

**RANCANG BANGUN SISTEM UKUR DENSITAS,
VISKOSITAS DAN ASAM LEMAK BEBAS DARI MINYAK
JELANTAH MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ESP32**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh:

MUHAMMAD FIKRI FIRDAUS

3332190090

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi berikut:

Judul : Rancang Bangun Sistem Ukur Densitas, Viskositas dan Asam Lemak Bebas dari Minyak Jelantah Menggunakan Mikrokontroler ESP32
Nama Mahasiswa : Muhammad Fikri Firdaus
NIM : 3332190090
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 26 Juli 2024



Muhammad Fikri Firdaus

NPM. 3332190090

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut

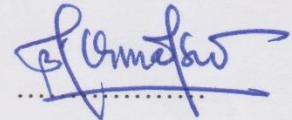
Judul : Rancang Bangun Sistem Ukur Densitas, Viskositas dan Asam Lemak Bebas dari Minyak Jelantah Menggunakan Mikrokontroler ESP32
Nama Mahasiswa : Muhammad Fikri Firdaus
NPM : 3332190090
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 26 Juli 2024 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS.

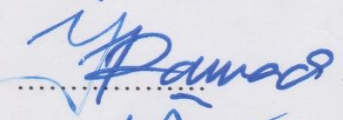
Dewan Penguji

Tanda Tangan

Pembimbing I : Dr. Irma Saraswati, S.Si., M.T.



Pembimbing II : Yus Rama Denny M., S.Si., M.Si., Ph.D.



Penguji I : Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc.



Penguji II : Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.

.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc.

NIP. 198103282010121001

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Penelitian ini dilakukan dalam rangka memenuhi skripsi sebagai salah satu syarat kelulusan untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan laporan skripsi ini di antaranya:

1. Kedua orang tua, kedua kakak beserta suami dan anak-anaknya, dan keluarga besar dari kedua orang tua yang telah memberikan dukungan, doa dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi.
2. Bapak Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa sekaligus Dosen Penguji I Sidang Skripsi yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang sangat berharga dalam penyusunan laporan skripsi.
3. Ibu Dr. Irma Saraswati, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing I Skripsi yang telah memberikan arahan dan bimbingannya kepada penulis untuk menyelesaikan laporan skripsi.
4. Bapak Yus Rama Denny M., S.Si. M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II Skripsi sekaligus Kepala Laboratorium Fotovoltaik, Perangkat Fungsional dan Kecerdasan Buatan juga Kepala Laboratorium Terpadu, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan arahan dan bimbingannya kepada penulis untuk menyelesaikan laporan skripsi, serta memberikan izin untuk penelitian di kedua laboratorium tersebut.
5. Bapak Cakra Adipura Wicaksana, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dalam seluruh kegiatan akademik selama penulis berkuliah di Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Bapak Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji II Sidang Skripsi yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang sangat berharga dalam penyusunan laporan skripsi.

7. Bapak Dr. H. Rudi Hartono, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Pelaksana Penelitian Biodiesel pada Unit Kedaireka sekaligus Kepala Laboratorium Pengolahan Air Limbah dan Biodiesel, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis untuk melakukan penelitian dengan objek minyak jelantah, serta menandatangani laporan hasil pengujian minyak jelantah di laboratorium tersebut.
 8. Seluruh Civitas Unit Kedaireka Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, yang telah membimbing dan membantu penulis, serta menyukseskan kegiatan penelitian dan pengabdian masyarakat di kampus dan beberapa tempat di Provinsi Banten, serta kunjungan ke tempat mitra industri.
 9. Teman-teman Teknik Elektro 2019 khususnya grup belajar yang bernama Hijrah, Asisten Laboratorium Fisika Terapan 2019, Asisten Laboratorium Fotovoltaik, Perangkat Fungsional dan Kecerdasan Buatan FT UNTIRTA, serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas dukungan dan kebersamaannya yang telah membantu dan menemani penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi, baik secara langsung maupun tidak langsung.
- Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk meningkatkan wawasan kepada penulis tentunya. Akhir kata, penulis memohon maaf apabila terdapat kekeliruan di dalam penulisan laporan skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Cilegon, 26 Juli 2024



Muhammad Fikri Firdaus

ABSTRAK

Muhammad Fikri Firdaus

Teknik Elektro

Rancang Bangun Sistem Ukur Densitas, Viskositas dan Asam Lemak Bebas dari Minyak Jelantah Menggunakan Mikrokontroler ESP32

Minyak jelantah adalah limbah minyak goreng yang tidak lagi layak konsumsi dan menyebabkan berbagai macam penyakit jika dikonsumsi kembali. Minyak jelantah tidak boleh dibuang sembarangan karena akan mencemari lingkungan. Salah satu solusi untuk memanfaatkan minyak jelantah tanpa merusak lingkungan adalah dengan mengubahnya menjadi biodiesel. Nilai parameter uji dari minyak jelantah perlu diketahui sebelum diubah menjadi biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem yang dapat mengukur densitas, viskositas dan kandungan asam lemak bebas pada minyak jelantah. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler DOIT ESP32 DEVKIT V1 yang terhubung dengan sensor *load cell* dan modul *amplifier* HX711, modul sensor *magnetic reed*, modul sensor LDR, laser biru, *relay* 5 VDC, ketiga *push button*, LCD dan modul I2C untuk memperoleh data yang akurat. Metode yang digunakan melibatkan pengukuran fisis dan pengolahan data digital. Pengujian dilakukan pada sampel minyak jelantah yang dikumpulkan dari rumah tangga dan pengepul minyak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas minyak jelantah berkisar antara 909 s.d 937 kg/m³, viskositas 26 s.d. 34 mPa.s dan asam lemak bebas 0,08 s.d 5% palmitat, dengan rata-rata kesalahan 0,359%, 3,566% dan 8,342% yang dibandingkan dengan referensi laboratorium.

Kata kunci: Minyak Jelantah, Densitas, Viskositas, Asam Lemak Bebas

ABSTRACT

Muhammad Fikri Firdaus

Electrical Engineering

Measuring System Design of Density, Viscosity and Free Fatty Acid from Waste Cooking Oil Using ESP32 Microcontroller

Waste Cooking Oil (WCO) is leftover frying oil that is no longer suitable for use and has the potential to cause various diseases if consumed again. WCO should not be thrown away carelessly because it will pollute the environment. One way that WCO can be reused without polluting the environment is to convert it into biodiesel. The test parameter values of WCO need to be known before it is converted into biodiesel. This research aims to design and develop a system that can measure the density, viscosity and Free Fatty Acids (FFA) content of WCO. The system is built using the DOIT ESP32 DEVKIT V1 microcontroller, which is connected to a load cell sensor and HX711 amplifier module, magnetic reed sensor module, LDR sensor module, blue laser, 5 VDC relay, three push buttons, LCD and I2C module to ensure accurate data acquisition. The methodology involves physical measurements and digital data processing. The testing was conducted on WCO samples collected from household and oil collectors. The results indicated that the WCO density ranged from 909 to 937 kg/m³, viscosity from 26 to 34 mPa.s and FFA from 0,08% to 5% palmitic, with average errors of 0,359%, 3,566% and 8,342% compared to laboratory reference values.

Keywords: Waste Cooking Oil (WCO), Density, Viscosity, Free Fatty Acids (FFA)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Minyak Goreng Sawit.....	6
2.2. Biodiesel	7
2.3. Densitas.....	7
2.4. Viskositas.....	7
2.5. Spektrum Elektromagnetik	10
2.6. Hukum Beer-Lambert	11
2.7. Garis Regresi Kuadrat Terkecil	11
2.8. Sensor	13
2.8.1. Sensor <i>Load Cell</i>	13
2.8.2. Sensor <i>Magnetic Reed</i>	14
2.8.3. Sensor <i>Light Dependent Resistor (LDR)</i>	15
2.9. Penampil LCD Berbasis Teks.....	17
2.10. Mikrokontroler ESP32.....	18
2.11. Laser	19

2.12. <i>Relay</i>	20
2.13. Toleransi Pengukuran Sensor	21
2.14. Kajian Pustaka	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Alur Penelitian	24
3.2. Observasi Komponen Penelitian.....	26
3.2.1. Komponen <i>Software</i>	26
3.2.2. Komponen <i>Hardware</i>	27
3.3. Perancangan Sistem	28
3.3.1. Diagram Blok Sistem	29
3.3.2. Diagram Rangkaian Sistem.....	30
3.3.3. Ilustrasi Tampilan Sistem.....	31
3.4. Metode Pengukuran Ketiga Parameter	31
3.4.1. Metode Pengukuran Densitas.....	31
3.4.2. Metode Pengukuran Viskositas.....	32
3.4.3. Metode Pengukuran Asam Lemak Bebas	32
3.5. Kalibrasi Sensor.....	34
3.6. Tahap Pengujian Alat	35
3.7. <i>Flowchart</i> Cara Kerja Sistem	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1. Hasil Perancangan Sistem.....	38
4.2. Pengujian Sensor	40
4.2.1. Pengujian Sensor <i>Load Cell</i>	40
4.2.2. Pengujian Sensor <i>Magnetic Reed</i>	41
4.2.3. Pengujian Sensor LDR.....	42
4.3. Pengujian LCD	43
4.4. Pembuatan <i>Scatter Plot</i> untuk Pengujian FFA	44
4.5. Hasil Pengujian Sistem Ukur Parameter Minyak Jelantah	45
4.5.1. Hasil Pengujian Densitas Minyak Jelantah	45
4.5.2. Hasil Pengujian Viskositas Minyak Jelantah	46
4.5.3. Hasil Pengujian FFA Minyak Jelantah	48
4.5.4. Hasil Penelitian Secara Keseluruhan	49

BAB V PENUTUP	52
5.1. Kesimpulan.....	52
5.2. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN A <i>LISTING CODE ALGORITHM</i>	A-1
LAMPIRAN B TABEL DAN DOKUMENTASI PENDUKUNG	B-1
LAMPIRAN C <i>DATASHEETS AND LITERATURE VALUES</i>	C-1
LAMPIRAN D BERKAS FORM PERSYARATAN SKRIPSI	D-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Minyak Goreng Sawit Murni dan Minyak Jelantah.....	6
Gambar 2.2 Gaya yang Bekerja pada Bola	9
Gambar 2.3 Susunan Panjang Gelombang Radiasi Elektromagnetik	10
Gambar 2.4 Diagram Spektrofotometer Sederhana	11
Gambar 2.5 Sensor <i>Load Cell</i> dan <i>HX711 Amplifier</i>	13
Gambar 2.6 Modul Sensor <i>Magnetic Reed</i>	14
Gambar 2.7 Modul Sensor LDR	15
Gambar 2.8 LCD 4×20 dan Modul I2C	17
Gambar 2.9 <i>Pinout</i> dari DOIT ESP32 DEVKIT V1	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem	29
Gambar 3.3 Diagram Rangkaian Sistem.....	30
Gambar 3.4 Ilustrasi Desain 3D Sistem	31
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Cara Kerja Sistem.....	37
Gambar 4.1 Perancangan Sistem.....	38
Gambar 4.2 Penempatan Komponen Elektronik di dalam <i>Box</i>	39
Gambar 4.3 LCD dan Ketiga <i>Push Button</i>	39
Gambar 4.4 Posisi Wadah saat Pengujian.....	40
Gambar 4.5 Tampilan pada LCD 4×20.....	43
Gambar 4.6 Diagram Penyebaran FFA dan Resistansi dari Data Primer	44
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Densitas dari Data Primer	45
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Densitas dari Data Sekunder.....	46
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Viskositas dari Data Primer	47
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Viskositas dari Data Sekunder.....	47
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan FFA dari Data Primer	48
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan FFA dari Data Sekunder	49
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Hasil Semua Pengujian dari Data Primer	50
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Hasil Semua Pengujian dari Data Sekunder .	50
Gambar B.1 Menimbang Bandul 500 gram dengan Sensor <i>Load Cell</i>	B-4
Gambar B.2 Pembacaan Massa Benda dengan Sensor <i>Load Cell</i>	B-10

Gambar B.3 Hasil Perhitungan Waktu dengan Sensor <i>Magnetic Reed</i>	B-12
Gambar B.4 Pembacaan Nilai Resistansi dari Sensor LDR.....	B-14
Gambar B.5 Grafik Perbandingan Keempat Kecepatan Rotor Berdasarkan Viskositas pada 30 Sampel Minyak Jelantah.....	B-17
Gambar B.6 Grafik Perbandingan Keempat Kecepatan Rotor Berdasarkan Torsi Rotor pada 30 Sampel Minyak Jelantah	B-18
Gambar C.1 <i>Datasheet</i> Sensor <i>Load Cell</i> dan Penguat HX711.....	C-1
Gambar C.2 <i>Datasheet</i> Modul Sensor <i>Magnetic Reed</i> KY-025	C-3
Gambar C.3 <i>Datasheet</i> Modul Sensor LDR	C-7
Gambar C.4 <i>Datasheet</i> Sensor LDR NSL-19M51.....	C-9
Gambar C.5 <i>Datasheet</i> Mikrokontroler DOIT ESP32 DEVKIT V1	C-13
Gambar C.6 Spesifikasi Laser Biru.....	C-14
Gambar C.7 Laporan Hasil Pengujian Densitas Minyak Jelantah dari Laboratorium Pengolahan Air Limbah dan Biodiesel	C-16
Gambar C.8 Laporan Hasil Pengujian Viskositas Minyak Jelantah dari Laboratorium Pengolahan Air Limbah dan Biodiesel	C-18
Gambar C.9 Laporan Hasil Pengujian Asam Lemak Bebas Minyak Jelantah dari Laboratorium Pengolahan Air Limbah dan Biodiesel	C-20

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor <i>Load Cell</i> dan <i>HX711 Amplifier</i>	13
Tabel 2.2 Spesifikasi Modul Sensor <i>Magnetic Reed KY-025</i>	14
Tabel 2.3 Spesifikasi Modul Sensor LDR.....	16
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor LDR NSL-19M51	16
Tabel 2.5 Spesifikasi <i>Blue Light Visible Laser Pen</i>	20
Tabel 3.1 Komponen <i>Software</i> yang Digunakan	27
Tabel 3.2 Komponen <i>Hardware</i>	28
Tabel 4.1 Perbandingan Massa Benda Menggunakan Sensor <i>Load Cell</i> dan Neraca Analitik Digital OSK-303.....	41
Tabel 4.2 Perbandingan Waktu Tempuh Menggunakan Sensor <i>Magnetic Reed</i> dan <i>Stopwatch Y-008</i>	42
Tabel 4.3 Perbandingan Resistansi Menggunakan Sensor LDR dan Multimeter LM2330	43
Tabel B.1 Dokumentasi Wujud dari Semua Sampel Minyak	B-1
Tabel B.2 Penamaan Sampel Minyak dan Keteranganannya	B-3
Tabel B.3 Penimbangan Bandul 500 gram untuk Mendapatkan Faktor Kalibrasi	B-5
Tabel B.4 Penimbangan Massa Gelas Ukur Kosong	B-7
Tabel B.5 Pengukuran Diameter dan Penimbangan Massa Bola Magnet	B-8
Tabel B.6 Penimbangan Massa Gelas Ukur dengan Beberapa Sampel Minyak.....	B-10
Tabel B.7 Perhitungan Waktu Tempuh Bola Secara Manual	B-12
Tabel B.8 Pengukuran Resistansi LDR Menggunakan Multimeter LM2330... ..	B-14
Tabel B.9 Hasil Perbandingan Rata-Rata Viskositas dan Torsi Rotor dari 30 Sampel Minyak Jelantah pada 30, 12, 6 dan 3 RPM.....	B-16
Tabel B.10 Nilai Resistansi dan FFA dari Data Primer	B-18
Tabel B.11 Nilai Resistansi dan FFA dari Data Primer (Urutan Berdasarkan FFA)	B-21
Tabel B.12 Hasil Pengujian Sistem Ukur dari Data Primer.....	B-22
Tabel B.13 Hasil Perbandingan Densitas dari Data Primer	B-31

Tabel B.14 Hasil Perbandingan Viskositas dari Data Primer	B-32
Tabel B.15 Hasil Perbandingan FFA dari Data Primer.....	B-33
Tabel B.16 Hasil Pengujian Sistem Ukur dari Data Sekunder.....	B-34
Tabel B.17 Hasil Perbandingan Densitas dari Data Sekunder	B-36
Tabel B.18 Hasil Perbandingan Viskositas dari Data Sekunder	B-36
Tabel B.19 Hasil Perbandingan FFA dari Data Sekunder	B-37
Tabel C.1 Pengambilan Viskositas Minyak Jelantah dengan Kecepatan Rotor 3 RPM Menggunakan <i>Touchscreen Viscometer</i> TMAX-NDJ	C-21

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara produsen utama minyak kelapa sawit atau biasa disebut sebagai *Crude Palm Oil* (CPO), terutama di wilayah Sumatra, Jawa, Kalimantan dan Sulawesi. Produksi CPO di Indonesia mencapai angka sekitar 45 juta ton berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2021 [1]. Minyak kelapa sawit digunakan sebagai bahan baku minyak goreng, yang merupakan kebutuhan pokok dalam kehidupan sehari-hari [2].

Minyak goreng adalah satu dari sembilan bahan pokok esensial di Indonesia dan dikonsumsi oleh semua lapisan masyarakat [3]. Minyak goreng menempati peringkat keempat komoditas makanan rumah tangga (sebesar 93,67%), setelah beras (98,6%), garam (96,37%) dan bawang merah (94,95%) berdasarkan data BPS di bulan Maret 2022. Komoditas tersebut bila dibandingkan dengan Maret 2021, semuanya mengalami peningkatan, karena rumah tangga lebih konsumtif [4].

Tiga merek teratas minyak goreng yang digunakan oleh masyarakat Indonesia pada tahun 2023 adalah Bimoli (37,90%), Filma (12,60%) dan Sania (10,20%) [5]. Pemeringkatan merek minyak goreng juga pernah dilakukan dengan menggunakan metode *profil matching* [6]. Data tersebut menjelaskan bahwa tingkat konsumsi masyarakat Indonesia terhadap minyak goreng sangat tinggi.

Tingginya konsumsi minyak goreng meningkatkan kebutuhan minyak setiap tahun yang menyebabkan banyak masyarakat menggunakannya berulang kali. Minyak tersebut dinamakan minyak jelantah yang sering digunakan kembali akibat harga minyak goreng yang semakin mahal [7]. Penggunaan minyak jelantah dapat menghasilkan senyawa kimia yang berbahaya bagi tubuh dan dapat memengaruhi metabolisme yang dapat menyebabkan berbagai penyakit [8].

Penggunaan minyak goreng berulang kali menurunkan kualitasnya karena peningkatan asam lemak bebas yang mengubah viskositas dan densitasnya [9]. Minyak jelantah dapat diubah menjadi barang yang ramah lingkungan, seperti lilin aroma terapi dan lilin hias [10]. Minyak jelantah juga dapat dijadikan sumber energi baru terbarukan yang disebut sebagai biodiesel [11].

Biodiesel adalah bahan bakar yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses transesterifikasi yang dikatalis basa [12]. Transesterifikasi adalah proses untuk menurunkan angka asam pada minyak jelantah, yang jika terlalu tinggi akan mempersulit pemisahan gliserol dan mengurangi hasil produksi. Proses tersebut melibatkan pertukaran kelompok organik dari alkohol dengan kelompok organik dari ester [13].

Transesterifikasi sangat sensitif terhadap kandungan asam lemak bebas atau *Free Fatty Acids* (FFA) dan dapat menghasilkan biodiesel berkualitas rendah jika FFA terlalu tinggi. Proses dua langkah diperlukan untuk mengatasi masalah ini dengan melibatkan esterifikasi terlebih dahulu untuk mengubah FFA menjadi *Fatty Acids Methyl Esters* (FAMES) sebelum dilakukan transesterifikasi trigliserida [14].

Trigliserida secara bertahap diubah menjadi digliserida, monogliserida dan gliserol dalam proses transesterifikasi. Proses tersebut sering menggunakan katalis asam atau basa, tergantung pada kandungan FFA dalam minyak [15]. Proses esterifikasi perlu dilakukan sebelum transesterifikasi, jika kadar FFA di atas 5% [16]. Penelitian lain menyebutkan bahwa reaksi transesterifikasi berhasil dilakukan jika persentase FFA kurang dari 2%, namun jika FFA lebih dari 2%, maka reaksi ini sulit dilakukan dan menyebabkan saponifikasi juga mengurangi hasil biodiesel [17]. Kadar FFA juga dapat dikurangi dengan bakteri *Bacillus thermoamylovorans* secara biologis melalui kondisi yang optimal agar menjadi biodiesel [18].

Uji parameter fisika dan kimia seperti viskositas, densitas dan asam lemak bebas perlu dilakukan untuk menentukan kualitas minyak jelantah yang baik sebelum dijadikan biodiesel [19]. Penelitian sebelumnya menguji viskositas biodiesel menggunakan teknologi *infrared* dan mikrokontroler Arduino Uno. Sensor *infrared* mendeteksi lewatnya kelereng dalam tabung untuk mengukur waktu tempuhnya, dengan metode jatuhnya kelereng ke dalam minyak. Pengujian dilakukan pada tiga sampel yakni biodiesel dari minyak kelapa, minyak goreng dan minyak jelantah. Hasilnya menunjukkan rata-rata kesalahan relatif 4,76%, dengan sistem uji yang mempermudah pengukuran viskositas secara cepat dan akurat [20].

Penelitian lain menggunakan *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) yang cahayanya diteruskan ke minyak jelantah dalam kuvet, dengan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk menerima cahaya yang

dibiaskan [21]. Metode kecerdasan buatan juga pernah digunakan untuk menentukan kualitas minyak goreng berdasarkan viskositas dan densitas dengan metode *Fuzzy logic* untuk himpunan fuzzifikasi [22]. Sistem pengukuran parameter minyak jelantah lainnya menggunakan sensor TCS3200 untuk mendeteksi warna, sensor pH untuk mengukur kadar pH, sensor konduktivitas untuk mengukur asam lemak bebas dan sensor kekeruhan untuk mengukur kekeruhan minyak [23].

Kualitas minyak goreng kemasan dan curah melalui analisis fisik dan kimia pernah diteliti dalam penelitian sebelumnya menggunakan teknologi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), viskometer, piknometer, titrasi KOH dan uji organoleptik. Hasilnya, minyak goreng kemasan memiliki kualitas lebih baik dengan viskositas dan densitas yang lebih stabil, serta angka asam lebih rendah dibandingkan minyak curah terutama setelah pemanasan [24].

Teknologi untuk mengukur parameter minyak jelantah telah banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan di masyarakat berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, namun belum terdapat penelitian yang menggabungkan pengujian parameter viskositas, densitas dan asam lemak bebas dalam satu sistem. Penelitian ini dirancang sebagai metode alternatif yang mengintegrasikan beberapa parameter dalam satu sistem uji. Sistem dirancang menggunakan sensor *load cell* untuk menimbang massa dalam pengukuran densitas, sensor *magnetic reed* untuk menghitung waktu jatuh bola magnet dalam pengukuran viskositas dan sensor LDR untuk mengukur intensitas cahaya dalam pengukuran asam lemak bebas.

1.2. Rumusan Masalah

Terdapat permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana cara merancang sistem ukur densitas, viskositas dan asam lemak bebas dari minyak jelantah menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor *load cell*, sensor *magnetic reed* dan sensor LDR?
2. Bagaimana cara menguji sistem ukur yang dirancang untuk mendapatkan nilai densitas, viskositas dan asam lemak bebas dari minyak jelantah?
3. Bagaimana cara membandingkan hasil pengukuran nilai ketiga parameter dari minyak jelantah yang diuji pada sistem dengan alat yang sudah tersedia dan juga metode standar laboratorium untuk mendapatkan akurasinya?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang telah dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem ukur densitas, viskositas dan asam lemak bebas dari minyak jelantah menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor LDR, sensor *load cell* dan sensor *magnetic reed*.
2. Menguji sistem ukur yang dirancang untuk mendapatkan nilai densitas, viskositas dan asam lemak bebas dari minyak jelantah.
3. Membandingkan hasil pengukuran nilai ketiga parameter dari minyak jelantah yang diuji pada sistem dengan alat yang sudah tersedia dan juga metode standar laboratorium untuk mendapatkan akurasinya.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis, dapat menambah wawasan tentang pembuatan sistem ukur densitas, viskositas dan asam lemak bebas dari minyak jelantah menggunakan mikrokontroler ESP32.
2. Bagi akademisi, dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya terkait pengukuran parameter minyak goreng atau minyak jelantah.
3. Bagi masyarakat, dapat dijadikan sebagai metode alternatif untuk mengukur densitas, viskositas dan asam lemak bebas dari minyak jelantah.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah ditetapkan agar penulisan sesuai dengan latar belakang dan tujuan yang telah dijelaskan, yaitu:

1. Algoritma dirancang dengan menggunakan bahasa pemrograman C.
2. Hanya tiga parameter yang diuji dengan sistem yang telah dirancang yakni densitas, viskositas dan asam lemak bebas.
3. Pengujian sekaligus acuan utama densitas dan viskositas secara fisis serta asam lemak bebas secara kimiawi dilakukan oleh pihak Laboratorium Pengolahan Air Limbah dan Biodiesel, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Khusus asam lemak bebas dinyatakan sebagai variabel bebas (*independent*).

4. Acuan kedua untuk membandingkan viskositas yang diuji pada sistem ukur yang telah dirancang yaitu dengan menggunakan alat ukur *touchscreen viscometer* dengan tipe TMAX-NDJ.
5. Seluruh parameter asam lemak bebas dinyatakan dalam persentase asam lemak bebas palmitat sesuai dengan metode uji dalam SNI 7709:2019.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan skripsi ini terdiri dari lima bab. Isi dari setiap bab dapat diuraikan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang mengenai minyak goreng sawit hingga menelaah penelitian yang terdahulu, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian seperti pengertian minyak goreng, minyak jelantah, biodiesel, densitas, viskositas, spektrum elektromagnetik, Hukum Beer-Lambert, garis regresi kuadrat terkecil, komponen elektronika yang digunakan dan toleransi pengukuran sensor, serta mengkaji beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan alur penelitian dari awal hingga akhir, observasi komponen penelitian yang diperlukan, perancangan sistem sampel minyak jelantah, metode yang digunakan untuk mendapatkan ketiga parameter, kalibrasi ketiga jenis sensor yang digunakan, tahap pengujian alat dan cara kerja dari sistem ukur yang dibuat.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dari penelitian seperti bentuk geometri dari sistem yang telah dirancang, pengujian ketiga jenis sensor, pengujian LCD, pembuatan *scatter plot* dan hasil pengujian sistem ukur minyak jelantah beserta dengan analisis sesuai dengan batasan dan parameternya.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian dalam memilah minyak jelantah lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, “Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021,” Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultura, dan Perkebunan, Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2021.
- [2] Sinuhaji, N., R. B. Ginting, Benar, C. Lestiana, “Sistem Pendukung Keputusan untuk Menentukan Kualitas *Crude Palm Oil* sebagai Bahan Baku Minyak Goreng Menggunakan Matlab dengan Metode *Fuzzy Logic Tsukamoto*,” Jurnal Informatika dan Perancangan Sistem (JIPS), vol. 4, no. 2, hal. 1–6, 2022.
- [3] Pratama, I., Ernah, “Analisis Proses Keputusan Pembelian Minyak Goreng Sawit: Studi Kasus pada Warga Korea di Kabupaten Bekasi,” Jurnal Ilmu Keluarga dan Konsumen (JIKK), vol. 14, no. 2, hal. 176–188, 2021 doi: 10.24156/jikk.2021.14.2.176.
- [4] Supriyanto, S., “Pengeluaran untuk Konsumsi Penduduk Indonesia, Maret 2022,” Subdirektorat Statistik Rumah Tangga, Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2022.
- [5] Anonim, “Komparasi *Brand Index* Minyak Goreng,” Top Brand Award, 2023, Tersedia dari: www.topbrand-award.com/komparasi_brand/bandingkan?id_award=1&id_kategori=2&id_subkategori=42 [URL dikunjungi pada 25 Agustus 2023].
- [6] Putri, A. D., A. R. Dewi. “Sistem Pendukung Keputusan Menerapkan Metode *Profile Matching* sebagai Alternatif Penentuan Minyak Goreng Terbaik,” Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer TGD, vol. 6, no. 1, hal. 183–194, 2023, doi: 10.53513/jsk.v6i1.7397.
- [7] Masyithah, C., B. Aritonang, E. Gultom, “Pembuatan Arang Aktif dari Limbah Kulit Durian sebagai Adsorben pada Minyak Goreng Bekas untuk Menurunkan Kadar Asam Lemak Bebas dan Bilangan Peroksida,” Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan, vol. II, no. 2, hal. 66–75, 2018.
- [8] Deshmukh, R.K., “*The Effect of Repeatedly Cooking Oils on Health and Wealth of a Country: A Short Communication*,” *Journal of Food Processing*

- and Technology*, vol. 10, issue 8, *Walsh Medical Media*, hal. 1–4, 2019, doi: 10.35248/2157-7110.19.10.807.
- [9] Mishra, S., M. A. Firdaus, M. Patel, G. Pandey, “A Study on the Effect of Repeated Heating on the Physicochemical and Antioxidant Properties of Cooking Oils Used by Fried Food Vendors of Lucknow City,” vol. 3, no. 7, *Discover Food*, Springer Link, 2023, doi: 10.1007/s44187-023-00046-8.
- [10] Adhani, A., F. Fatmawati, “Pelatihan Pembuatan Lilin Aromaterapi dan Lilin Hias untuk Meminimalisir Minyak Jelantah bagi Masyarakat Kelurahan Pantai Amal,” *Jurnal Pengabdian Masyarakat Borneo (JPMB)*, vol. 3, no. 2, hal. 31–40, 2019, doi: 10.35334/jpmb.v3i2.1095.
- [11] Sahar, S. Sadaf, J. Iqbal, I. Ullah, H. N. Bhatti, S. Nouren, Habib-ur-Rehman, J. Nisar, M. Iqbal, “Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: An Efficient Technique to Convert Waste into Biodiesel,” vol. 41, *Sustainable Cities and Society*, Elsevier, hal. 220–226, 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.05.037.
- [12] Brahma, S., B. Nath, B. Basumatary, B. Das, P. Saikia, K. Patir, S. Basumatary, “Biodiesel Production from Mixed Oils: A Sustainable Approach towards Industrial Biofuel Production,” *Chemical Engineering Journal Advances*, vol. 10, Elsevier, hal. 100284, 2022, doi: 10.1016/j.ceja.2022.100284.
- [13] Hadrah, H., M. Kasman, F. M. Sari, “Analisis Minyak Jelantah sebagai Bahan Bakar Biodiesel dengan Proses Transesterifikasi,” *Jurnal Daur Lingkungan*, vol. 1, no. 1, hal. 16-21, 2018, doi: 10.33087/daurling.v1i1.4.
- [14] Ferrusca, M. C., R. Romero, S. L. Martínez, A. Ramírez-Serrano, R. Natividad, “Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: A Perspective on Catalytic Processes,” *Processes*, vol. 11, no. 7, MDPI, hal. 1952, 2023, doi: 10.3390/pr11071952.
- [15] Almady, S. S., A. I. Moussa, M. M. Deef, M. F. Zayed, S. M. Al-Sager, A. M. Aboukarima, “Biodiesel Production through the Transesterification of Non-Edible Plant Oils Using Glycerol Separation Technique with AC High Voltage,” *Sustainability*, vol. 16, no. 7, MDPI, hal. 2896, 2024, doi: 10.3390/su16072896.

- [16] Darajat, M. I., R. Rachmaditasari, M. Mahfud, “Pra Desain Pabrik Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD),” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 13, no. 1, hal. F13–F18, 2024, doi: 10.12962/j23373539.v13i1.120713.
- [17] Miyuranga, K. A. V., U. S. P. R. Arachchige, R. A. Jayasinghe, G. Samarakoon, “*Purification of Residual Glycerol from Biodiesel Production as a Value-Added Raw Material for Glycerolysis of Free Fatty Acids in Waste Cooking Oil*,” *Energies*, vol. 15, no. 23, MDPI, hal. 8856, 2022, doi: 10.3390/en15238856.
- [18] Sangkharak, K., S. Klomklao, N. Paichid, T. Yunu. “*Statistical Optimization for Fatty Acid Reduction in Waste Cooking Oil Using a Biological Method and the Continuous Process for Polyhydroxyalkanoate and Biodiesel Production*,” *Biomass Conversion Biorefinery*, vol. 13, hal. 9841–9854, 2021, doi: 10.1007/s13399-021-01756-8.
- [19] Aworanti, O. A., A. O. Ajani, S. E. Agarry, K. A. Babatunde, O. D. Akinwumi, “*Evaluation of Process Parameters for Biodiesel Production from Vegetable and Palm Waste Frying Oils Using a Homogeneous Catalyst*,” *International Journal of Energy Engineering*, vol. 9, no. 2, *Scientific & Academic Publishing*, hal. 25–35, 2019, doi: 10.5923/j.ijee.20190902.01.
- [20] Muhammad, K., A. Yudhana, “Alat Uji Viskositas Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas Berbasis Teknologi *Infrared*,” *TRANSMISI: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 21, no. 3, hal. 79–83, 2019, doi: 10.14710/transmisi.21.3.79-83.
- [21] Drantantiyas, N. D. G., O. F. T. Maryana, I. Herlina, P. Santoso, “Potensi Cahaya Laser sebagai Sensor Kadar Asam Lemak Jenuh pada Minyak Jelantah,” *Jurnal Fisika Indonesia (JFI)*, vol. 24, no. 3, hal. 156–159, 2020, doi: 10.22146/jfi.v24i3.57418.
- [22] Zyaputra, A., A. Surapati, R. S. Rinaldi, “Perancangan Alat Pendeteksi Kualitas Minyak Goreng dengan Parameter Viskositas dan Densitas Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*,” *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 11, no. 1, hal. 22–28, 2021, doi: 10.33369/jamplifier.v11i1.17133.

- [23] Huda, M., F. A. Soelistianto, N. Suharto, “*Telemonitoring Based Waste Cooking Oil Quality Detection and Sorting System,*” *Journal of Telecommunication Network* (Jurnal Jaringan Telekomunikasi), vol. 12, no. 4, hal. 265–269, 2022, doi: 10.33795/jartel.v12i4.516.
- [24] Rohim, A. M., P. Marwoto, S. Priatmoko, A. Syifa, “*Analysis FTIR Test, Viscosity, Density, Acid Number, and Organoleptic in Bulk Cooking Oil with Packaged Cooking Oil,*” *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA)*, vol. 9, no. 5, hal. 2613–2618, 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i5.2533.
- [25] Astuti, T. D., “Pengaruh Penggorengan Berulang terhadap Kualitas Minyak Goreng,” *Borneo Journal of Medical Laboratory Technology (BJMLT)*, vol. 1, no. 2, hal. 62–66, 2019, doi: 10.33084/bjmlt.v1i2.713.
- [26] Kurniasih, T., G. A. Utama, R. R. Sood., “Distribusi Perdagangan Komoditas Minyak Goreng Indonesia 2021,” Direktorat Statistik Distribusi, Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2021.
- [27] Tari, N. W. A., R. Wirawan, K. A. Hadi, “Analisis Perbedaan Minyak Goreng Kemasan dan Curah Berdasarkan Parameter Konstanta Dielektrik,” Skripsi, Fakultas MIPA, Universitas Mataram, 2018.
- [28] Awaliyah, N., “Biodiesel Minyak Jelantah,” Amerta Media, Banyumas, 2021.
- [29] Kurniasih, E., “Merancang Energi Masa Depan dengan Biodiesel,” Penerbit Andi, Yogyakarta, 2020.
- [30] Tipler, P. A., G. Mosca, “*Physics for Scientists and Engineers,*” Edisi ke-6, W. H. Freeman and Company, 2008.
- [31] Young, H. D., R. A. Freedman, “*University Physics with Modern Physics,*” Edisi ke-14, Pearson Education Limited, 2016.
- [32] Abdullah, M., “Fisika Dasar I,” Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, 2016, Tersedia dari: <https://fmipa.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2017/12/Diktat-Fisika-Dasar-I.pdf> [URL dikunjungi pada 27 September 2023].
- [33] Walker, J., “*Fundamental of Physics,*” Edisi ke-10, John Wiley & Sons, Inc., 2014.

- [34] Timberlake, K., W. Timberlake, “*Basic Chemistry*,” Edisi ke-6, Pearson Education, Inc., 2019.
- [35] Zumdahl, S. S., S. A. Zumdahl, “*Chemistry*,” Edisi ke-9, Cengage Learning, 2014.
- [36] Supranto, J., “*Statistik Teori & Aplikasi Edisi 8 Jilid 1*,” Edisi ke-8, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2016.
- [37] Sabrina, F. A., W. V. Nandita, D. D. Maharani, “Uji Asumsi Klasik untuk Menghindari Pelanggaran Asumsi Klasik pada Regresi Linier *Ordinary Least Squares* (OLS) dalam Ekonometrika,” *Jurnal Ilmiah Manajemen Ekonomi Dan Akuntansi (JIMEA)*, vol. 1, no. 1, hal. 195–203, 2023, doi: 10.62017/jimea.v1i1.505.
- [38] Dunn, O. J., V. A. Clark, “*Basic Statistics: A Primer for the Biomedical Sciences*,” Edisi ke-4, John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [39] Kadir, A., “*Arduino dan Sensor - Tuntunan Praktis Mempelajari Penggunaan Sensor untuk Aneka Proyek Elektronika Berbasis Arduino*,” Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2018.
- [40] Anonim, “*Datasheet of Load Cell (5 kg)*,” SIMAC Electronics GmbH, 2022, Tersedia dari: <https://joy-it.net/en/products/SEN-HX711-05> [URL dikunjungi pada 27 September 2023].
- [41] Khan, H., “*Datasheet of KY-025 Reed Switch Sensor*,” DatasheetHub, 2023, Tersedia dari: www.datasheethub.com/ky-025-reed-switch-sensor/ [URL dikunjungi pada 14 Agustus 2024].
- [42] Depari, S. S. B., D. Hamdani, R. Medriati, “Pengembangan Alat Peraga Viskositas Menggunakan Sensor *Mini Reed Switch Magnetic* Berbasis Arduino Uno,” *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika (JP2F)*, vol. 15, no. 1, hal. 18–30, 2024, doi: 10.26877/jp2f.v15i1.17461.
- [43] Wiryadinata, R., J. Lelono, Alimuddin, “Aplikasi Sensor LDR (*Light Dependent Resistant*) sebagai Pendeteksi Warna Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal Sistem Komputer*, vol. 4, no. 1, hal. 12–16, 2014.
- [44] Anonim, “*LDR Sensor Module & How LDR Sensor Works*,” 2020, Tersedia dari: www.electroduino.com/ldr-sensor-module-how-ldr-sensor-works/ [URL dikunjungi pada 27 Agustus 2023].

- [45] Anonim, “*Datasheet of To-18 Ceramic Package Photocells NSL-19M51*,” 2016, Tersedia dari: <https://docs.rs-online.com/7251/0900766b8156674e.pdf> [URL dikunjungi pada 29 Juli 2024].
- [46] Muharnis, Khairudinsyah, “Analisa Perbandingan Pengukuran Intensitas Cahaya *Peaktech* Tipe 5035 dengan Sensor LDR Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535 di Gedung Teknik Elektro Politeknik Negeri Bengkalis,” *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, vol. 5, no. 1, hal. 1–6, 2017.
- [47] Saputra, R., N. Safitri, A. Deolika, “Rancangan Sensor Cahaya sebagai Penerangan Jalan Otomatis pada Miniatur Komplek Pendidikan Yayasan Al-Ma’arif NU,” *Journal of Information Technology (JIFOTECH)*, vol. 3, no. 1, hal. 6–10, 2023, doi: 10.46229/jifotech.v3i1.555.
- [48] Agarwal, N., “*Difference Between LDR and Photodiode*,” *Electronics For You*, 2024. Tersedia dari: www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/difference-between-ldr-and-photodiode. [URL dikunjungi pada 15 Agustus 2024].
- [49] Pratama, E. W., A. Kiswantonono, “*Electrical Analysis Using ESP-32 Module in Realtime*,” *Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences (JEECS)*, vol. 7, no. 2, hal. 1273–1284, 2022, doi: 10.54732/jeeecs.v7i2.21.
- [50] Anonim, “ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO *Pinout*,” 2018, Tersedia dari: www.circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout/ [URL dikunjungi pada 25 Agustus 2023].
- [51] Mohanan, V., “*DOIT ESP32 DevKit V1 Wi-Fi Development Board – Pinout Diagram & Arduino Reference*,” *Circuitstate Electronics*, 2022, Tersedia dari: www.circuitstate.com [URL dikunjungi pada 30 September 2023].
- [52] Aji, B. A. S., F. Z. Rahmanti, “Dasar Pemrograman dalam Bahasa C,” Deepublish, Sleman, 2022.
- [53] Budijanto, A., S. Winardi, K. E. Susilo, “*Interfacing dengan ESP32*,” Scopindo Media Pustaka, Surabaya, 2021.
- [54] Chaitanya, “*ESP32 vs ESP8266 – Which One To Choose?*,” *ElectronicsHub*, 2024, Tersedia dari: <https://www.electronicshub.org/esp32-vs-esp8266/> [URL dikunjungi pada 24 September 2023].

- [55] Csele, M., “*Fundamentals of Light Sources and Lasers*,” John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [56] Anonim, “*Stable Purple Blue Beam Light Visible 5mW 405nm Laser Pointer Laser Pen Powerful*,” 2024, Tersedia dari: www.3dcart-jjones.com.3dcartstores.com/Stable-Purple-Blue-Beam-Light-Visible-5mW-405nm-Laser-Pointer-Laser-Pen-Powerful_p_16648.html [URL dikunjungi pada 10 Juni 2024].
- [57] Suhendar, A. S. Pramudyo, P. Pakpahan, “Rancang Bangun Pengendali Adaptif untuk Menjaga Stabilitas Jaringan Akibat Beban Lebih Peralatan Listrik Rumah Tangga,” *Protek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 3, no. 1, hal. 1–6, 2016, doi: 10.33387/protk.v3i1.34.
- [58] Saraswati, I., B. W. Komara, Suhendar, H. Haryanto, “*Automatic Water Level Sensor dan Pendeteksi Keruh Air Kolam Renang dengan Sensor Turbidity Berbasis IoT*,” *Jurnal Ilmiah Setrum*, vol. 12, no. 1, hal. 83–90, 2023, doi: 10.36055/setrum.v12i1.20336.
- [59] Huda, A. S. M., T. A. Zuraiyah, F. L. Hakim, “*Prototype Alat Pengukur Jarak dan Sudut Kemiringan Digital Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Accelerometer Berbasis Arduino Nano*,” *Bina Insani ICT Journal*, vol. 6, no. 2, hal. 185–194, 2019.
- [60] Ivory, R. A., N. Kholis, Nurhayati, F. Baskoro, “*Review Penggunaan Sensor Suhu terhadap Respon Pembacaan Skala pada Inkubator Bayi*,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, hal. 185–194, 2021, doi: 10.26740/jte.v10n1.p185-194.
- [61] Aziz, I., S. Nurbayti, B. Ulum, “*Esterifikasi Asam Lemak Bebas dari Minyak Goreng Bekas*,” *Jurnal Kimia Valensi*, vol. 2, no. 2, hal. 384–388, 2011, doi: 10.15408/jkv.v2i2.201.
- [62] Anonim, “Standar Nasional Indonesia (SNI) 7709:2019, Minyak Goreng Sawit,” Komite Teknis 67-04, Makanan dan Minuman, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2019.
- [63] Ghozali, I., “*Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 26*,” Edisi ke-10. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2021.