densityFluid - 920.0) < 1.0) {
    viscosity *= 0.054451;
}

// Tampilkan hasil
lcd.clear();
lcd.print("Time: ");
lcd.print(timeElapsed, 3);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Viscosity:");
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(viscosity, 3);

Serial.print("Time Elapsed: ");
Serial.print(timeElapsed, 3);
Serial.println(" seconds");

Serial.print("Corrected Viscosity: ");
Serial.print(viscosity, 3);
Serial.println(" Pa.s");

delay(5000);
lcd.clear();
lcd.print("Ready to Start");
startDetected = false;
}
}
}

```

Lampiran 3

PERHITUNGAN

Diketahui:

$$m_{bola} = 0,00748 \text{ kg}$$

$$d = 0,0133 \text{ m}$$

$$r = 0,00665 \text{ m}$$

$$s = 0,5 \text{ m}$$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\rho_{bola} = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{4}{3}\pi 0,00665^3$$

$$\rho_{bola} = \frac{0,00748}{1,231 \times 10^{-6}}$$

$$V = 1,231 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho_{bola} = 6076,36 \text{ kg/m}^3$$

- Air

- $t = 0,175 \text{ s}$

- Perhitungan Viskositas Dengan Hukum Stokes

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_{(bola)} - \rho_{(cairan)})gt}{9s}$$

$$\eta = \frac{2 \times 0,00665^2 (6076,36 - 1000) \times 9,81 \times 0,175}{9 \times 0,5}$$

$$\eta = 0,171 \text{ Pa.s}$$

- Perhitungan Faktor Koreksi

$$k = \frac{\eta_{standar}}{\eta_{alat}}$$

$$k = \frac{0,0026}{0,1574}$$

$$k = 0,0165$$

- Perhitungan Viskositas Setelah Kalibrasi

$$\eta_{kalibrasi} = \eta_{alat} \times k$$

$$\eta_{kalibrasi} = 0,171 \times 0,0165$$

$$\eta_{kalibrasi} = 0,0028 \text{ Pa.s}$$

$$\eta_{kalibrasi} = 0,003 \text{ Pa.s}$$

- Gliserin

- $t = 2,671 \text{ s}$

- Perhitungan Viskositas Dengan Hukum Stokes

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_{(bola)} - \rho_{(cairan)})gt}{9s}$$

$$\eta = \frac{2 \times 0,00665^2 (6076,36 - 1261) \times 9,81 \times 2,671}{9 \times 0,5}$$

$$\eta = 2,655 \text{ Pa.s}$$

- Perhitungan Faktor Koreksi

$$k = \frac{\eta_{standar}}{\eta_{alat}}$$

$$k = \frac{0,826}{2,6514}$$

$$k = 0,3115$$

- Perhitungan Viskositas Setelah Kalibrasi

$$\eta_{kalibrasi} = \eta_{alat} \times k$$

$$\eta_{kalibrasi} = 2,387 \times 0,3115$$

$$\eta_{kalibrasi} = 0,743 \text{ Pa.s}$$

- Minyak Goreng

- $t = 0,875 \text{ s}$

- Perhitungan Viskositas Dengan Hukum Stokes

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_{(bola)} - \rho_{(cairan)})gt}{9s}$$

$$\eta = \frac{2 \times 0,00665^2 (6076,36 - 920) \times 9,81 \times 0,875}{9 \times 0,5}$$

$$\eta = 0,869 \text{ Pa.s}$$

- Perhitungan Faktor Koreksi

$$k = \frac{\eta_{standar}}{\eta_{alat}}$$

$$k = \frac{0,0624}{1,145982}$$

$$k = 0,0544$$

- Perhitungan Viskositas Setelah Kalibrasi

$$\eta_{kalibrasi} = \eta_{alat} \times k$$

$$\eta_{kalibrasi} = 0,869 \times 0,0544$$

$$\eta_{kalibrasi} = 0,047 \text{ Pa.s}$$



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200604110048
Nama : AL FI AMRU RAMADHANI
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : FARID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : RUSLI, M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : RANCANG BANGUN ALAT UKUR VISKOSITAS CAIRAN BERBASIS ARDUINO DENGAN METODE BOLA JATUH

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	27 Desember 2023	FARID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.	Konsultasi Judul	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
2	16 April 2024	FARID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.	Konsultasi Bab I dan Bab III	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	24 September 2024	FARID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.	Konsultasi Bab I, II, dan III	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	06 Januari 2025	RUSLI, M.Si	Konsultasi Integrasi Bab I dan II	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
5	17 Desember 2025	FARID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.	Konsultasi Bab IV	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	09 Februari 2026	FARID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.	Revisi Seminar Hasil	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	09 Juni 2026	FARID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.	Konsultasi Sidang Skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

RUSLI, M.Si

Malang, 24 Juni 2026

Dosen Pembimbing 1

FARID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.



Kajur. / Kaprodi,