



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (AE43250)

KLASIFIKASI KUALITAS AREA KERJA GALANGAN KAPAL SELAM BERDASARKAN PARAMETER LINGKUNGAN DAN PERALATAN DENGAN METODE *NEURAL NETWORK*.

MOH RUSLAN MAHMUDI

NRP. 0921040030

DOSEN PEMBIMBING :

Dr. Eng, MOHAMMAD ABU JAMI'IN, S.T., M.T.

AGUS KHUMAIDI, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2025

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



PPNS

POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (AE43250)

KLASIFIKASI KUALITAS AREA KERJA GALANGAN KAPAL SELAM BERDASARKAN PARAMETER LINGKUNGAN DAN PERALATAN DENGAN METODE NEURAL NETWORK.

MOH RUSLAN MAHMUDI

NRP. 0921040030

DOSEN PEMBIMBING :

Dr. Eng, MOHAMMAD ABU JAMI'IN, S.T., M.T.

AGUS KHUMAIDI, S.ST., M.T.

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2025**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**KLASIFIKASI KUALITAS AREA KERJA GALANGAN
KAPAL SELAM BERDASARKAN PARAMETER
LINGKUNGAN DAN PERALATAN DENGAN METODE
NEURAL NETWORK**

**Disusun Oleh:
Moh Ruslan Mahmudi
0921040030**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Otomasi
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

**Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 05 Agustus 2025
Periode Wisuda : Oktober 2025**

Menyetujui,

Dosen Penguji

NUPTK

Tanda Tangan

1. Dr. Eng. M. Abu Jami'in, S.T., M.T.

(7862753654130072)

2. Lillik Subiyanto, S.T., M.T.

(4462747648130072)

3. Dimas Pristovani Riananda, S.ST., MT.

(9363771672130193)

4. Riko Satrya Fajar Jaciani Putra, S.T., M.T.

(6859776677130162)

Dosen Pembimbing

NUPTK

Tanda Tangan

1. Dr. Eng. M. Abu Jamiin, S.T., M.T.

(7862753654130072)

2. Agus Khumaidi, S.ST., M.T.

(6149771672130433)

Menyetujui

Ketua Jurusan,



Isa Rachman, S.T., M.T.

NIP. 198008162008121001

Mengetahui

Koordinator Program Studi,

Agus Khumaidi, S.ST., M.T.

NIP. 199308172020121004

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

 PPNS POLYTECHNIC POLYTECHNIC Negeri Sidoarjo	PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
--	---------------------------------	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Moh Ruslan Mahmudi
 Nrp. : 0921040030
 Jurusan/Prodi : Teknik Kelistrikan Kapal / D4-Teknik Otomasi

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahawa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

KLASIFIKASI KUALITAS AREA KERJA GALANGAN KAPAL SELAM BERDASARKAN PARAMETER LINGKUNGAN DAN PERALATAN DENGAN METODE NEURAL NETWORK

Apabila benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawa.

Surabaya, 26 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



(Moh Ruslan Mahmudi)
NRP. 0921040030

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “KLASIFIKASI KUALITAS AREA KERJA GALANGAN KAPAL SELAM BERDASARKAN PARAMETER LINGKUNGAN DAN PERALATAN DENGAN METODE NEURAL NETWORK” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Diploma 4 pada program Studi Teknik Otomasi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari peran berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan dari segi motivasi, moral, materi, serta semangat yang tiada hentinya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada.

1. Kedua orang tua saya dan saudara-saudara yang tiada hentinya terus mendoakan, memberikan semangat dan motivasi untuk terus berusaha serta mendukung segala usaha yang telah dilakukan oleh penulis semasa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak Isa Rachman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Agus Khumaidi, S.ST., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Otomasi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, sekaligus Dosen Pembimbing II pada Tugas Akhir ini, yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta waktu dan perhatian dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Pak Rian Yudha Adhitya, S.ST.,M.T. selaku koordinator tugas akhir.
5. Dr. Eng, Mohammad Abu Jami'in, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan waktunya untuk membimbing saya dengan sabar sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Dimas Pristovani Riananda, S.ST., MT., Riko Satrya Fajar Jaelani Putra, S.T., M.T. selaku Dosen penguji yang telah meluangkan waktu serta

memberikan masukan, saran, dan kritik yang membantu saya untuk memperbaiki dan memahami materi dengan baik.

7. Seluruh Jajaran Dosen Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya selama penulis menjalankan studi.
8. Seluruh teman-teman saya Teknik Otomasi 2021 atas 4 tahun yang sangat berkesan sehingga dapat dijadikan pengalaman berharga selama hidup.
9. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa depan. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua orang yang membacanya. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bisa menjadi amal jariyah yang bermanfaat bagi penulis dan bagi siapa pun yang membacanya.

Penulis

(Moh Ruslan Mahmudi)

KLASIFIKASI KUALITAS AREA KERJA GALANGAN KAPAL SELAM BERDASARKAN PARAMETER LINGKUNGAN DAN PERALATAN DENGAN METODE NEURAL NETWORK.

Moh Ruslan Mahmudi

ABSTRAK

Pemeliharaan peralatan yang tidak optimal sering menjadi penyebab utama penurunan produktivitas dan peningkatan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem klasifikasi kualitas area kerja bengkel blasting galangan kapal selam berbasis parameter lingkungan dan peralatan menggunakan metode Neural Network. Sistem dirancang berbasis teknologi Internet of Things (IoT) dengan integrasi sensor Power Meter (tegangan dan arus), GP2Y1010AU0F (sensor debu), dan SHT20 (sensor suhu dan kelembapan), yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Data dikumpulkan dan diproses secara lokal, lalu ditampilkan melalui website berbasis localhost, modul Running Text, serta indikator peringatan berupa Tower Light dan buzzer. Metode klasifikasi menggunakan Feedforward Neural Network dengan arsitektur *Hidden Layer 1* 256 neuron dan *Hidden Layer 2* 128 neuron, fungsi aktivasi ReLU, dan algoritma optimasi Adam. Model yang dihasilkan mencapai akurasi tinggi dengan R^2 sebesar 0.9590 dan RMSE 0.0332233 pada epoch ke-189 tanpa overfitting. Sistem mampu mengklasifikasikan area kerja ke dalam tiga kelas: Baik, Sedang, dan Buruk. Uji performa menunjukkan sistem bekerja real-time dan adaptif dengan hasil terbaik pada kondisi ideal ($R^2 = 0.9106$, error <1%). Pada kondisi gangguan terbatas, performa menurun ($R^2 = 0.5907$, error hingga 21.18%), sedangkan pada kondisi gangguan menyeluruh performa lebih rendah ($R^2 = 0.3502$, error 0.44–9.79%) namun tetap mampu mendeteksi anomali seperti arus nol dengan akurasi >90%. Sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Kata kunci: IoT, *Neural Network*, ESP32, klasifikasi kualitas lingkungan, pemantauan industri, bengkel blasting.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

QUALITY CLASSIFICATION OF SUBMARINE SHIPYARD WORK AREA BASED ON ENVIRONMENTAL PARAMETERS AND EQUIPMENT WITH NEURAL NETWORK METHOD.

Moh Ruslan Mahmudi

ABSTRACT

Suboptimal equipment maintenance is often the main cause of decreased productivity and increased operational costs. This study aims to develop a classification system for the quality of submarine shipyard blasting workshop work areas based on environmental and equipment parameters using the Neural Network method. The system is designed using Internet of Things (IoT) technology, integrating Power Meter sensors (voltage and current), GP2Y1010AU0F (dust sensor), and SHT20 (temperature and humidity sensor), controlled by an ESP32 microcontroller. Data is collected and processed locally, then displayed through a localhost-based website, a Running Text module, and warning indicators in the form of Tower Lights and buzzers. The classification method uses a Feedforward Neural Network with a Hidden Layer 1 architecture of 256 neurons and a Hidden Layer 2 architecture of 128 neurons, a ReLU activation function, and the Adam optimization algorithm. The resulting model achieved high accuracy with an R^2 of 0.9590 and an RMSE of 0.0332233 at epoch 189 without overfitting. The system can classify work areas into three classes: Good, Moderate, and Poor. Performance testing shows that the system operates in real-time and is adaptive, with the best results under ideal conditions ($R^2 = 0.9106$, error <1%). Under limited disturbance conditions, performance decreases ($R^2 = 0.5907$, error up to 21.18%), while under full disturbance conditions, performance is lower ($R^2 = 0.3502$, error 0.44–9.79%) but still capable of detecting anomalies such as zero current with accuracy >90%. This system has the potential to improve operational efficiency and support data-driven decision-making.

Keywords: IoT, Neural Network, ESP32, environmental quality classification, industrial monitoring, blasting workshop.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

2.3.5	<i>MySQL Database</i>	34
2.3.6	XAMPP	35
2.3.7	Visual Studio Code.....	36
2.3.8	HTTP	37
2.3.9	MATLAB	38
2.4	<i>Hardware</i> yang digunakan.....	38
2.4.1	ESP32	39
2.4.2	<i>Power Meter</i>	41
2.4.3	SHT20 <i>ModBus RTU</i>	43
2.4.4	<i>Module P10 (Running Text)</i>	44
2.4.5	<i>Tower Light with Buzzer</i>	46
2.4.6	LCD I2C	47
2.4.7	Motor 3 <i>Phase</i>	48
2.4.8	RS485 to TTL.....	49
2.4.9	Kipas AC 220V.....	51
2.4.10	GP2Y1010	52
2.4.11	Current Transformer Fort MSQ-30 (100/5A).....	53
BAB 3	METODE PENELITIAN	56
3.1	Tahapan Penelitian.....	58
3.2	Tahap Identifikasi Awal.....	59
3.2.1	Identifikasi Masalah.....	59
3.2.2	Studi Literatur.....	60
3.3	Analisa Kebutuhan Sistem.....	61
3.4	Perancangan dan Desain	61
3.4.1	Diagram Alur Sistem	61
3.4.2	Perancangan Mekanik.....	63
3.4.3	Arsitektur <i>Website</i>	65
3.5	Perancangan Hardware	66
3.5.1	SHT20 <i>ModBus RTU</i>	68
3.5.2	<i>Module P10 (Running Text)</i>	68
3.5.3	GP2Y1010AU0F	69
3.5.4	LCD I2C	69
3.5.5	<i>Power Meter</i>	70

3.5.6	Fan AC 220V	70
3.6	Perancangan <i>Software</i>	71
3.6.1	Perancangan Perhitungan Engineering Quality Index (EQI)	72
3.6.2	Struktur Neural Network.....	76
3.6.3	Metode <i>Feedforward</i> Neural Network (FNN)	77
3.6.4	Proses Metode <i>Neural Network</i>	78
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	81
4.1	Hasil Perancangan Hardware.....	81
4.1.1	Pembuatan Printed Circuit Board (PCB)	81
4.1.2	Hasil Perancangan Panel	83
4.1.3	Hasil Perancangan Mekanik.....	83
4.2	Hasil Pengujian Sensor dan Aktuator.....	84
4.2.1	Pengujian Sensor SHT20	85
4.2.2	Pengujian Sensor GP2Y1010AU0UF	89
4.2.3	Pengujian Power Meter	92
4.2.4	Pengujian Fan AC 220V	96
4.2.5	Pengujian Inverter	98
4.2.6	Pengujian LCD I2C	100
4.2.7	Pengujian Module P10 LED Matrix	102
4.2.8	Pengujian <i>Tower Light with Buzzer</i>	104
4.3	Hasil Perancangan Software	106
4.3.1	Hasil Perancangan Website.....	107
4.3.2	Pengujian Backend	110
4.4	Implementasi Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan.....	113
4.4.1	Perhitungan Engineering Quality Index (EQI).....	113
4.4.2	Data Trainning.....	118
4.4.3	Arsitektur Backropagation Neural Network	119
4.5	Integrasi Sistem Neural Network dengan ESP32 dan Database.....	131
4.5.1	Visualisasi Logika Komunikasi Python dan Integrasi Sistem	133
4.5.2	Penjelasan EQI dan JST untuk Analisis Data	134
4.6	Data dan Pengujian	136
4.6.1	Skenario 1 Tanpa Gangguan (Lingkungan Ideal)	136
4.6.2	Skenario 2 Gangguan Terbatas pada Beberapa Parameter.....	137

4.6.3	Skenario 3 Gangguan Menyeluruh dan Fluktuatif.....	139
4.7	Tampilan pada Website.....	141
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	143
5.1	Kesimpulan	143
5.2	Saran	145
DAFTAR PUSTAKA		147
LAMPIRAN		151

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jurnal Penelitian Terdahulu	11
Tabel 2. 2 Perbandingan Suhu & Kelembapan: Standar Kesehatan.	15
Tabel 2. 3 Tabel Setpoint Klasifikasi Suhu dan Kelembapan untuk Industri di Surabaya.....	16
Tabel 2. 4 Tabel Setpoint Klasifikasi Kualitas Debu (PM ₁₀).....	18
Tabel 2. 5 Tabel Setpoint Klasifikasi Kualitas Arus dan Tegangan	20
Tabel 2. 6 Tabel Setpoint Klasifikasi	21
Tabel 2. 7 Tabel Titik Pusat setiap Parameter.....	23
Tabel 2. 8 Tabel Nilai Kategori EQI.....	25
Tabel 2. 9 Spesifikasi ESP32	40
Tabel 2. 10 Spesifikasi Power Meter ZGCJ.....	42
Tabel 2. 11 Spesifikasi ModBus RTU Temperature & Humidity (RS485).....	44
Tabel 2. 12 Spesifikasi Module P10	45
Tabel 2. 13 Spesifikasi Tower Light with Buzzer	47
Tabel 2. 14 Spesifikasi LCD I2C	48
Tabel 2. 15 Spesifikasi Motor 3 Phase.....	49
Tabel 2. 16 Spesifikasi RS485 to TTL.....	50
Tabel 2. 17 Tabel Spesifikasi GP2Y1010AU0F	53
Tabel 2. 18 Tabel Spesifikasi Current Transformer Fort MSQ-30 (100/5A)	55
Tabel 3. 1 Kebutuhan Sistem	61
Tabel 3. 2 Tabel Titik Pusat setiap Parameter.....	73
Tabel 3. 3 Tabel Nilai Kategori EQI.....	74
Tabel 3. 4 Tabel Contoh Data Aktual Parameter.	75
Tabel 3. 5 Tabel Titik Pusat setiap Parameter.....	114
Tabel 4. 1 Konektivitas Sensor SHT20.....	85
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor SHT Suhu.....	87
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor SHT Kelembapan.....	88
Tabel 4. 4 Konektivitas GP2Y1010AU0F	90
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Debu GP2Y1010AU0F.....	90
Tabel 4. 6 Konektivitas Power Meter	92
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Arus di Power Meter dengan Motor 3 fasa.....	93

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Tegangan 220v di Power Meter	94
Tabel 4. 9 Konektivitas Fan AC 220V	96
Tabel 4. 10 Konektivitas Inverter	99
Tabel 4. 11 Konektivitas LCD I2C.....	100
Tabel 4. 12 Tabel Parameter Kualitas Lingkungan	114
Tabel 4. 13 Tabel Titik Pusat setiap Parameter	114
Tabel 4. 14 Tabel Nilai Kategori EQI	116
Tabel 4. 15 Tabel Contoh Data Aktual Parameter.....	116
Tabel 4. 16 Tabel Kombinasi Data Real dan Dummy.....	119
Tabel 4. 17 Evaluasi Model Berdasarkan Jumlah Epoch dengan Python	123
Tabel 4. 18 Tabel Pembagian Jumlah Dataset.....	129
Tabel 4. 19 Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model.....	130
Tabel 4. 20 Komponen pada Sistem.....	132
Tabel 4. 21 Data pengujian kondisi ideal	136
Tabel 4. 22 Hasil Analisis Matematis Skenario 1	137
Tabel 4. 23 Data pengujian Skenario 2.....	138
Tabel 4. 24 Hasil Analisis Matematis Skenario 2	138
Tabel 4. 25 Data pengujian Skenario 3.....	139
Tabel 4. 26 Hasil Analisis Matematis Skenario 3	140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Ilustrasi <i>sandblasting</i> di Galangan	6
Gambar 2. 1 Layer Tunggal	27
Gambar 2. 2 Layer Ganda	27
Gambar 2. 3 Logo Arduino IDE	30
Gambar 2. 4 Tampilan <i>Software</i> Arduino IDE	30
Gambar 2. 5 Logo PHP	31
Gambar 2. 6 Logo Python	32
Gambar 2. 7 Logo AJAX	33
Gambar 2. 8 Logo MySQL	34
Gambar 2. 9 Logo XAMPP	36
Gambar 2. 10 Logo Visual Studio Code	37
Gambar 2. 11 Logo HTTP	37
Gambar 2. 12 Software MATLAB	38
Gambar 2. 13 ESP 32	40
Gambar 2. 14 <i>Power Meter</i> ZGCJ	41
Gambar 2. 15 SHT20	44
Gambar 2. 16 <i>Module</i> P10	45
Gambar 2. 17 <i>Tower Light with Buzzer</i>	46
Gambar 2. 18 LCD i2c	47
Gambar 2. 19 Motor 3 <i>Phase</i>	49
Gambar 2. 20 RS485 to TTL	50
Gambar 2. 21 Blower	52
Gambar 2. 22 GP2Y1010	53
Gambar 2. 23 Current Transformer Fort MSQ-30 (100/5A)	54
Gambar 3. 1 Rancangan Diagram alur penelitian	57
Gambar 3. 2 Rancangan Diagram Blok Sistem	58
Gambar 3. 3 Rancangan <i>Flowchart system</i>	62
Gambar 3. 4 Desain alat dari depan	63
Gambar 3. 5 Desain alat dari dalam	64
Gambar 3. 6 Arsitektur <i>Website</i>	66
Gambar 3. 7 Rancangan Diagram Blok Sistem Komponen pada ESP32 Utama	67

Gambar 3. 8 Rancangan Diagram Blok Sistem Komponen pada ESP32 Kedua	67
Gambar 3. 9 <i>Wiring</i> Perancangan SHT20 ModbusRTU	68
Gambar 3. 10 <i>Wiring</i> Perancangan Module P10	68
Gambar 3. 11 <i>Wiring</i> Perancangan GP2Y1010AU0F.....	69
Gambar 3. 12 <i>Wiring</i> Perancangan LCD I2C	69
Gambar 3. 13 <i>Wiring</i> Perancangan Power Meter.....	70
Gambar 3. 14 <i>Wiring</i> Perancangan Fan AC 220V	70
Gambar 3. 15 Halaman <i>Login</i>	71
Gambar 3. 16 Halaman <i>Dashboard</i>	72
Gambar 3. 17 Halaman <i>Report</i> dan Tabel data	72
Gambar 4. 1 Routing Board PCB Utama	82
Gambar 4. 2 Routing Board PCB P10.....	82
Gambar 4. 3 Hasil PCB Utama.....	82
Gambar 4. 4 Hasil PCB P10	83
Gambar 4. 5 Hasil Perancangan Panel.....	83
Gambar 4. 6 Hasil Perancangan Mekanik.	84
Gambar 4. 7 <i>Wiring</i> SHT20 ke ESP32.....	85
Gambar 4. 8 Hasil Pengujian SHT20.	89
Gambar 4. 9 <i>Wiring</i> GP2Y1010AU0F ke ESP32	90
Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Sensor Debu GP2Y1010AU0F.	91
Gambar 4. 11 <i>Wiring</i> Power Meter ke ESP32.....	92
Gambar 4. 12 Pengujian Power meter dengan Motor 3 fasa.	95
Gambar 4. 13 <i>Wiring</i> Fan AC 220V ke ESP32	96
Gambar 4. 14 Pengujian Fan AC 220V saat on dan off.	97
Gambar 4. 15 <i>Wiring</i> Inverter ke ESP32.....	98
Gambar 4. 16 Kondisi saat Inverter mati dan Kondisi Inverter menyala.	99
Gambar 4. 17 <i>Wiring</i> LCD I2C ke ESP32	100
Gambar 4. 18 Kondisi LCD I2C mati dan kondisi LCD I2C menyala.	101
Gambar 4. 19 <i>Wiring</i> Module ke ESP32	103
Gambar 4. 20 Kondisi Module P10 mati dan kondisi Module P10 menyala.	104
Gambar 4. 21 <i>Wiring</i> Tower Light with Buzzer ke ESP32.....	105
Gambar 4. 22 Kondisi Tower Light mati dan kondisi Tower Light menyala.	106

Gambar 4. 23 Tampilan Login	107
Gambar 4. 24 Tampilan Dashboard	108
Gambar 4. 25 Tampilan Tabel Histori	109
Gambar 4. 26 Flowchart Pelatihan Model	121
Gambar 4. 27 Tampilan Terminal Hasil Tuning.....	123
Gambar 4. 28 Struktur Jaringan Neural Network	125
Gambar 4. 29 Grafik Sampel Acak (200 Data).....	127
Gambar 4. 30 Grafik Scatter Actual vs. Predicted	127
Gambar 4. 31 Grafik Distribusi Densitas.....	128
Gambar 4. 32 Grafik Histogram.....	128
Gambar 4. 33 Alur Integrasi Sistem.....	131
Gambar 4. 34 Visualisasi logika komunikasi data python dan pengiriman data	133
Gambar 4. 35 Tampilan Website Kondisi Baik	142
Gambar 4. 36 Tampilan Website Kondisi Sedang	142
Gambar 4. 37 Tampilan Website Kondisi Buruk.....	142

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
IDE	: <i>Integrated Development Environment</i>
z_{in_j}	: Nilai unit tersembunyi ke- j
x_i	: Sinyal <i>input</i> pada unit <i>input</i> , di mana nilai sinyal <i>input</i> x dan sinyal <i>output</i> x adalah sama
v_{oj}	: Bobot pada unit di <i>layer</i> tersembunyi ke- j
v_{ij}	: Bobot pada unit ke- i di <i>layer</i> tersembunyi ke- j
Z_j	: Unit tersembunyi ke- j <i>input</i> jaringan ke- Z_j
	Langkah
y_{in_k}	: Nilai <i>output</i> ke- k
w_{0k}	: Bobot unit tersembunyi ke unit <i>output</i> ke- k
w_{jk}	: Bobot unit tersembunyi ke- j ke unit <i>output</i> ke- k
Y_k	: Nilai unit <i>output</i> ke- k menggunakan fungsi aktivasi
δ_k	: Nilai <i>error</i> unit <i>output</i>
t_k	: Nilai target <i>output</i>
α	: <i>Learning rate</i>
Δw_{jk}	: Perubahan bobot unit tersembunyi ke- j ke unit ouput ke- k
δ_j	: Nilai <i>error</i> unit tersembuny
Δv_{ij}	: Perubahan bobot unit <i>input</i> ke- i ke unit tersembunyi ke- j

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemeliharaan peralatan yang tidak optimal sering menjadi penyebab utama penurunan produktivitas dan peningkatan biaya operasional. Pemantauan parameter kritis, daya penggunaan alat, tegangan, suhu, kelembapan dan kualitas udara, sangat penting karena memengaruhi kinerja dan usia peralatan. Suhu serta kelembapan ekstrem dapat mempercepat kerusakan komponen, sementara tegangan yang tidak stabil dapat mengganggu sistem listrik. Untuk mengatasi hal ini, sistem *monitoring* terintegrasi menjadi solusi efektif, memungkinkan pengumpulan data kondisi peralatan secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan cepat dan akurat dalam mencegah kerusakan. Pemeliharaan mencakup jadwal pembersihan, perbaikan, penggantian sebagian, hingga penggantian total peralatan. (Nazara, 2022)

Pada era industri 4.0, teknologi *Internet of Things* (IoT) telah menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan di berbagai sektor industri. Dengan IoT, perangkat keras, *sensor*, dan perangkat lunak dapat terhubung untuk memantau, menganalisis, serta mengendalikan proses secara langsung. Dalam hal pemeliharaan peralatan industri, teknologi ini memberikan solusi terhadap berbagai tantangan, kerusakan alat, konsumsi energi yang boros, dan gangguan operasional akibat faktor lingkungan yang tidak terkontrol. Melalui penerapan Industrial IoT (IioT), tantangan-tantangan tersebut dapat diatasi dengan otomatisasi yang lebih canggih, pemantauan secara *real-time*, serta pengambilan keputusan yang didasarkan pada data yang lebih akurat. (Widodo et al., 2024)

Dalam upaya meningkatkan efisiensi pemeliharaan, penggunaan *sensor power meter*, dan *sensor suhu-kelembapan* berbasis IoT menjadi solusi yang sangat relevan. *Sensor* suhu dan kelembapan membantu mengidentifikasi kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi kinerja peralatan. Sistem *monitoring* berbasis IoT ini tidak hanya memungkinkan

pengumpulan data secara akurat tetapi juga mendukung analisis prediktif yang dapat membantu perusahaan merencanakan pemeliharaan preventif dengan lebih baik. (Prabowo & Mandala Putra, 2022)

Selain itu, pemanfaatan teknologi IoT memungkinkan perusahaan untuk melakukan optimasi penggunaan energi, mengurangi *downtime* peralatan, dan meningkatkan keselamatan operasional. Dalam lingkungan industri yang sangat kompetitif, pendekatan ini menjadi kebutuhan penting agar perusahaan dapat terus bersaing. Data *real-time* yang dikumpulkan dari sistem *monitoring* dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola kerusakan, memprediksi kegagalan komponen, dan melakukan perbaikan sebelum masalah berkembang menjadi lebih besar. Dengan demikian, IoT bukan hanya menjadi alat pemantauan, tetapi juga sebagai pendukung pengambilan keputusan strategis yang berbasis data. (Yusuf et al., 2023)

Penelitian ini dirancang untuk mengembangkan sistem *monitoring* yang mampu memantau penggunaan alat, tegangan, suhu, dan kelembapan secara *real-time* dengan memanfaatkan teknologi IoT. Dengan sistem ini, perusahaan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi *downtime*, dan meminimalkan risiko kerusakan peralatan. Selain itu, sistem ini juga memberikan kontribusi dalam upaya keberlanjutan dengan mengoptimalkan penggunaan energi dan sumber daya lainnya. (Abdurrohman, 2023)

Neural Network dengan algoritma Backpropagation dipilih sebagai metode utama dalam tugas akhir ini karena kemampuannya dalam mengatasi masalah hubungan non-linear yang sering ditemui pada data arus dan tegangan. Backpropagation, sebagai algoritma yang melatih model jaringan saraf untuk mempelajari pola data, dapat menghasilkan model yang mampu mengidentifikasi berbagai jenis beban secara efisien. Selain itu, kemampuan untuk menyesuaikan konfigurasi parameter dalam model ANN memberikan fleksibilitas dalam mengoptimalkan sistem untuk mencapai tingkat akurasi yang tinggi. Berdasarkan uji coba yang dilakukan, model ANN menggunakan algoritma Backpropagation menghasilkan tingkat akurasi yang sangat baik, yakni 95,81%. Hasil ini menunjukkan bahwa

metode ini mampu mengenali dan mengklasifikasikan jenis beban dengan tingkat presisi yang tinggi, meskipun terdapat variasi dalam profil harmonisa arus. Oleh karena itu, penerapan model jaringan saraf tiruan dengan algoritma Backpropagation sangat sesuai untuk pengembangan sistem pemantauan beban yang dapat bekerja secara real-time, efektif, dan efisien. (Purwito, 2020)

Kualitas area kerja merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi kinerja dan kesejahteraan individu di tempat kerja. Lingkungan kerja yang baik dapat meningkatkan produktivitas. Dalam konteks ini, klasifikasi kualitas area kerja sering kali mengacu pada beberapa aspek utama suhu, kelembapan, dan kualitas udara. Suhu yang nyaman berperan penting dalam menciptakan suasana yang kondusif bagi kerja.

Klasifikasi kualitas area kerja dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu kualitas baik, sedang, dan buruk. Kualitas area kerja yang baik mencakup suhu yang nyaman, kelembapan yang terjaga, dan kualitas udara yang baik, serta fasilitas kerja yang ergonomis dan mendukung kenyamanan. Di sisi lain, kualitas sedang menunjukkan area kerja yang masih memiliki kenyamanan dasar, namun ada beberapa aspek yang perlu diperbaiki, seperti pencahayaan atau fasilitas yang kurang optimal. Sedangkan, kualitas buruk menggambarkan area kerja dengan suhu dan kelembapan yang tidak ideal, fasilitas yang tidak ergonomis, serta kebersihan yang kurang terjaga, yang dapat menurunkan produktivitas dan kesejahteraan karyawan. Dengan adanya klasifikasi kualitas area kerja yang baik, perusahaan dapat menciptakan lingkungan kerja yang lebih produktif dan sehat bagi karyawan, serta memperbaiki area yang memerlukan perhatian lebih untuk menciptakan suasana kerja yang lebih kondusif.

Area *blasting* pada kapal umumnya terfokus pada bagian lambung kapal yang sering terpapar air laut, seperti bagian bawah dan sisi kapal yang lebih rentan terhadap penumpukan *fouling* dan kerusakan akibat korosi. Namun, proses sandblasting ini sering menghadapi beberapa masalah, di antaranya adalah penyebaran partikel pasir yang tidak terkendali,

peningkatan kelembapan dan suhu yang dapat mempengaruhi proses pembersihan, serta polusi debu yang dapat membahayakan lingkungan dan pekerja. Untuk mengatasi masalah ini, solusi yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan *sensor* SHT-20 untuk memantau suhu dan kelembapan di area blasting secara *real-time*. *Sensor* ini dapat memberikan data yang akurat tentang kondisi lingkungan di sekitar area sandblasting, memungkinkan penyesuaian kondisi lingkungan agar proses *blasting* dapat berlangsung lebih efisien dan aman. Selain itu, penggunaan sensor kualitas udara untuk mendeteksi konsentrasi debu di udara sangat penting untuk memastikan lingkungan kerja yang aman bagi para pekerja dan untuk mengurangi polusi. *Sensor* ini dapat membantu memantau level debu yang dihasilkan selama proses *blasting*, dan jika level debu melebihi batas yang aman, sistem dapat mengaktifkan ventilasi atau alat pengendalian debu secara otomatis. Dengan integrasi *sensor* SHT-20 dan *sensor* kualitas udara, proses *sandblasting* dapat dikendalikan lebih baik, mengurangi risiko kerusakan pada lambung kapal, serta memastikan keamanan lingkungan kerja dengan mengontrol suhu, kelembapan, dan polusi debu. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pembersihan, tetapi juga memberikan solusi yang lebih ramah lingkungan dan aman bagi pekerja. (Suchaonugnum, 2024)

Area sandblasting di galangan kapal merupakan lingkungan kerja dengan tingkat paparan debu yang tinggi akibat proses penyemprotan material abrasif untuk membersihkan permukaan kapal. Partikel debu berukuran mikron yang dihasilkan dapat membahayakan kesehatan pekerja jika terhirup terus-menerus. Selain itu, suhu dan kelembapan yang tidak terkendali dapat memperburuk kondisi kerja dan menurunkan efisiensi proses.

Salah satu acuan utama dalam menilai kualitas udara di Indonesia adalah Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). ISPU berfungsi sebagai indikator numerik yang menggambarkan tingkat pencemaran udara ambien dan potensi dampaknya terhadap kesehatan manusia. Indeks ini

mengklasifikasikan kualitas udara ke dalam beberapa kategori, yakni *Baik*, *Sedang*, *Tidak Sehat*, *Sangat Tidak Sehat*, dan *Berbahaya*, berdasarkan konsentrasi berbagai polutan seperti PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, CO, dan O₃.

Sistem ini tidak hanya digunakan dalam konteks pemantauan lingkungan kota, tetapi juga dapat diadaptasi sebagai referensi dalam lingkungan kerja industri. Dalam penelitian ini, prinsip klasifikasi ISPU digunakan sebagai dasar untuk mengelompokkan tingkat kualitas debu di area kerja galangan kapal selam, sehingga pengklasifikasian kategori "baik", "sedang", dan "buruk" dapat dilakukan secara lebih sistematis dan berbasis regulasi nasional.

Kualitas udara, suhu, dan kelembapan perlu dimonitor secara real-time untuk menentukan tingkat kondisi lingkungan, apakah berada dalam kategori baik, sedang, atau buruk. Monitoring ini penting sebagai dasar pengambilan keputusan operasional dan peningkatan keselamatan kerja. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem berbasis sensor dan klasifikasi cerdas untuk menilai kondisi lingkungan secara otomatis dan akurat pada area sandblasting galangan kapal.

Kondisi lingkungan kerja sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan keselamatan pekerja, khususnya di industri berat seperti galangan kapal selam. Suhu dan kelembapan yang melebihi batas ideal dapat menurunkan konsentrasi, mempercepat kelelahan, serta meningkatkan risiko kecelakaan dan kerusakan peralatan.

Menurut KMK No. 261/MENKES/SK/II/1998, suhu ideal di area kerja berkisar antara 18–26 °C dan kelembapan relatif 40–60%. Namun, aktivitas seperti pengelasan, sandblasting, dan pengecatan sering menyebabkan deviasi dari standar tersebut. Sayangnya, pemantauan lingkungan di lapangan masih dilakukan secara manual dan tidak berkelanjutan.

Sebagai solusi, teknologi kecerdasan buatan seperti *Neural Network* dapat dimanfaatkan untuk mengklasifikasikan kualitas area kerja secara otomatis berdasarkan data suhu dan kelembapan. Dengan model ini,

evaluasi kondisi kerja dapat dilakukan secara real-time, sehingga memungkinkan intervensi lebih cepat dan tepat.

Tugas akhir ini dipilih karena penulis magang di CV. Elmech Technology, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang sistem otomasi. CV. Elmech Technology memiliki proyek yang berfokus pada sistem monitoring kualitas kerja untuk proses blasting di salah satu galangan kapal terbesar di Indonesia. Galangan kapal ini baru membuka tempat produksi kapal selam yang membutuhkan monitoring. Di area blasting kapal selam, beberapa parameter yang diukur meliputi suhu, temperatur, kualitas udara, arus dan tegangan peralatan yang ada di area tersebut.



Gambar 1. 1 Ilustrasi *sandblasting* di Galangan
Sumber : <https://www.google.com/sandblasting>

Tantangan yang dihadapi adalah ketidakmampuan untuk memantau secara real-time, perubahan suhu dan kelembapan yang mempengaruhi hasil blasting, serta akumulasi debu yang berbahaya bagi pekerja. Sebagai solusi, sensor power meter digunakan untuk memantau peralatan blasting agar efisiensi energi dapat lebih terkontrol. Sensor SHT-20 digunakan untuk memantau suhu dan kelembapan secara real-time, memastikan kondisi lingkungan tetap optimal. Sementara itu, sensor debu GP2Y1010 dipasang untuk mendeteksi konsentrasi debu, memberikan peringatan atau mengaktifkan ventilasi jika level debu berbahaya, sehingga lingkungan kerja tetap aman dan proses blasting tetap efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diperoleh rumusan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem klasifikasi (Baik, sedang, dan buruk) kualitas area kerja galangan kapal selam berdasarkan parameter lingkungan dan peralatan menggunakan metode *Neural Network*?
2. Bagaimana memilih dan mengintegrasikan parameter lingkungan (suhu, kelembapan dan kualitas udara) serta kondisi peralatan dalam sistem klasifikasi *Neural Network*?
3. Bagaimana evaluasi akurasi dan efektivitas model *Neural Network* dalam mengklasifikasikan kualitas area kerja galangan kapal selam berdasarkan data lingkungan dan peralatan?
4. Bagaimana cara mengklasifikasikan kualitas area kerja galangan kapal selam berdasarkan data suhu dan kelembapan yang diperoleh dari *sensor* SHT20?
5. Bagaimana memproses dan menganalisis data yang diperoleh dari *sensor* GP2Y1010U0F (*sensor* kualitas udara) untuk menentukan tingkat polusi debu dan dampaknya terhadap kualitas area kerja?
6. Bagaimana mengintegrasikan data yang dikumpulkan dari *Power Meter* (tegangan dan arus) untuk menilai kinerja peralatan dan mengklasifikasikan kondisi area kerja berdasarkan penggunaan peralatan?
7. Bagaimana merancang sebuah sistem yang memungkinkan pemantauan kualitas area kerja secara real-time melalui website, serta memberikan peringatan otomatis jika ada parameter lingkungan atau kondisi peralatan yang melebihi batas aman?

1.3 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan, yaitu:

1. Fokus pada pengukuran tegangan dan arus penggunaan alat serta suhu, kelembapan dan kualitas udara lingkungan sekitar.
2. Tidak membahas integrasi sistem dengan manajemen energi secara menyeluruh atau sistem manufaktur lain.
3. Pengujian dilakukan pada skala prototipe, bukan implementasi langsung pada lini produksi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini yaitu:

1. Merancang sistem klasifikasi kualitas area kerja galangan kapal selam berdasarkan parameter lingkungan dan peralatan menggunakan metode *Neural Network*.
2. Mengintegrasikan data dari *sensor* lingkungan (suhu, kelembapan dan kualitas udara) serta kondisi peralatan untuk mendukung proses klasifikasi kualitas area kerja.
3. Mengevaluasi kinerja dan akurasi model *Neural Network* dalam mengklasifikasikan kualitas area kerja berdasarkan data yang diperoleh dari *sensor* SHT20 (suhu dan kelembapan), GP2Y1010U0F (kualitas udara), dan *Power Meter* (tegangan dan arus).
4. Menyusun metode yang dapat mengklasifikasikan kualitas area kerja galangan kapal selam berdasarkan data suhu dan kelembapan yang diperoleh dari *sensor* SHT20.
5. Mengembangkan algoritma untuk memproses dan menganalisis data kualitas udara yang diperoleh dari *sensor* GP2Y1010U0F untuk menentukan tingkat polusi debu di area kerja.
6. Mengintegrasikan data *Power Meter* untuk menilai kinerja peralatan dan membantu mengklasifikasikan kondisi area kerja berdasarkan tegangan, dan arus peralatan.
7. Mengembangkan sebuah sistem berbasis website yang dapat memantau kualitas area kerja secara langsung, serta memberikan notifikasi dini apabila parameter lingkungan atau peralatan melebihi batas yang ditentukan untuk menjaga kondisi kerja tetap optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. **Bagi penulis:** Sebagai sarana penerapan konsep IoT dalam pemeliharaan peralatan industri dan pengembangan keterampilan teknis dalam merancang sistem berbasis teknologi cerdas. Penulis juga akan mendapatkan pengalaman langsung dalam mengintegrasikan berbagai *sensor* dan perangkat keras untuk aplikasi nyata.

2. **Bagi institusi pendidikan:** Memberikan kontribusi penelitian di bidang teknologi IoT dan pemeliharaan peralatan industri yang dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain. Hasil penelitian ini juga dapat memperluas wawasan institusi dalam mengembangkan solusi berbasis teknologi untuk masalah-masalah industri.
3. **Bagi industri:** Membantu perusahaan meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya pemeliharaan, serta meminimalkan potensi kerusakan peralatan melalui sistem *monitoring* yang andal dan mudah diimplementasikan. Sistem ini juga dapat memberikan data historis yang berguna untuk analisis jangka panjang guna meningkatkan strategi pemeliharaan di masa depan.

Dengan latar belakang, tujuan, serta manfaat penelitian ini, diharapkan sistem *monitoring* yang dikembangkan dapat menjadi solusi inovatif bagi perusahaan dalam menjaga kinerja peralatan industri, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan mendukung keberlanjutan operasional di era industri 4.0. Selain itu, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membuka peluang pengembangan lebih lanjut untuk sistem yang lebih kompleks dan terintegrasi, pengelolaan energi secara menyeluruh dan pemantauan berbasis kecerdasan buatan. Dengan pendekatan ini, penelitian tidak hanya memberikan manfaat praktis tetapi juga kontribusi ilmiah dalam bidang teknologi industri modern.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan beberapa penelitian sebelumnya yang dijadikan referensi karena berhubungan dengan penelitian Tugas Akhir:

Tabel 2. 1 Jurnal Penelitian Terdahulu

Indeks.	Nama Peneliti dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	(Rangan et al., 2020)	Sistem <i>Monitoring</i> berbasis <i>Internet of things</i> pada Suhu dan Kelembaban Udara di Laboratorium Kimia XYZ	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat <i>monitoring</i> suhu dan kelembaban udara berbasis IoT dengan memanfaatkan <i>sensor</i> DHT11 dan NodeMCU ESP8266 untuk pemantauan secara <i>real-time</i> . Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan laboratorium dengan memberikan akses data secara langsung melalui perangkat mobile. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat <i>monitoring</i> ini dapat berfungsi dengan baik dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat terkait pengendalian kondisi lingkungan laboratorium.
2.	(Alfitroh & Wardana, 2023)	Rancang Bangun Sistem <i>Monitoring</i> Arus, Tegangan, Kecepatan Putar Turbin dan Suhu Berbasis IoT Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mini Skala Laboratorium	berhasil mengembangkan sistem <i>monitoring</i> berbasis IoT untuk memantau arus, tegangan, kecepatan putar turbin, dan suhu pada PLTU mini. Sistem ini menggunakan Arduino Uno, ESP-32, <i>sensor</i> LM393, ACS712, <i>sensor</i> tegangan DC 0-25V, dan MAX6675. Hasil pembacaan <i>sensor</i> ditampilkan secara <i>real-time</i> melalui aplikasi Blynk dan LCD 16x2. Pengukuran menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata <i>error</i> sebagai berikut: suhu

Indeks.	Nama Peneliti dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			(0,03%), putaran turbin (0,01%), tegangan (0,07%), dan arus (0,10%).
3.	(Suchaonugnum, 2024)	Analisis Sand Blasting dan Coating Kapal MT.SUCHAONUGNUM	Berdasarkan analisis data penelitian dan perhitungan, disimpulkan bahwa di PT. Janata Marina Indah Semarang terdapat dua tahapan dalam proses sandblasting. Tahap pertama adalah sandblasting pada plat, yang dikenal sebagai shot blasting, dan tahap kedua adalah sandblasting setelah plat-plat tersebut dirangkai menjadi sebuah blok. Proses shot blasting digunakan untuk menghilangkan mill scale pada plat-plat yang baru diterima dari pabrik. Dalam proses ini, material abrasif yang digunakan adalah steel shot, yang mengakibatkan plat mencapai tingkat kebersihan SA 2 ½ dan kekasaran permukaan 125 mikron. Setelah itu, dilakukan uji kekasaran untuk memastikan kualitas coating yang akan diterapkan. Di PT. Janata Marina Indah Semarang, standar minimum kekasaran yang diterima adalah 70 mikron. Pengujian kekasaran pada tiga titik sampel menunjukkan bahwa penggunaan material abrasif jenis steel grid menghasilkan rata-rata kekasaran permukaan yang tinggi, yaitu 93 mikron, yang sudah memenuhi standar kekasaran minimum yang ditetapkan oleh perusahaan. Setelah mencapai kekasaran yang sesuai, blok tersebut dapat

Indeks.	Nama Peneliti dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			melanjutkan ke proses berikutnya, yaitu pengecatan atau coating.
4.	(Purwito, 2020)	Identifikasi Beban pada Sistem Tegangan Rendah Berbasis Harmonisa dan IoT dengan Artificial Neural Network secara Realtime	Pada tugas akhir ini, dikembangkan sebuah simulasi model untuk identifikasi beban menggunakan mikrokontroler, <i>sensor</i> arus, dan model jaringan saraf tiruan (artificial neural network/ANN). Simulasi ini dirancang untuk mendukung pengembangan alat pemantauan beban secara real-time. Metode yang digunakan mencakup deteksi profil harmonisa arus untuk setiap jenis beban, yang kemudian diidentifikasi melalui model jaringan saraf tiruan. Berbagai konfigurasi parameter pada model ANN diuji untuk menentukan kombinasi dengan tingkat akurasi dan efisiensi terbaik. Hasil akhir di penelitian menggunakan <i>Backpropagation</i> ini mendapatkan nilai rata-rata 95,81%.

Keempat jurnal penelitian yang telah dikaji masing-masing memiliki keunggulan dan kekurangan. Pada jurnal pertama, alat *monitoring* menggunakan *sensor* DHT11, yang masih memiliki keterbatasan akurasi dibandingkan *sensor* SHT20 yang digunakan dalam penelitian ini dan lebih sesuai untuk kebutuhan industri. Jurnal kedua menampilkan data hasil pembacaan *sensor* melalui aplikasi Blynk, yang bergantung pada platform pihak ketiga, sementara penelitian ini memanfaatkan *website* untuk memastikan kendali penuh atas data yang ditampilkan. Pada jurnal ketiga, tujuan utamanya adalah untuk memahami proses sandblasting yang diterapkan dalam industri, serta mempelajari kondisi lingkungan sekitar

area blasting yang ada di galangan kapal. Terakhir, pada jurnal keempat, metode yang digunakan adalah *Neural Network Backpropagation*, yang juga diadopsi dalam penelitian ini namun dengan peningkatan akurasi hingga 95,81%.

Penulis terinspirasi dari penelitian-penelitian tersebut untuk diterapkan pada penelitian ini, dengan judul "Klasifikasi Kualitas Area Kerja Galangan Kapal Selam Berdasarkan Parameter Lingkungan dan Peralatan dengan Metode Neural Network." Melalui pendekatan ini, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih komprehensif untuk mendukung proses monitoring yang efektif, akurat, dan berkelanjutan, sehingga dapat memenuhi kebutuhan industri dengan lebih baik. Dengan mengintegrasikan keunggulan dari masing-masing jurnal sekaligus mengatasi kekurangannya, diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan sistem monitoring yang lebih optimal dan inovatif.

2.1.1 Kajian Parameter Suhu dan Kelembapan di Lingkungan Industri (Penyesuaian Kondisi Surabaya)

Kualitas lingkungan kerja di area produksi galangan kapal selam sangat bergantung pada parameter suhu dan kelembapan udara. Regulasi nasional melalui Keputusan Menteri Kesehatan Indeks. 261/MENKES/SK/II/1998 menetapkan rentang suhu kerja ideal 18-26°C dengan kelembapan relatif 40-60%. Sementara Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Indeks. 5 Tahun 2018 mengatur standar kenyamanan termal untuk area non-produksi(perkantoran) pada kisaran 23-26°C dan kelembapan 40-60%. (P & Dewi, 2025)

Data klimatologi dari Stasiun Meteorologi Perak I Surabaya (BMKG, 2025) selama Indeks 2025 mengungkap realitas iklim khas daerah tropis yang signifikan berbeda dari asumsi regulasi. Dalam periode 31 hari tersebut, tercatat 24 hari (77.4%) mengalami suhu maksimum $\geq 32^{\circ}\text{C}$, dengan rata-rata bulanan mencapai 33.1°C . Tingkat kelembapan rata-rata 81.3% juga konsisten melampaui batas ideal, dimana 13 hari (41.9%) menunjukkan kombinasi kritis suhu $>32^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan

>80%. Kondisi ekstrem terjadi pada 20 Indeks 2025 dengan suhu 34.8°C dan kelembapan 79%.

Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan kaku standar nasional di Surabaya menjadi tidak realistik karena kategori “Buruk” (>30°C) akan berlaku pada 77.4% hari kerja, sementara kategori “Sedang” (26-30°C) hanya mencakup 22.6% hari. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan penyesuaian klasifikasi berbasis realita iklim lokal tanpa mengabaikan prinsip kesehatan kerja, sebagaimana dirinci dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 2 Perbandingan Suhu & Kelembapan: Standar Kesehatan.

Kategori	Sumber / Acuan	Suhu (°C)	Kelembapan Relatif (RH %)	Keterangan
Standar Ideal (Baik)	Permenaker Indeks. 5 Tahun 2018	23 – 26	40 – 60	Standar kenyamanan termal di lingkungan kerja kantor/perkantoran
Kondisi Industri Umum	<i>KMK Indeks. 261/MENKES/SK/II/1998</i>	21 – 30	60 – 95	Nilai wajar untuk area produksi di industri berat
Tidak Disarankan (Buruk)	Sintesis dari sumber di atas dan regulasi	< 21 atau > 30	< 40 atau > 95	Di luar batas regulasi; dapat mengganggu kesehatan & produktivitas

Untuk menentukan kualitas lingkungan kerja di area industri seperti galangan kapal selam, dibutuhkan standar parameter suhu dan kelembapan yang dapat dijadikan acuan klasifikasi. Berdasarkan regulasi nasional, seperti Permenaker Indeks. 5 Tahun 2018 dan Keputusan Menteri Kesehatan Indeks. 261/MENKES/SK/II/1998, telah ditetapkan nilai ambang batas kenyamanan termal dan keamanan kerja yang berkaitan dengan suhu dan kelembapan udara.

Standar dari Permenaker digunakan untuk area kerja non-produksi seperti kantor dan ruang kendali, sedangkan standar dari KMK 261/1998 lebih relevan untuk lingkungan kerja industri yang memiliki aktivitas proses berat. Selain itu, berbagai studi industri menunjukkan bahwa kondisi di lapangan seringkali melebihi batas ideal, sehingga diperlukan pengelompokan kualitas lingkungan menjadi kategori baik, sedang, dan buruk.

Tabel berikut merangkum rentang suhu dan kelembapan untuk masing-masing kategori kualitas lingkungan kerja yang akan digunakan sebagai dasar klasifikasi dalam penelitian ini.

Tabel 2. 3 Tabel Setpoint Klasifikasi Suhu dan Kelembapan untuk Industri di Surabaya

Kategori Kualitas	Suhu (°C)	Kelembapan Relatif (RH %)	Keterangan
Baik	24 – 30	50 – 70	Sesuai toleransi iklim tropis; ventilasi alami cukup.
Sedang	21 – <24 atau >30 – 34	40 – <50 atau >70 – 85	Masih dalam batas wajar industri, tetapi tidak ideal menurut standar kantor
Buruk	< 21 atau > 34	< 40 atau > 85	Di luar ambang batas menurut KMK 261/1998; berpotensi bahaya bagi kesehatan

2.1.2 Kajian Parameter Debu di Lingkungan Industri

Kualitas udara di lingkungan kerja industri tidak hanya dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan, tetapi juga oleh keberadaan partikel debu atau particulate matter (PM). Debu industri, terutama partikel berukuran ≤ 10 mikron (PM_{10}), dapat berdampak buruk terhadap kesehatan pekerja, terutama pada aktivitas produksi seperti pengelasan, pemotongan, pengecatan, dan sandblasting di galangan kapal.

Dalam penelitian ini, parameter PM_{10} digunakan sebagai dasar klasifikasi kualitas debu karena sesuai dengan karakteristik sensor GP2Y1014AU0F yang digunakan. Sensor ini mendekripsi konsentrasi total debu secara umum, namun tidak membedakan ukuran partikulat secara spesifik ($PM2.5$ atau $PM10$). Oleh karena itu, klasifikasi dilakukan menggunakan batas PM_{10} sebagai pendekatan yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan.

Berdasarkan Lampiran VII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, baku mutu udara ambien untuk PM_{10} selama 24 jam adalah $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi di atas nilai tersebut

dianggap telah melampaui ambang batas kualitas udara dan dapat menimbulkan dampak kesehatan. Namun demikian, dalam penelitian ini, pendekatan klasifikasi kualitas lingkungan kerja dilakukan secara bertingkat. Hal ini dimaksudkan agar sistem prediksi berbasis neural network yang dibangun mampu mengidentifikasi tingkat risiko secara lebih rinci.

Pengelompokan kategori "sedang" dan "buruk" ditentukan berdasarkan sintesis dari pendekatan risiko bertingkat sebagaimana diterapkan dalam sistem Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), serta didukung oleh studi empiris yang mencatat kondisi lapangan di lingkungan industri. Salah satunya adalah studi dalam Jurnal Kesehatan Lingkungan oleh(Fikri et al., 2025), yang mencatat konsentrasi PM₁₀ di area produksi mencapai hingga 8972 µg/m³. Nilai ini jauh melampaui ambang batas, dan dinilai dapat menimbulkan risiko kesehatan serius berdasarkan hasil analisis Risk Quotient (RQ) pada pekerja.

Sebagai tambahan dasar pengelompokan, pendekatan klasifikasi bertingkat ini juga merujuk pada sistem Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang digunakan secara nasional oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). ISPU merupakan indeks numerik yang menggambarkan tingkat kualitas udara ambien dan potensi dampaknya terhadap kesehatan manusia dalam skala tertentu. Sistem ini mengelompokkan kualitas udara menjadi beberapa kategori, yaitu Baik, Sedang, Tidak Sehat, Sangat Tidak Sehat, dan Berbahaya, berdasarkan konsentrasi parameter polutan seperti PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO, SO₂, dan NO₂.

Baku mutu PM₁₀ yang digunakan dalam sistem ISPU selama 24 jam berkisar pada $\leq 75 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk kategori "Baik". Nilai di atasnya diklasifikasikan secara bertingkat menjadi "Sedang" ($76\text{--}150 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$), "Tidak Sehat" ($151\text{--}350 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$), hingga "Berbahaya" ($> 420 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$), sebagaimana tercantum dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor KEP-45/MENLH/10/1997. Oleh karena itu, pendekatan klasifikasi bertingkat dalam penelitian ini mengadopsi prinsip ISPU

dengan penyesuaian konteks terhadap area kerja industri dan keterbatasan sensor yang digunakan.

Tabel 2.4 menyajikan klasifikasi parameter kualitas debu berdasarkan konsentrasi PM₁₀ yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 2.4 Tabel Setpoint Klasifikasi Kualitas Debu (PM₁₀)

Kategori Kualitas	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Keterangan
Baik	≤ 75	Sesuai dengan baku mutu nasional (PP Indeks. 22 Tahun 2021); aman bagi kesehatan
Sedang	76 – 150	Melebihi ambang batas; perlu pemantauan dan pengendalian debu lebih lanjut
Buruk	> 150	Sangat berisiko; disarankan ventilasi tambahan, atau intervensi

Penyesuaian klasifikasi dalam Tabel 2.4 dilakukan dengan mengacu pada struktur kategori dalam sistem Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), namun disesuaikan dengan kebutuhan pemantauan lingkungan kerja industri yang bersifat lebih lokal dan terbatas. Dalam sistem ISPU, rentang konsentrasi PM₁₀ dibagi lebih rinci hingga lima tingkatan, yakni "Baik", "Sedang", "Tidak Sehat", "Sangat Tidak Sehat", dan "Berbahaya". Namun, dalam konteks industri, terutama dengan penggunaan sensor GP2Y1014AU0F yang tidak mendeteksi fraksi partikulat secara spesifik dan hanya memberikan estimasi konsentrasi debu total, maka dilakukan penyederhanaan menjadi tiga kategori utama, yaitu "Baik", "Sedang", dan "Buruk".

Pendekatan ini tetap mempertahankan nilai ambang batas dari PP No. 22 Tahun 2021 ($\leq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sebagai batas maksimum untuk kategori "Baik", serta mengadopsi rentang nilai "Sedang" dari ISPU (76–150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sebelum masuk kategori "Tidak Sehat". Kategori "Buruk" didefinisikan sebagai konsentrasi yang telah melewati ambang 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mengindikasikan potensi risiko kesehatan yang signifikan. Dengan pendekatan ini, sistem klasifikasi tidak hanya sesuai dengan regulasi nasional tetapi juga lebih adaptif terhadap keterbatasan alat dan kebutuhan praktis di lingkungan kerja.

2.1.3 Kajian Parameter Arus dan Tegangan Motor 3 Phase

Motor induksi 3 phase adalah salah satu komponen utama dalam sistem kelistrikan industri yang membutuhkan kestabilan parameter listrik, khususnya arus dan tegangan, untuk beroperasi secara efisien dan andal. Tegangan yang stabil dan arus yang seimbang pada tiap fasa (R, S, T) menjadi faktor kunci dalam menjaga performa motor agar tidak mengalami kelebihan beban, panas berlebih, ataupun penurunan efisiensi.

Secara umum, motor 3 phase beroperasi pada tegangan nominal tertentu, misalnya 220 V atau 380 V (line-to-line), dengan toleransi fluktuasi tegangan yang masih dapat diterima. Perubahan tegangan di luar batas toleransi dapat menyebabkan penurunan kinerja motor, gangguan sistem, bahkan kerusakan permanen. Demikian pula, arus tiap fasa harus berada pada kisaran yang sesuai dengan rating motor untuk menghindari kondisi overcurrent maupun undercurrent.

Dalam kajian ini, parameter arus dan tegangan motor 3 phase dikategorikan menjadi tiga level kualitas baik, sedang, dan buruk. Berdasarkan nilai tegangan dan arus aktual serta pengaruhnya terhadap kinerja motor, dengan mengacu pada standar dan hasil penelitian terkini seperti yang dijelaskan oleh SPLN No.1 Tahun 1978 dan (Saputra et al., 2024). Kategori ini juga mempertimbangkan fluktuasi dan ketidakseimbangan arus dan tegangan yang dapat terjadi akibat kondisi beban dan kualitas sumber listrik.

Dengan memahami dan memantau parameter-parameter tersebut, langkah perawatan dan pengendalian dapat dilakukan secara tepat untuk menjaga keandalan dan umur motor 3 phase yang digunakan, termasuk sesuai dengan karakteristik motor yang dipakai.

Berikut ini adalah tabel kategorisasi parameter arus dan tegangan motor 3 phase yang dikaji berdasarkan literatur dan standar yang ada:

Tabel 2. 5 Tabel Setpoint Klasifikasi Kualitas Arus dan Tegangan

Kategori	Tegangan	Arus RST	Penjelasan berdasarkan jurnal/sumber
Baik	Tegangan stabil antara 209–231 V ($\pm 5\%$ dari 220 V)	Arus per fasa stabil sekitar 0,37–0,45 A	Menurut SPLN Indeks.1 Tahun 1978 dan(Saputra et al., 2024), batas maksimum tegangan adalah +5% dan minimum -10% dari nominal 220V yang masih dapat diterima tanpa merusak motor. Toleransi ini sesuai standar umum untuk menjaga kinerja motor.
Sedang	Tegangan bervariasi agak lebar, sekitar 198–209 V atau 231–242 V, fluktuasi di atas $\pm 5\%$	Arus per fasa 0,25–0,55 A (fluktuasi ringan)	Ketidakseimbangan atau fluktuasi tegangan dan arus mulai memengaruhi efisiensi motor, sesuai dengan analisis simulasi variasi tegangan pada motor induksi 3 phase yang memengaruhi arus dan kecepatan. Monitoring diperlukan untuk mencegah kerusakan.
Buruk	Tegangan sering turun di bawah 198 V atau naik di atas 242 V, ketidakseimbangan antar fasa $> 1\%$	Arus per fasa sangat tidak stabil, lonjakan arus tinggi ($> 0,7$ A) atau sangat rendah ($< 0,2$ A)	Jurnal proteksi arus lebih motor induksi 3 phase menekankan bahwa arus lebih (overcurrent) berpotensi menyebabkan kerusakan serius seperti gulungan terbakar dan penurunan lifetime peralatan. Ketidakseimbangan tegangan $> 1\%$ juga mengakibatkan kerusakan isolasi dan efisiensi menurun.

2.1.4 Rekapitulasi Setpoint Klasifikasi Kualitas Lingkungan Industri

Untuk mendukung proses klasifikasi kualitas lingkungan kerja berbasis jaringan syaraf tiruan (neural network), diperlukan standarisasi parameter-parameter utama yang menjadi indikator kualitas lingkungan, yaitu suhu dan kelembapan udara, konsentrasi debu PM₁₀, serta tegangan dan arus pada motor induksi 3 phase. Ketiga parameter tersebut saling berkaitan erat dengan kesehatan dan keselamatan kerja, serta efisiensi operasional di lingkungan industri seperti galangan kapal.

Masing-masing parameter telah dikaji berdasarkan peraturan nasional seperti Permenaker No. 5 Tahun 2018, Keputusan Menteri Kesehatan No. 261/MENKES/SK/II/1998, Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup KEP-45/MENLH/10/1997. Selain itu, pendekatan klasifikasi juga memperhatikan kondisi nyata di lapangan serta keterbatasan alat ukur yang digunakan.

Sebagai rangkuman dari hasil kajian pada Subbab 2.1.1 hingga 2.1.3, Tabel 2.6 berikut menyajikan ringkasan setpoint klasifikasi untuk masing-masing parameter. Klasifikasi dibagi ke dalam tiga kategori utama Baik, Sedang, dan Buruk yang akan menjadi dasar referensi dalam proses pelabelan data dan pelatihan model neural network.

Tabel 2. 6 Tabel Setpoint Klasifikasi

Kategori Kualitas	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Tegangan (V)	Arus RST (A)
Baik	24 – 30	50 – 70	≤ 75	209 – 231 (±5% dari 220 V)	0.37 – 0.45
Sedang	21 – <24 atau >30 – 34	40 – <50 atau >70 – 85	76 – 150	198 – 209 atau 231 – 242	0.25 – 0.37 atau 0.45 – 0.55
Buruk	< 21 atau > 34	< 40 atau > 85	> 150	< 198 atau > 242	< 0.25 atau > 0.55, tidak stabil

2.2 Kajian Pustaka

Dalam tugas akhir, kajian pustaka berfungsi sebagai dasar konseptual yang mendasari seluruh jalannya penelitian. Bagian ini mencakup ulasan terhadap literatur, penelitian sebelumnya, serta konsep-konsep utama yang berkaitan dengan topik yang diteliti. Kajian pustaka tidak hanya memberikan pemahaman teoretis yang lebih mendalam, tetapi juga membantu penulis dalam merumuskan hipotesis, merancang metode penelitian, dan menganalisis data dengan cara yang terstruktur. Dengan menyajikan penjelasan yang terperinci mengenai teori-teori yang relevan, kajian pustaka memainkan peran krusial dalam membangun kerangka ilmiah penelitian. Selain itu, landasan teori yang solid memberikan sudut pandang yang lebih luas untuk memahami dan menjelaskan fenomena yang diteliti, sekaligus memastikan bahwa penelitian memiliki dasar intelektual yang kuat.

2.2.1 Rumusan Metode Umum Perhitungan Engineering Quality Indeks (EQI)

2.2.1.1 Definisi Engineering Quality Indeks (EQI)

Engineering Quality Indeks (EQI) adalah sebuah indeks komposit yang dirancang untuk mengukur tingkat kualitas atau

performa suatu sistem teknik dengan mengintegrasikan berbagai parameter kualitas yang relevan. Setiap parameter tersebut terlebih dahulu dinormalisasi ke dalam skala 0 sampai 1 berdasarkan perbandingan nilai aktual terhadap titik pusat (optimal) dan batas buruk (nilai ekstrim). Selanjutnya, setiap nilai parameter dikalikan dengan bobot yang merefleksikan tingkat kepentingan relatifnya dalam menentukan kualitas keseluruhan. Nilai-nilai berbobot tersebut kemudian dijumlahkan untuk menghasilkan satu indeks komposit yang menggambarkan kualitas atau performa teknis sistem secara menyeluruh.

Metode ini sejajar dengan pendekatan yang digunakan dalam Mixed Environmental Quality Index (M. EQI), di mana pembobotan dan normalisasi parameter dikombinasikan untuk menghasilkan nilai indeks yang komprehensif dan mudah diinterpretasikan. Pendekatan seperti ini juga sering ditemukan dalam indeks kualitas lingkungan dan teknik lainnya, seperti Water Quality Index (WQI), yang menggabungkan beberapa sub-indeks menjadi tingkat mutu tunggal melalui normalisasi dan pembobotan parameter. (Mukarromah & Suprayogi, 2020)

Dengan demikian, EQI memungkinkan evaluasi yang lebih terstruktur dan objektif terhadap kondisi teknis sistem, serta menyediakan dasar yang kuat untuk pengambilan keputusan perbaikan dan pengendalian mutu berdasarkan nilai indeks dan kategorisasi hasilnya.

2.2.1.2 Parameter Kualitas

Pada perhitungan EQI, beberapa parameter yang diukur antara lain:

Suhu ($^{\circ}\text{C}$), Kelembapan (%), Kadar partikel PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Tegangan listrik (V), Arus listrik pada tiga fasa (Arus R, Arus S, Arus T).

2.2.1.3 Titik Pusat dan Batas Nilai Parameter

Setiap parameter memiliki titik pusat (nilai optimal) yang umumnya merupakan rata-rata atau nilai tengah dari rentang kategori Baik, serta batas buruk yang merupakan nilai ekstrim dari kategori Buruk. Nilai parameter aktual dibandingkan terhadap titik pusat ini.

Sebagai contoh:

Tabel 2. 7 Tabel Titik Pusat setiap Parameter

Parameter	Titik Pusat (Optimal)	Batas Buruk (Jarak Maks)
Suhu (°C)	27 (rata-rata 24–30)	7 (jarak ke 34/20 °C)
Kelembapan (%)	60 (rata-rata 50–70)	25 (jarak ke 85/35%)
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	≤ 75	> 150
Tegangan (V)	220	22 (jarak ke 198 atau 242 V)
Arus R, S, T (A)	0.41 (rata-rata 0.37–0.45)	0.16 (jarak ke 0.25 atau 0.57)

Kolom Parameter berisi nama-nama parameter yang diukur dalam sistem, seperti suhu udara, kelembapan, kadar partikel PM₁₀, tegangan listrik, dan arus listrik pada tiga fasa. Setiap parameter ini adalah aspek penting yang memengaruhi kualitas teknik atau performa sistem yang sedang dievaluasi.

Kolom Titik Pusat (Optimal) berisi nilai tengah atau nilai ideal yang diharapkan untuk setiap parameter, biasanya diambil dari rentang nilai pada kategori baik. Nilai titik pusat ini merupakan acuan atau kondisi optimal yang diupayakan dalam operasional normal sistem, agar menunjukkan kualitas yang maksimal atau stabil.

Kolom Batas Buruk (Jarak Maks) berisi jarak paling jauh dari titik pusat (nilai optimal) sampai ke batas nilai ekstrim yang dianggap buruk. Jarak ini dihitung sebagai selisih antara titik pusat dan nilai terburuk yang masih masuk dalam toleransi pengukuran. Informasi ini penting sebagai dasar dalam proses normalisasi, yaitu mengonversi setiap nilai parameter aktual menjadi skala 0 hingga 1 dengan mempertimbangkan seberapa jauh nilai tersebut dari kondisi optimal menuju kondisi ekstrem atau tidak diinginkan.

2.2.1.4 Rumus Normalisasi Parameter

Normalisasi mengkonversi nilai parameter aktual ke dalam skala 0–1 dengan rumus:

$$x_{norm} = \max \left(0,1 - \left(\frac{|x - x_{optimal}|}{d_{max}} \right)^2 \right)$$

Dimana:

- x = nilai 24 adalah parameter
- $x_{optimal}$ = nilai optimal (titik pusat)
- d_{max} = jarak maksimum dari titik pusat ke batas buruk

Untuk PM_{10} digunakan rumus berbeda sesuai kategori, yakni:

$$PM_{norm} = \begin{cases} 1, & PM \leq 75 \\ \max \left(0,1 - \frac{PM - 75}{75} \right), & 75 < PM \leq 150 \\ 0, & PM > 150 \end{cases}$$

Untuk arus listrik tiga fasa, normalisasi dilakukan terpisah untuk Arus R, Arus S, dan Arus T, karena semakin banyak input semakin susah Neural Network mempelajarinya, jadi yang awalnya 7 input menjadi 5 input. Lalu arus dirata-rata menjadi nilai arus gabungan:

$$A_{norm} = \frac{A_{normR} + A_{normS} + A_{normT}}{3}$$

2.2.1.5 Penentuan Bobot

Bobot tiap parameter (w_i) merepresentasikan pentingnya parameter dalam perhitungan EQI. Bobot biasanya dinyatakan sebagai proporsi sehingga jumlah seluruh bobot sama dengan 1. Dalam model ini, bobot diberikan secara *sama rata* untuk setiap parameter utama:

$$w_i = \frac{1}{5}$$

dengan 5 parameter utama (Suhu, Kelembapan, PM_{10} , Tegangan, Arus RST gabungan).

2.2.1.6 Perhitungan Engineering Quality Index (EQI)

Nilai EQI dihitung dengan rumus agregasi bobot dan nilai normalisasi parameter:

$$EQI = \sum_{i=1}^5 w_i \times x_{i,norm} = \frac{1}{5} \times (S_{norm} + H_{norm} + PM_{norm} + V_{norm} + A_{norm})$$

2.2.1.7 Klasifikasi Kualitas Berdasarkan Nilai EQI

Nilai hasil EQI dikategorikan ke dalam tiga kelas mutu sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Tabel Nilai Kategori EQI

Rentang EQI	Kategori
≥ 0.75	Baik
$0.55 - < 0.75$	Sedang
< 0.55	Buruk

Pembagian kategori EQI menjadi Baik, Sedang, dan Buruk ini digunakan untuk memudahkan interpretasi hasil indeks kualitas teknik. Nilai EQI yang tinggi (≥ 0.75) menunjukkan kondisi sistem atau parameter teknis yang hampir optimal, dengan performa yang baik dan stabil. Rentang sedang (0.55 sampai kurang dari 0.75) mengindikasikan kondisi sistem yang masih dapat diterima tetapi perlu pemantauan atau perbaikan ringan. Nilai di bawah 0.55 menandakan kualitas atau performa yang kurang baik, yang mengharuskan evaluasi dan tindakan pengendalian lebih serius untuk menghindari kerusakan atau gangguan fungsi.

2.2.2 Neural Network

Neural Network adalah sebuah model komputasi yang terinspirasi dari cara kerja *neuron* dalam otak manusia. Model ini dirancang untuk meniru pola pemrosesan informasi biologis dengan menggunakan sejumlah besar elemen pemrosesan informasi yang disebut neuron. Setiap neuron saling terhubung melalui jaringan kompleks, membentuk struktur yang memungkinkan mereka bekerja secara bersamaan untuk menyelesaikan berbagai jenis permasalahan. *Neural Network* (NN) merupakan bagian dari algoritma deep learning, yang merupakan metode pembelajaran yang meniru cara kerja sistem otak manusia, di mana proses ini dilakukan oleh

mesin. Pengertian lain dari *neural network* adalah sekumpulan unit *input* dan *output* yang saling terhubung, dengan setiap hubungan di antara unit-unit tersebut memiliki bobot tertentu. (Wibowo & Setiyadi, 2023)

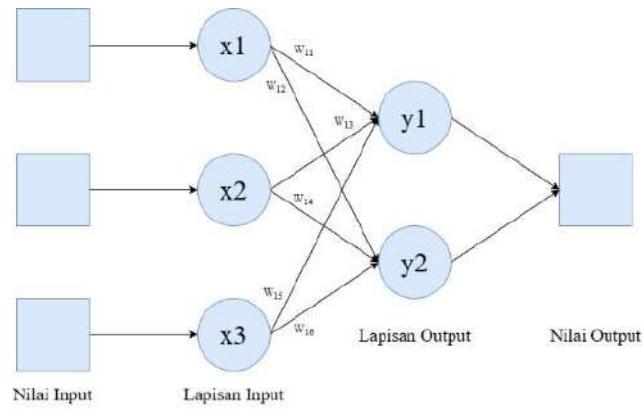
Pada dasarnya, *Neural Network* bekerja dengan cara meniru bagaimana otak manusia belajar dari pengalaman. *Neuron-neuron* dalam jaringan menerima *input*, memprosesnya, dan mengirimkan *output* ke *neuron* lainnya, sehingga membentuk proses iteratif yang terus berlangsung hingga mencapai hasil yang diinginkan. Proses ini melibatkan bobot (*weights*) dan bias, yang secara dinamis disesuaikan selama proses pelatihan untuk meningkatkan akurasi dalam memecahkan suatu masalah. *Neural Network* umumnya digunakan untuk menangani permasalahan yang kompleks, terutama dalam domain klasifikasi dan prediksi. Pada masalah klasifikasi, model ini digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam kategori tertentu berdasarkan pola yang telah dipelajari. Sedangkan pada prediksi, *Neural Network* memanfaatkan pola dari data historis untuk memproyeksikan hasil di masa mendatang.

Berbagai aplikasi *Neural Network* mencakup pengenalan wajah, pemrosesan gambar, analisis suara, prediksi cuaca, diagnosa medis, hingga analisis data besar dalam berbagai bidang. Dengan fleksibilitas dan kemampuannya dalam menangani data yang tidak terstruktur, *Neural Network* menjadi salah satu metode utama dalam pengembangan teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (*Machine Learning*). (Ridho, 2022)

2.2.3 *Backpropagation*

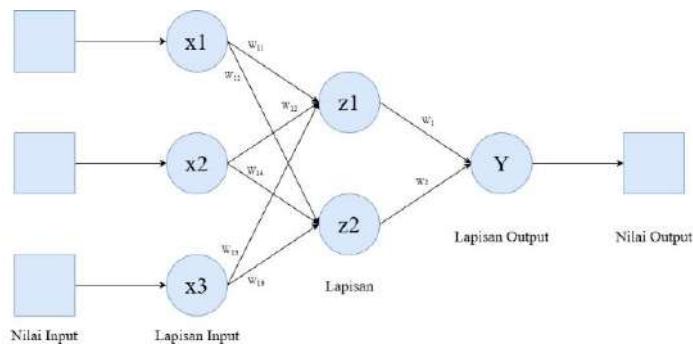
Metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN) pertama kali diperkenalkan oleh Paul Werbos pada tahun 1974, kemudian dijelaskan kembali oleh David Parker pada tahun 1982, dan akhirnya dipopulerkan oleh Rumelhart dan McClelland pada tahun 1986. Dalam algoritma BPNN, arsitektur jaringan mengadopsi struktur multilayer [16–19]. Secara umum, arsitektur BPNN terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan *input*, lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan *output*. Pada lapisan *input*, tidak

ada proses komputasi yang terjadi, namun sinyal *input X* dikirimkan ke lapisan tersembunyi. Sedangkan pada lapisan tersembunyi dan lapisan *output*, dilakukan proses komputasi terhadap bobot dan bias, serta perhitungan *output* berdasarkan fungsi aktivasi tertentu. Fungsi aktivasi yang umum digunakan adalah fungsi sigmoid biner, yang menghasilkan *output* dalam rentang [0-1].



Gambar 2. 1 *Layer* Tunggal

Sumber : (Widhi Aryanti & Nur Azizah Komara Rifai, 2023)



Gambar 2. 2 *Layer* Ganda

Sumber : (Widhi Aryanti & Nur Azizah Komara Rifai, 2023)

Langkah-langkah dari metode *Backpropagation* adalah sebagai berikut

Langkah 0: Inisialisasi bobot (set ke nilai kecil secara acak)

Langkah 1: Jika kondisi penghentian belum terpenuhi, lakukan langkah 2 – 9

Langkah 2: Untuk masing-masing pasangan pelatihan, lakukan langkah 3 – 9

Fase 1: *Feedforward*

Langkah 3: Tiap unit masukkan menerima sinyal dan meneruskan ke unit tersembunyi.

Langkah 4: Hitung bobot sinyal *input* di unit tersembunyi (Z_j):

$$z_in_j = v_{0j} + \sum_i x_i v_{ij} \quad 2.1$$

$$Z_j = f(z_in_j) \quad 2.2$$

Nilai z_in_j merupakan unit tersembunyi pada lapisan ke- j .

Untuk unit *input* x_i , sinyal *input* x dan sinyal *output* x memiliki nilai yang sama. Bobot pada unit di lapisan tersembunyi ke- j dilambangkan dengan v_{0j} , sedangkan v_{ij} merepresentasikan bobot pada unit ke- i di lapisan tersembunyi ke- j . Hasil dari unit tersembunyi Z_j mewakili keluaran jaringan yang diperoleh pada unit tersembunyi di lapisan ke- Z_j .

Langkah 5: Hitung bobot sinyal *input* di unit *output* (Y_k):

$$y_in_k = w_{0k} + \sum_i z_i w_{jk} \quad 2.3$$

$$Y_k = f(y_in_k) \quad 2.4$$

Nilai y_in_k merupakan hasil *output* pada unit ke- k . Bobot w_{0k} menggambarkan hubungan antara unit tersembunyi dengan unit *output* pada lapisan ke- k . Sementara itu, w_{jk} adalah bobot yang menghubungkan unit tersembunyi ke- j dengan unit *output* ke- k . Akhirnya, Y_k merupakan nilai unit *output* pada unit ke- k , yang diperoleh melalui penerapan fungsi aktivasi. (Pratama & Darmawan, 2021)

Fase 2: Backpropagation

Langkah 6: Hitung faktor δ unit *output* berdasarkan kesalahan di setiap unit *output*:

$$\delta_k = (t_k - y_k)f'(y_{in_k}) \quad 2.5$$

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j \quad 2.6$$

Nilai δ_k merepresentasikan *error* pada unit *output*, dihitung berdasarkan perbedaan antara nilai target *output* t_k dan nilai *output* aktual. Parameter α adalah *learning rate* yang menentukan seberapa besar langkah perbaikan bobot dalam proses pembelajaran. Perubahan bobot Δw_{jk} menunjukkan penyesuaian bobot antara unit tersembunyi ke- j dan unit *output* ke- k , yang dipengaruhi oleh *error* δ_k dan *output* unit tersembunyi.

Langkah 7: Hitung faktor δ unit tersembunyi berdasarkan kesalahan di setiap unit tersembunyi z_j

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad 2.7$$

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad 2.8$$

$$\Delta v_{ij} = \alpha \delta_j x_i \quad 2.9$$

Notasi δ_j merepresentasikan nilai *error* pada unit tersembunyi di lapisan ke- j . Sementara itu, Δv_{ij} menunjukkan perubahan bobot dari unit *input* ke- i menuju unit tersembunyi ke- j .

Fase 3: Penyesuaian bobot

Langkah 8: Penyesuaian bobot di setiap unit *output*:

$$W_{jk}(lama) = W_{jk}(lama) + \Delta w_{jk} \quad 2.10$$

$$v_{ij}(baru) = v_{ij}(lama) + \Delta v_{ij} \quad 2.11$$

Langkah 9 : Tes kondisi berhenti.

2.3 Software yang digunakan

Pada penggerjaan tugas akhir terdapat beberapa *software* yang digunakan sebagai alat bantu untuk menyelesaikan penelitian seperti:

2.3.1 Arduino IDE

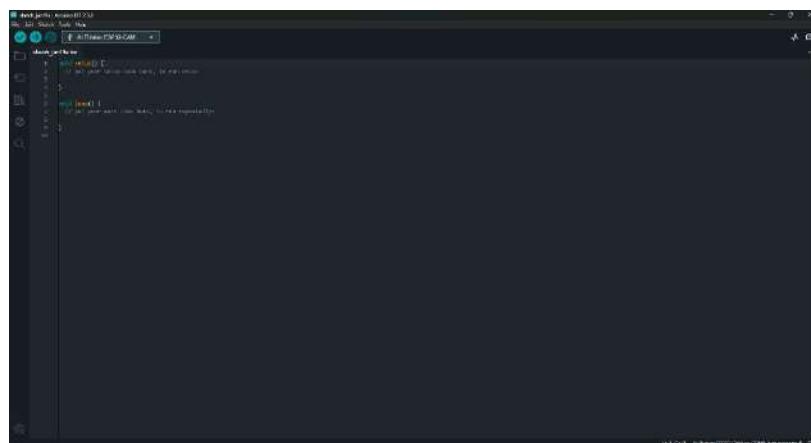
Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengunggah program yang berisi perintah ke mikrokontroler agar dapat diterapkan pada sistem. Penulisan kode program dilakukan untuk memberikan instruksi dalam bahasa pemrograman C, yang bertujuan agar sistem dapat berfungsi sesuai dengan perintah yang telah dimasukkan ke dalam Arduino. Tanpa adanya kode program, sistem tidak akan dapat beroperasi, karena kode tersebut merupakan elemen penting dalam pembangunan sebuah perangkat. (Fauziah et al., 2024)



Gambar 2. 3 Logo Arduino IDE

Sumber : <https://www.google.com/arduinoide>

penggunanya karena memiliki tampilan *user interface* yang cukup *friendly*. Hal tersebut pada dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Tampilan Software Arduino IDE

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menyusun dan mengunggah program ke mikrokontroler dalam penelitian ini, yang berfungsi untuk mengendalikan perangkat keras. Program-program yang ditulis menggunakan bahasa pemrograman C/C++ akan menginstruksikan mikrokontroler untuk menjalankan sistem sesuai dengan kode yang telah diprogramkan. Tanpa adanya kode program, mikrokontroler tidak dapat berfungsi karena kode tersebut merupakan bagian paling vital dalam mengoperasikan dan mengontrol alat yang digunakan dalam penelitian, pengendalian *sensor* untuk aplikasi sht20.

2.3.2 PHP

PHP, yang merupakan singkatan dari PHP *Hypertext Preprocessor*, adalah bahasa pemrograman yang digunakan untuk pengembangan aplikasi web dengan menjalankan skrip di sisi server. PHP biasanya disematkan langsung dalam kode HTML, memungkinkan pembuatan halaman web dinamis yang dapat berinteraksi dengan berbagai jenis database dan menjalankan logika server-side.

Sebagai perangkat lunak *open-source*, PHP didistribusikan dengan lisensi yang memungkinkan pengguna untuk mengunduh, memodifikasi, dan mendistribusikan kode sumbernya secara bebas tanpa biaya. Hal ini menjadikan PHP pilihan populer bagi pengembang web di seluruh dunia. PHP memiliki berbagai keunggulan, termasuk kemudahan dalam proses pengembangan dan integrasi dengan berbagai teknologi web lainnya, yang membuatnya sangat efisien dalam membangun aplikasi web berbasis server. (Sahi, 2020)



Gambar 2. 5 Logo PHP

Sumber : <http://www.google.com/php>

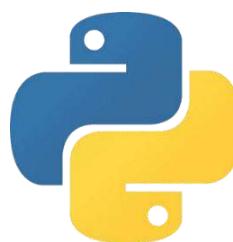
Pada tugas akhir ini PHP yang berfungsi sebagai bahasa pemrograman untuk membangun backend aplikasi. PHP digunakan untuk mengelola interaksi antara pengguna dan sistem, serta menghubungkan antarmuka pengguna dengan database melalui berbagai fungsi seperti pengolahan form, autentikasi pengguna, dan pengelolaan data.

2.3.3 Python

Python adalah bahasa pemrograman yang dapat dijalankan di berbagai sistem operasi, Windows, MacOS, dan Linux. Bahasa ini dikenal sebagai bahasa yang interpretatif, dinamis, dan mudah dipelajari. Python memungkinkan pengguna untuk menjalankan perintah secara fleksibel dan mendukung berbagai paradigma pemrograman, termasuk pemrograman berorientasi objek, imperatif, dan fungsional. Sebagai bahasa interpretatif, Python tidak memerlukan proses kompilasi karena kode dapat dieksekusi langsung oleh mesin.

Python juga memiliki sintaks yang sederhana dan terstruktur, yang memudahkan pengguna untuk membaca dan menulis kode. Selain itu, Python dilengkapi dengan pustaka yang sangat luas dan modul-modul siap pakai untuk berbagai kebutuhan pengembangan, pengolahan data, pengembangan web, dan kecerdasan buatan. Python juga mendukung visualisasi data yang mendalam dan menawarkan berbagai editor teks yang dapat dipilih sesuai dengan preferensi pengguna. Dengan fitur-fitur manajemen memori otomatis dan kemampuan modular, Python telah menjadi salah satu bahasa pemrograman yang paling populer dan efisien untuk beragam keperluan dalam dunia pengembangan perangkat lunak.

(Teguh et al., 2024)



Gambar 2. 6 Logo Python

Sumber : <https://www.google.com/python>

Pada tugas akhir ini, Python digunakan sebagai bahasa pemrograman untuk membangun bagian logika aplikasi dan pengolahan data. Python berfungsi untuk implementasi model *machine learning*, seperti model Transformer, serta pengolahan data dan analisis yang dibutuhkan dalam sistem, menggunakan berbagai *library* seperti *TensorFlow*, PyTorch, dan pandas.

2.3.4 **AJAX**

AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*) adalah teknologi yang memungkinkan pengembangan aplikasi web yang lebih dinamis dan interaktif, khususnya pada platform web 2.0. Teknologi ini memungkinkan aplikasi untuk berkomunikasi dengan server secara terus-menerus, memungkinkan pengambilan informasi terbaru tanpa harus me-refresh atau memuat ulang seluruh halaman web. Hal ini menghasilkan pengalaman pengguna yang lebih mulus dan responsif, di mana data dapat diperbarui secara *real-time* tanpa mengganggu interaksi pengguna dengan elemen lain di halaman. AJAX bekerja dengan memanfaatkan objek JavaScript yang ada di browser, yaitu XMLHttpRequest, yang memungkinkan komunikasi dengan server secara *asynchronous*. Dengan metode ini, permintaan data dan respons dari server dapat diproses secara paralel tanpa menunggu proses pemuatan halaman atau *reload*. Sebagai hasilnya, halaman web yang menggunakan AJAX dapat memuat dan menampilkan data dengan lebih cepat, meningkatkan efisiensi dan kecepatan aplikasi dibandingkan dengan aplikasi web tradisional yang memerlukan refresh halaman setiap kali data diperbarui. Ini menjadikan AJAX sangat berguna untuk aplikasi-aplikasi web yang membutuhkan pembaruan data secara berkala, aplikasi media sosial, situs *e-commerce*, dan aplikasi berbasis peta. (Mau et al., 2023)



Gambar 2. 7 Logo AJAX

Sumber : <https://www.google.com/ajax>

Pada tugas akhir ini, AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*) digunakan untuk meningkatkan interaktivitas dan kecepatan aplikasi web dengan memungkinkan komunikasi antara klien dan server tanpa perlu memuat ulang halaman. AJAX berfungsi untuk mengirimkan dan menerima data secara *asynchronous*, seperti dalam pengolahan form atau pembaruan data secara *real-time*, sehingga meningkatkan pengalaman pengguna.

2.3.5 MySQL Database

MySQL adalah sistem manajemen basis data relasional (RDBMS) yang bersifat *open-source* dan menggunakan *Structured Query Language* (SQL) untuk mengelola, mengakses, serta memanipulasi data. MySQL sangat populer, terutama untuk aplikasi berbasis web, dan menjadi salah satu sistem basis data yang paling banyak digunakan di dunia, khususnya dalam pengembangan aplikasi yang mengandalkan teknologi web PHP dan Apache. Keunggulan MySQL, ditambah dengan kenyataan bahwa ia dapat digunakan secara gratis, menjadikannya pilihan utama di kalangan programmer.

Menurut Fujaima Diapoldo Silalahi, MySQL pertama kali dikembangkan pada pertengahan 1990-an dan kini telah terinstal lebih dari 10 juta kali. MySQL saat ini adalah sistem manajemen *database* yang paling banyak digunakan pada server web. Perangkat lunak MySQL terdiri dari server MySQL itu sendiri, sejumlah program utilitas yang mempermudah administrasi *database*, serta beberapa perangkat lunak pendukung yang dibutuhkan oleh server MySQL, meskipun detailnya tidak perlu dipahami secara mendalam oleh pengguna biasa. (Mandiri et al., 2024)



Gambar 2. 8 Logo MySQL

Sumber : <https://www.google.com/mysql>

Pada tugas akhir ini, MySQL digunakan sebagai sistem manajemen basis data (DBMS) untuk menyimpan, mengelola, dan mengambil data yang dibutuhkan oleh aplikasi. MySQL berfungsi untuk menyimpan data pengguna, data transaksi, dan informasi lainnya yang berhubungan dengan aplikasi, serta menyediakan query SQL untuk interaksi yang cepat dan efisien antara aplikasi dan *database*.

2.3.6 XAMPP

XAMPP adalah sebuah paket perangkat lunak yang menyediakan instalasi cepat dan mudah untuk Apache, PHP, dan MySQL, yang memudahkan pengguna dalam mengatur ketiga produk tersebut secara bersamaan. Menurut Wati & Khasanah (2019), XAMPP merupakan perangkat lunak bebas (*free software*) yang mendukung berbagai sistem operasi dan menggabungkan beberapa program dalam satu paket instalasi yang komprehensif. Secara fungsional, XAMPP bertindak sebagai server yang berdiri sendiri atau biasa disebut *localhost*, yang memungkinkan pengguna untuk mengembangkan dan menguji aplikasi web di komputer lokal mereka sebelum dipublikasikan ke server *online*. Nama XAMPP sendiri merupakan akronim yang terdiri dari huruf X (yang menandakan kompatibilitas dengan berbagai sistem operasi), serta singkatan dari Apache, MySQL, PHP, dan Perl, yang merupakan komponen utama dalam paket ini.

XAMPP dirilis di bawah GNU *General Public License* (GPL), yang berarti perangkat lunak ini dapat digunakan secara bebas oleh siapa saja. Salah satu alasan XAMPP sangat populer adalah karena kemudahannya dalam penggunaan. Dengan XAMPP, pengguna dapat dengan mudah menyiapkan server web di komputer lokal, memudahkan mereka untuk mengembangkan situs web dinamis menggunakan PHP dan MySQL tanpa memerlukan konfigurasi server yang rumit. XAMPP sangat ideal untuk pengembang web, mahasiswa, dan individu yang ingin memulai proyek

pengembangan web di lingkungan lokal sebelum memindahkannya ke server produksi. (Rahmawati & Ulum, 2022)



Gambar 2. 9 Logo XAMPP

Sumber : <https://www.google.com/xampp>

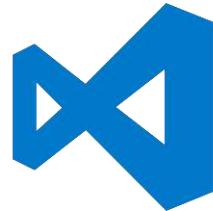
Pada tugas akhir ini, XAMPP digunakan sebagai platform server lokal untuk mengembangkan dan menguji aplikasi web. XAMPP berfungsi untuk menyediakan lingkungan pengembangan yang lengkap, termasuk Apache sebagai web server, MySQL untuk manajemen basis data, serta PHP untuk pengolahan backend, yang memungkinkan pengujian aplikasi secara lokal sebelum diterapkan di server produksi.

2.3.7 Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Microsoft, menawarkan berbagai fitur canggih untuk mendukung pengembangan perangkat lunak. VS Code kompatibel dengan berbagai bahasa pemrograman populer seperti JavaScript, TypeScript, Node.js, Python, C/C++, dan Java. Beberapa fitur unggulan dari VS Code antara lain penyorotan sintaks, *Intellisense* (sugesti otomatis), *debugging*, serta integrasi Git, yang semuanya membantu pengembang untuk menulis, memeriksa, dan mengelola kode secara lebih efisien.

Keunggulan lain dari VS Code adalah ekosistem ekstensi yang sangat luas, memungkinkan pengguna untuk menambahkan pustaka atau fitur tambahan sesuai dengan kebutuhan proyek mereka. Karena sifatnya yang *open-source*, VS Code memungkinkan pengembangan dan pembaruan berkelanjutan, menjadikannya alat yang fleksibel dan terus berkembang. Dengan antarmuka yang sederhana namun sangat fungsional, VS Code

memberikan pengalaman pengembangan yang nyaman dan produktif bagi pengembang dari berbagai level. (P. L. Ananda et al., 2024)



Gambar 2. 10 Logo Visual Studio Code

Sumber : <https://www.google.com/vscode>

Pada tugas akhir ini, Visual Studio Code (VS Code) digunakan sebagai *Integrated Development Environment* (IDE) untuk pengembangan aplikasi. VS Code berfungsi untuk menulis, mengedit, dan mengelola kode sumber dalam berbagai bahasa pemrograman seperti PHP, Python, dan JavaScript, serta menyediakan berbagai ekstensi yang mendukung debugging, integrasi dengan Git, dan peningkatan produktivitas pengembangan aplikasi.

2.3.8 HTTP

HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) adalah protokol aplikasi berbasis client-server yang berjalan di atas TCP/IP dan menjadi fondasi komunikasi pada *World Wide Web*. Proses dimulai ketika client (misalnya browser) menginisiasi koneksi TCP ke server pada port standar (biasanya port 80 untuk HTTP atau 443 untuk HTTPS). Setelah koneksi terbentuk, client mengirimkan HTTP request, seperti GET / HTTP/1.1, untuk meminta resource tertentu. Server yang memantau port tersebut akan menerima request, memprosesnya, lalu memberikan HTTP response yang mencakup status code (misalnya 200 OK) dan konten atau data yang diminta oleh client. (Luthfansa & Rosiani, 2021)

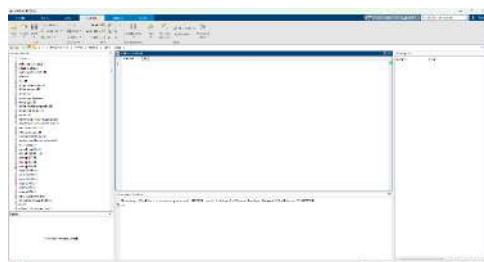


Gambar 2. 11 Logo HTTP

Sumber : <https://google.com/http>

2.3.9 MATLAB

MATLAB, yang merupakan singkatan dari Matrix Laboratory, adalah perangkat lunak yang dirancang untuk pemrograman, analisis, dan komputasi teknis serta matematis yang berfokus pada matriks. Diperkenalkan pertama kali pada tahun 1970 oleh Cleve Moler, MATLAB awalnya digunakan untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan persamaan aljabar linear. Seiring berjalananya waktu, MATLAB terus berkembang, baik dalam hal fungsi maupun kinerja komputasinya, untuk mencakup berbagai aplikasi teknis dan ilmiah yang lebih luas. (Febrianti & Harahap, 2021)



Gambar 2. 12 Software MATLAB

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

MATLAB telah menjadi alat yang sangat berguna dalam menyelesaikan berbagai tugas pengolahan aljabar linier dan perhitungan matematis lainnya. Aplikasi ini dilengkapi dengan berbagai fungsi bawaan yang memudahkan penyelesaian tugas-tugas kompleks dalam pengolahan data angka, khususnya untuk perhitungan numerik yang berbasis matriks. (Fatwa et al., 2022)

2.4 *Hardware* yang digunakan

Pada penelitian Tugas Akhir terdapat beberapa *hardware* yang digunakan sebagai objek penelitian diantaranya yaitu *sensor*, aktuator dan mikrokontroler. Adapun beberapa komponen tersebut adalah:

2.4.1 ESP32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh *Espressif System*, yang merupakan kelanjutan dari model mikrokontroler sebelumnya yaitu ESP8266. Mikrokontroler ini telah dilengkapi dengan modul WiFi terintegrasi ke dalam chip, yang sangat memudahkan pengembangan aplikasi dalam lingkup *Internet of Things* (IoT). Keuntungan utama ESP32 adalah adanya dukungan Wi-Fi dan Bluetooth pada satu chip, sehingga memudahkan untuk mempelajari cara mengembangkan sistem IoT yang membutuhkan koneksi nirkabel. Mikrokontroler ESP32 menawarkan berbagai kelebihan, termasuk biaya yang rendah dan konsumsi daya yang efisien berkat modul WiFi yang terintegrasi pada chip mikrokontroler serta fitur Bluetooth dengan mode dual yang hemat daya, menjadikannya solusi yang lebih fleksibel. (Wagyana, 2019)

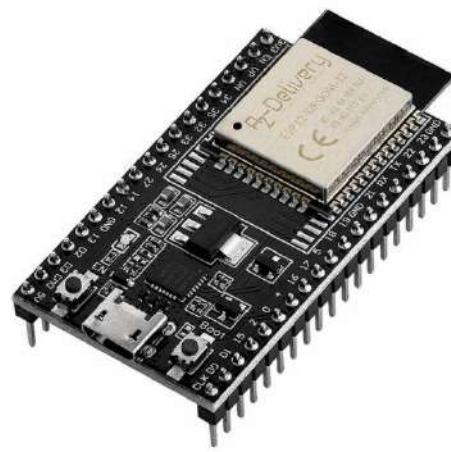
Prosesor ini dapat beroperasi secara independen atau secara bersamaan, tergantung pada kebutuhan aplikasi, memungkinkan untuk melaksanakan beberapa tugas secara simultan dan efisien. Modul ESP32 dilengkapi dengan 34 pin *input/output* yang dapat digunakan untuk menghubungkan *sensor*, aktuator, atau perangkat lainnya. Ini sangat berbeda dengan ESP8266 yang hanya memiliki 12 pin *input/output*. (Kusumah & Pradana, 2019)

Selain itu, ESP32 juga dilengkapi dengan berbagai antarmuka komunikasi digital seperti UART, I2C, dan SPI, yang memungkinkan mikrokontroler ini untuk terhubung dengan berbagai sensor dan modul eksternal. UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) digunakan sebagai protokol komunikasi serial dua arah yang umum dipakai untuk pertukaran data dengan perangkat seperti sensor, modul GSM, atau komputer melalui port serial. ESP32 mendukung hingga tiga UART hardware yang dapat dikonfigurasi ke berbagai pin sesuai kebutuhan.

Sementara itu, I2C (Inter-Integrated Circuit) dan SPI (Serial Peripheral Interface) adalah protokol komunikasi sinkron yang memungkinkan ESP32 berinteraksi dengan banyak perangkat seperti sensor

suhu, modul display, dan memori eksternal. ESP32 menyediakan dua antarmuka I2C dan dua SPI yang dapat diatur secara fleksibel melalui fitur pin remapping, sehingga sangat mendukung pengembangan sistem dengan banyak perangkat terhubung. Kehadiran ketiga antarmuka ini memberikan keleluasaan tinggi dalam membangun sistem IoT yang kompleks dan modular.

Untuk spesifikasi dari ESP32 dapat dilihat pada Tabel 2.9, sedangkan tampilannya dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2. 13 ESP 32

Sumber: (Wagyana, 2019)

Untuk spesifikasi dari ModBus RTU Temperature & Humidity (RS485) dapat dilihat pada Tabel 2. 9.

Tabel 2. 9 Spesifikasi ESP32

Parameter	Nilai
Mikrokontroler	Tensilica Xtensa Dual-Core 32-bit LX6
Kecepatan CPU	Hingga 240 MHz
Memori	520 KB SRAM, 4 MB Flash Memory (eksternal)
Komunikasi Nirkabel	Wi-Fi 802.11 b/g/n (2.4 GHz), Bluetooth v4.2 BR/EDR + BLE
GPIO	36 pin GPIO
Input	3.0 – 3.3 V (input dari USB 5V melalui regulator)
Tegangan GPIO	3.3V logic level (tidak tahan 5V)
Port USB	Micro USB (melalui chip USB-to-Serial)
ADC (<i>Analog Digital Converter</i>)	12-bit ADC, hingga 18 saluran

Parameter	Nilai
DAC (<i>Digital Analog Converter</i>)	8-bit DAC, hingga 2 saluran
UART	Hingga 3 (UART0, UART1, UART2)
I2C/SPI	2x I2C, 4x SPI (konfigurable)
Protokol Jaringan	TCP/IP, UDP, HTTP, MQTT, dll.
Periferal Tambahan	SPI, I2C, I2S, UART, PWM, Timer, dll.

2.4.2 *Power Meter*

Power Meter ZGCJ adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur arus dan tegangan listrik pada suatu sistem atau alat. Komponen ini menerima sinyal listrik dari perangkat yang dipantau dan mengolahnya untuk menghitung nilai arus dan tegangan yang digunakan. Data yang diperoleh mencakup parameter tegangan dan arus.

Perangkat ini bekerja dengan mendeteksi sinyal listrik, mengolahnya melalui rangkaian elektronik internal, dan memberikan hasil dalam bentuk data digital yang mudah dibaca atau ditampilkan melalui antarmuka tertentu. Dengan kemampuan ini, *Power Meter* ZGCJ banyak digunakan dalam aplikasi *monitoring* energi, baik pada peralatan rumah tangga, industri, maupun sistem otomatisasi lainnya, untuk mengoptimalkan efisiensi penggunaan energi dan mencegah pemborosan.

Untuk gambar dari Power Meter dapat dilihat pada Gambar 2.14



Gambar 2. 14 *Power Meter* ZGCJ

Sumber : <https://www.google.com//powermeter>

Untuk spesifikasi dari *Power Meeter* ZGCJ dapat dilihat pada Tabel 2. 10.

Tabel 2. 10 Spesifikasi Power Meter ZGCJ

Parameter	Spesifikasi Umum
Tegangan Operasi	220V / 380V AC, 3 phase 4 wire
Frekuensi	50 / 60 Hz
Input Arus (via CT)	5A (umumnya melalui CT 100/5A atau 200/5A)
Komunikasi	RS485
Baudrate Default	9600 bps
Display	LCD / LED 4 digit
Resolusi Tegangan	0.1 V
Resolusi Arus	0.01 A
Akurasi	$\pm 0.5\%$ untuk V dan A
Rasio CT dan VT	Dapat dikonfigurasi melalui keypad / Modbus
Dimensi	$\pm 96 \times 96$ mm (umum untuk panel)
Aplikasi Umum	Monitoring panel listrik industri, gedung, PLN

Power Meter ZGCJ berfungsi sebagai alat ukur digital yang digunakan untuk memantau parameter kelistrikan seperti tegangan dan arus dalam sistem tiga fasa. Dalam penggunaannya, arus listrik dari beban tidak dihubungkan secara langsung ke alat, melainkan melalui *Current Transformer* (CT) dengan rasio tertentu, seperti 100/5A atau 200/5A. Tegangan masuk langsung dari panel listrik ke input tegangan pada power meter.

Setelah menerima input arus dan tegangan, Power Meter ZGCJ secara otomatis melakukan perhitungan terhadap nilai secara real-time. Seluruh hasil perhitungan ini kemudian dikirimkan dalam bentuk data digital melalui jalur komunikasi RS485 menggunakan protokol Modbus RTU.

Mikrokontroler ESP32 kemudian membaca data dari power meter dengan mengirimkan instruksi sesuai fungsi tertentu dalam protokol Modbus, umumnya menggunakan function code 03 (*Read Holding Register*). Dengan metode ini, mikrokontroler dapat memperoleh nilai-nilai

penting seperti arus dan tegangan secara periodik untuk keperluan monitoring, pencatatan, atau klasifikasi lebih lanjut dalam sistem yang dirancang.

2.4.3 SHT20 *ModBus* RTU

ModBus RTU Temperature & Humidity (SHT20) *Sensor* adalah perangkat *sensor* yang dirancang untuk mengukur parameter suhu dan kelembapan dengan presisi tinggi. *Sensor* ini menggunakan protokol komunikasi ModBus RTU berbasis RS485, yang memungkinkan transfer data yang cepat, andal, dan kompatibel dengan berbagai sistem *monitoring* dan kontrol industri. SHT20 memiliki modulasi digital canggih yang menggabungkan elemen *sensor* CMOSens® untuk pengukuran suhu dan kelembapan secara akurat.

Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi seperti HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), manajemen energi, sistem otomasi bangunan, serta *monitoring* lingkungan pada industri manufaktur dan penyimpanan. Dengan teknologi ModBus RTU, *sensor* ini dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler, PLC (*Programmable Logic Controller*), dan perangkat IoT lainnya untuk pengambilan data secara *real-time*.

Paket *sensor* Modbus SHT 20 dirancang untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. *Sensor* ini dilengkapi dengan thermistor tipe NTC (*Negative Temperature Coefficient*) untuk pengukuran suhu, serta *sensor* kelembapan dengan karakteristik resistif yang merespons perubahan kadar air di udara. Selain itu, terdapat chip yang di dalamnya melakukan konversi dari sinyal analog ke digital dan menghasilkan *output* dengan *format single-wire bidirectional* (kabel tunggal dua arah). (Kebos et al., 2022)

Untuk spesifikasi dari SHT20 dapat dilihat pada Tabel 2.11, sedangkan tampilannya dapat dilihat pada Gambar 2. 15



Gambar 2. 15 SHT20

Sumber : <https://www.google.com/sht20>

Untuk spesifikasi dari ModBus RTU Temperature & Humidity (RS485) dapat dilihat pada Tabel 2. 11

Tabel 2. 11 Spesifikasi ModBus RTU *Temperature & Humidity* (RS485)

Parameter	Nilai
Mikrokontroler	ModBus RTU (RS485)
Input	5V DC / 12V DC
Jangkauan Pengukuran	Suhu: -40°C hingga +125°C Kelembapan: 0% hingga 100% RH
Akurasi Pengukuran	Suhu: $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ Kelembapan: $\pm 2\%$ RH
Resolusi	Suhu: 0.1°C Kelembapan: 0.1% RH
Protokol Koneksi	RS485, ModBus RTU
Alamat Slave Default	0x01 (bisa dikonfigurasi)
Kecepatan Baud Rate	9600 bps (default), dapat dikonfigurasi
Tipe Konektor	Terminal blok RS485 (A/B)
Material Housing	Plastik tahan lama dengan perlindungan IP65
Dimensi	$\pm 98\text{mm} \times 50\text{mm} \times 20\text{mm}$
Lingkungan Operasi	Suhu: -40°C hingga +80°C Kelembapan: $\leq 95\%$ RH (tanpa kondensasi)

2.4.4 *Module P10 (Running Text)*

LED matrix P10 adalah suatu jenis susunan LED yang dirancang dengan ukuran 16x32 cm dan digunakan untuk menampilkan teks. LED

matrix P10 terdiri dari deretan LED yang tersusun dalam bentuk kolom dan baris dengan jumlah yang telah ditentukan, membentuk titik-titik yang dapat menyala dan menghasilkan karakter seperti huruf, angka, dan tanda baca, serta memungkinkan efek animasi tertentu.

LED matrix P10 ini dapat dihubungkan dengan unit LED matrix P10 lainnya baik secara paralel maupun seri untuk memperluas tampilan. Perangkat ini dapat diberi daya melalui *power supply eksternal* atau langsung dari mikrokontroler seperti Arduino yang terhubung ke PC (personal computer). LED matrix P10 banyak digunakan dalam aplikasi seperti *running text* untuk menampilkan informasi secara visual. (R. Ananda et al., 2023)

Untuk gambar dari *Module* P10 dapat dilihat pada Gambar 2.16



Gambar 2. 16 *Module* P10

Sumber : <https://www.google.com/modulep10>

Untuk spesifikasi dari *Module* P10 dapat dilihat pada Tabel 2. 12

Tabel 2. 12 Spesifikasi Module P10

Parameter	Spesifikasi
Warna LED	Merah (SMD)
Ukuran Modul	320 mm × 160 mm
Resolusi Modul	32 × 16 titik (piksels)
Jarak Antar Piksel (Pitch)	10 mm
Mode Pindai (Scan Mode)	1/4 Scan
Jarak Pandang Ideal	12.5 – 33 meter
Tegangan Kerja	DC 5 Volt
Tipe HUB	HUB12
Grade Tahan Air (Depan)	IP65 (tahan air dan debu)

Parameter	Spesifikasi
Sertifikasi Kualitas	ETL, CE, RoHS, TUV, FCC Class A, ISO 9001:2008
Lingkungan Operasional	Luar ruangan (Outdoor)

2.4.5 *Tower Light with Buzzer*

Tower Light with Buzzer adalah sistem indikator yang menggabungkan lampu LED merah dan buzzer untuk memberikan sinyal visual dan suara sebagai penanda kondisi operasi suatu mesin atau sistem. Sistem ini sering digunakan pada peralatan industri, seperti mesin produksi atau pengolahan, untuk menunjukkan status operasionalnya.

Tower light dengan buzzer dioperasikan menggunakan sinyal listrik bertegangan DC 24V atau AC 220V. Lampu LED pada sistem ini biasanya berkedip dalam pola tertentu untuk menunjukkan berbagai status, seperti mode operasi, alarm, atau kondisi keselamatan. Sementara itu, buzzer menghasilkan bunyi alarm untuk memberikan peringatan jika terjadi masalah pada mesin atau ketika kondisi yang tidak diinginkan terdeteksi. (Aditya & Suryantoro, 2023)

Untuk gambar dari *Tower Light with Buzzer* dapat dilihat pada Gambar 2.17



Gambar 2. 17 *Tower Light with Buzzer*

Sumber: (Aditya & Suryantoro, 2023)

Untuk spesifikasi dari *Tower Light with Buzzer* dapat dilihat pada Tabel 2. 13

Tabel 2. 13 Spesifikasi *Tower Light with Buzzer*

Parameter	Keterangan
Tegangan Kerja	DC 12V atau 24V (tergantung tipe)
Tipe Lampu	LED (terintegrasi per warna)
Warna	Merah, kuning, hijau
Buzzer	Built-in, aktif bila diberi tegangan
Tipe Pengaktifan	Masing-masing warna dan buzzer diaktifkan dengan jalur VCC/GND terpisah
Koneksi	4–5 kabel (Abu: GND, lainnya untuk warna/buzzer)
Pemasangan	Biasanya vertikal, dengan bracket kaki

2.4.6 LCD I2C

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah jenis modul tampilan yang digunakan untuk menampilkan karakter sesuai kebutuhan. Layar LCD terdiri dari dua lembar bahan pemolarisasi dengan kristal cair di antara keduanya, yang memungkinkan pengaturan cahaya untuk menampilkan informasi. LCD banyak digunakan dalam berbagai sistem yang dirancang menggunakan mikrokontroler. Fungsinya meliputi menampilkan hasil pengukuran *sensor*, teks, atau menu dalam aplikasi mikrokontroler, memberikan antarmuka visual yang jelas dan informatif. (Mluyati & Sadi, 2019)

Untuk gambar dari LCD i2c dapat dilihat pada Gambar 2.18



Gambar 2. 18 LCD i2c

Sumber : <https://www.google.com/lcdi2c>

Untuk spesifikasi dari LCD i2c dapat dilihat pada Tabel 2. 14.

Tabel 2. 14 Spesifikasi LCD I2C

Fitur	Keterangan
Ukuran Umum	16×2 (16 karakter × 2 baris) atau 20×4
Tipe LCD	Karakter, backlight biru atau hijau
Protokol	I2C (2 pin: SDA, SCL)
Alamat I2C	Biasanya 0x27 atau 0x3F (tergantung modul)
Tegangan	5V (beberapa support 3.3V)
Kontrol Backlight	ON/OFF via software
Chip I2C	PCF8574 I/O Expander

2.4.7 Motor 3 Phase

Motor induksi tiga fasa adalah jenis motor listrik arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan di industri. Motor ini disebut sebagai motor induksi karena arus listrik pada rotor tidak berasal langsung dari sumber listrik, melainkan terinduksi akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan magnet yang berputar. Pada prinsipnya, motor induksi dapat diibaratkan sebagai transformator, di mana kumparan stator bertindak sebagai kumparan primer yang diam, sedangkan kumparan rotor berfungsi sebagai kumparan sekunder yang berputar. Motor induksi tiga fasa berputar dengan kecepatan yang umumnya konstan, mulai dari kondisi tanpa beban hingga beban penuh. Kecepatan motor ini bergantung pada frekuensi sumber listrik, sehingga pengaturan kecepatan tidak dapat dilakukan dengan mudah. Namun, motor ini memiliki sejumlah keunggulan, seperti desain yang sederhana, konstruksi yang kuat, biaya yang relatif rendah, perawatan yang mudah, serta fleksibilitas untuk dibuat dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan industri. (Pokhrel, 2024)

Untuk gambar dari Motor 3 Phase dapat dilihat pada Gambar 2.19



Gambar 2. 19 Motor 3 Phase

Sumber : <https://www.google.com/motor3phase>

Untuk spesifikasi dari Motor 3 Phase dapat dilihat pada Tabel 2. 15.

Tabel 2. 15 Spesifikasi Motor 3 Phase

Parameter	Spesifikasi
Tipe Motor	Motor Induksi 3 Fasa
Merek	Yuema
Model	Foot Mounted / Horizontal / B3
Daya (Power)	0,09 kW / 0,12 HP
Input	220 / 380 Volt AC
Kecepatan (RPM)	3000 RPM (2 Pole)
Frekuensi	50 Hz
Konfigurasi Mekanik	B3 – Dudukan Kaki (Foot Mount)
Jenis Fasa	3 Phase
Penggunaan	Pompa, kipas, conveyor, alat industri kecil
Material Housing	Aluminium (umumnya untuk daya kecil)

2.4.8 RS485 to TTL

RS485 to TTL adalah modul konversi sinyal yang memungkinkan komunikasi antara perangkat yang menggunakan protokol RS485 dengan perangkat logika digital yang beroperasi pada level tegangan TTL (Transistor-Transistor Logic), seperti mikrokontroler. RS485 merupakan protokol komunikasi serial berbasis differential yang mendukung komunikasi jarak jauh dan multi-drop (banyak perangkat dalam satu jalur), serta tahan terhadap gangguan elektromagnetik.

Proses komunikasi dimulai saat perangkat RS485 mengirim data melalui dua jalur diferensial (A dan B). Modul konverter RS485 to TTL

akan menerima sinyal diferensial ini, lalu mengubahnya menjadi sinyal digital TTL (0–5V atau 0–3.3V tergantung perangkat) yang dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Sebaliknya, ketika mikrokontroler ingin mengirim data ke jaringan RS485, modul ini juga akan mengubah sinyal TTL menjadi sinyal diferensial RS485. Dengan demikian, modul ini memungkinkan pertukaran data dua arah antara sistem TTL dan jaringan RS485 secara efisien dan andal. (Kebos et al., 2022)



Gambar 2. 20 RS485 to TTL

Sumber : <https://www.google.com/RS485toTTL>

Untuk spesifikasi dari RS485 to TTL dapat dilihat pada Tabel 2. 16.

Tabel 2. 16 Spesifikasi RS485 to TTL

Parameter	Spesifikasi
Nama Modul	RS485 to TTL (Auto Direction)
Mode Komunikasi	Half-Duplex (pengiriman & penerimaan bergantian)
Kontrol Arah Data	Otomatis, tanpa pin DE dan RE
Antarmuka RS485	2 pin: A (+) dan B (-)
Antarmuka TTL	TX dan RX (logika 3.3V/5V kompatibel)
Input	5V DC
Chip Driver Umum	SP3485 / MAX485 versi otomatis
Baud Rate Maksimum	Hingga 115200 bps
Jarak Komunikasi	Hingga ±1200 meter (kabel twisted pair, kondisi ideal)
Protokol yang Didukung	Modbus RTU, komunikasi RS485 lain (otomatis)
Kompatibilitas Mikrokontroler	Arduino, ESP32, STM32, dan lainnya
Ukuran Modul	±44 mm × 14 mm
Fungsi Utama	Mengubah sinyal diferensial RS485 menjadi TTL serial (UART)

Pada tugas akhir ini, modul RS485 to TTL digunakan sebagai antarmuka komunikasi antara mikrokontroler ESP32 dengan dua perangkat sensor, yaitu Power Meter dan sensor suhu serta kelembapan XY-MD02 berbasis SHT20. Kedua sensor tersebut menggunakan protokol komunikasi Modbus RTU berbasis RS485, yang tidak dapat diakses langsung oleh mikrokontroler karena perbedaan level logika sinyal. Oleh karena itu, dibutuhkan modul konverter RS485 to TTL untuk mengubah sinyal diferensial RS485 menjadi sinyal TTL serial yang kompatibel dengan port UART pada ESP32.

Power Meter digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan seperti arus dan tegangan, sementara sensor XY-MD02 SHT20 digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan lingkungan. Masing-masing sensor dihubungkan ke jalur RS485 yang berbeda dan dikonfigurasi dengan alamat slave yang unik, sehingga ESP32 dapat berkomunikasi dengan keduanya secara bergantian menggunakan protokol Modbus RTU.

Dengan konfigurasi ini, sistem dapat membaca data kelistrikan dan data lingkungan secara real-time melalui dua modul RS485 to TTL. Data hasil pembacaan kemudian diolah oleh mikrokontroler untuk ditampilkan, diklasifikasikan, atau dikirim ke media penyimpanan dan server sesuai kebutuhan. Kombinasi penggunaan RS485 dengan TTL converter memungkinkan komunikasi jarak jauh yang stabil, serta mendukung integrasi beberapa sensor dalam satu sistem secara efisien dan hemat pin.

2.4.9 Kipas AC 220V

Kipas AC 220V adalah perangkat yang berfungsi untuk mengalirkan udara ke dalam suatu ruangan dan membantu proses sirkulasi udara secara efektif. Selain itu, kipas ini juga dapat berperan sebagai alat bantu pendinginan atau ventilasi, tergantung pada aplikasinya. Kipas jenis ini banyak digunakan di berbagai sektor seperti industri, perkantoran, rumah tangga, dan peternakan untuk menjaga kualitas udara atau membantu pendinginan mesin dan ruangan. Kipas AC 220V menggunakan tegangan AC satu fasa sebesar 220 volt untuk operasionalnya, sehingga sangat cocok

digunakan pada instalasi listrik standar rumah tangga atau usaha kecil. Kipas ini menawarkan kemudahan dalam pemasangan dan perawatan, serta memberikan kinerja yang cukup baik untuk sirkulasi udara di area dengan kebutuhan ventilasi ringan hingga sedang. (Reski Ramadhan, 2023)



Gambar 2. 21 Blower

Sumber : <https://www.google.com/fanac220v>

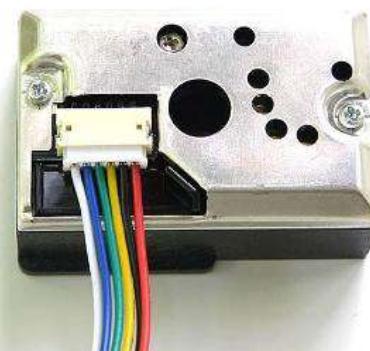
Pada penelitian tugas akhir ini *fan* berfungsi untuk mendinginkan area sehingga dapat menjaga stabilitas suhu.

2.4.10 GP2Y1010

Sensor debu GP2Y1010 adalah sensor optik yang digunakan untuk mendeteksi partikel debu di udara, seperti PM 10, yang dapat mempengaruhi kualitas udara. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pengukuran cahaya yang dipantulkan oleh partikel debu yang ada di udara. Saat partikel debu melewati jalur cahaya dari LED (Light Emitting Diode), cahaya tersebut akan dipantulkan dan diterima oleh fotodetektor yang terpasang di dalam sensor. Banyaknya cahaya yang dipantulkan tergantung pada konsentrasi partikel debu, dan sinyal yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghitung tingkat polusi debu di udara.

GP2Y1010 banyak digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas udara dalam ruangan, alat pembersih udara, serta sistem ventilasi dan HVAC untuk mendeteksi dan mengukur kadar debu. Dengan kemampuannya mendeteksi partikel debu secara real-time, sensor ini sangat berguna dalam meningkatkan kenyamanan dan kesehatan, terutama di lingkungan yang rentan terhadap polusi udara. (Amir & Ilham, 2020)

Untuk gambar dari GP2Y1010 dapat dilihat pada Gambar 2.22



Gambar 2. 22 GP2Y1010

Sumber : <https://www.google.com/GP2Y1010>

Tabel 2. 17 Tabel Spesifikasi GP2Y1010AU0F

Parameter	Nilai / Keterangan
Model	GP2Y1010AU0F
Tipe Sensor	Sensor optik partikel debu
Tegangan Operasi	5V DC
Arus Operasi	~20 mA
Output	Tegangan analog (mV) sebanding dengan konsentrasi debu
Konsentrasi Debu	0 – 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Waktu Respons	<1 detik
Sensitivitas	~0.5 V untuk ~100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (perlu kalibrasi)
Sudut Deteksi	$\pm 20^\circ$
Komponen Utama	LED IR dan phototransistor
Interface	Output analog + LED input PWM

2.4.11 Current Transformer Fort MSQ-30 (100/5A)

Current Transformer (CT) Fort MSQ-30 merupakan jenis transformator arus yang digunakan untuk mengukur arus listrik besar dalam sistem tenaga listrik secara tidak langsung. Dengan rasio transformasi 100/5A, CT ini akan mengubah arus primer sebesar 100 ampere menjadi arus sekunder sebesar 5 ampere. Transformasi ini memungkinkan pengukuran arus yang tinggi dilakukan dengan aman dan efisien oleh alat ukur seperti power meter atau sistem proteksi arus lebih. (Rifki, 2020)

CT ini bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika arus listrik mengalir melalui konduktor primer (kabel atau busbar yang melewati lubang CT), medan magnet yang dihasilkan akan menginduksi arus di belitan sekunder CT. Arus sekunder ini kemudian dihubungkan ke alat ukur yang telah dikalibrasi berdasarkan rasio transformasi tertentu. Dengan demikian, nilai arus aktual dapat diketahui tanpa perlu menghubungkan alat ukur secara langsung ke sistem tegangan tinggi.

Salah satu fungsi utama CT adalah memberikan isolasi antara sisi primer (arus besar) dan sisi sekunder (arus kecil). Ini memberikan keamanan tambahan bagi peralatan dan operator karena peralatan ukur tidak terhubung langsung ke sistem arus besar. Selain itu, arus sekunder yang telah distandardisasi, seperti 5 ampere, memungkinkan alat ukur menggunakan kalibrasi umum yang memudahkan integrasi ke berbagai sistem monitoring dan kontrol.

Current Transformer Fort MSQ-30 banyak digunakan pada panel distribusi listrik di industri, bangunan komersial, dan sistem manajemen energi. Dengan kelas akurasi 0.5, CT ini cocok untuk aplikasi pengukuran yang memerlukan ketelitian cukup tinggi, khususnya dalam sistem pemantauan arus dan tegangan.

Untuk gambar dari Current Transformer Fort MSQ-30 (100/5A) dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Current Transformer Fort MSQ-30 (100/5A)

Sumber : <https://www.google.com/CT-Fort>

Tabel 2. 18 Tabel Spesifikasi Current Transformer Fort MSQ-30 (100/5A)

Spesifikasi	Nilai
Merek	Fort
Tipe	MSQ-03
Rasio Arus	100 A / 5A
Beban	1.5 VA
Kelas Akurasi	0.5
Ukuran Lubang Busbar	10 × 30 mm

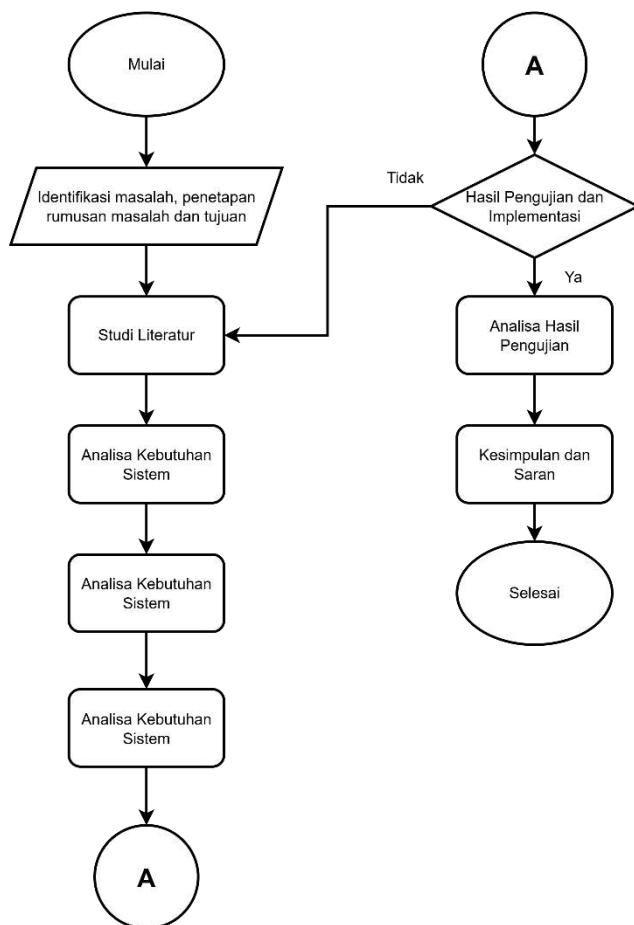
Current Transformer (CT) Fort MSQ-30 berfungsi untuk mengubah arus primer yang besar pada motor tiga fasa menjadi arus sekunder sebesar 5 ampere, sehingga dapat dibaca oleh power meter secara aman dan terisolasi. CT ini digunakan sebagai bagian dari sistem monitoring arus untuk mengetahui konsumsi arus motor secara real-time tanpa mengganggu sirkuit utama.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan implementasi metode *Neural Network* untuk memantau arus, tegangan, suhu, kelembapan dan kualitas udara pada area kerja galangan kapal selam berbasis ESP32. Data yang diperoleh dari *sensor-sensor power meter*, GP2Y1010 , dan SHT20 dikumpulkan dan diolah oleh mikrokontroler untuk kemudian ditampilkan melalui *running text* (LED matrix). Sistem ini juga dilengkapi dengan alarm berbasis *Tower Light with Buzzer* yang akan aktif jika parameter melampaui batas *setpoint*. Dengan klasifikasi yang dilakukan oleh algoritma *Neural Network*, sistem mampu memberikan peringatan dini dan memungkinkan pengguna memantau kondisi area kerja secara *real-time*, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang cepat dan tepat untuk meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasional.

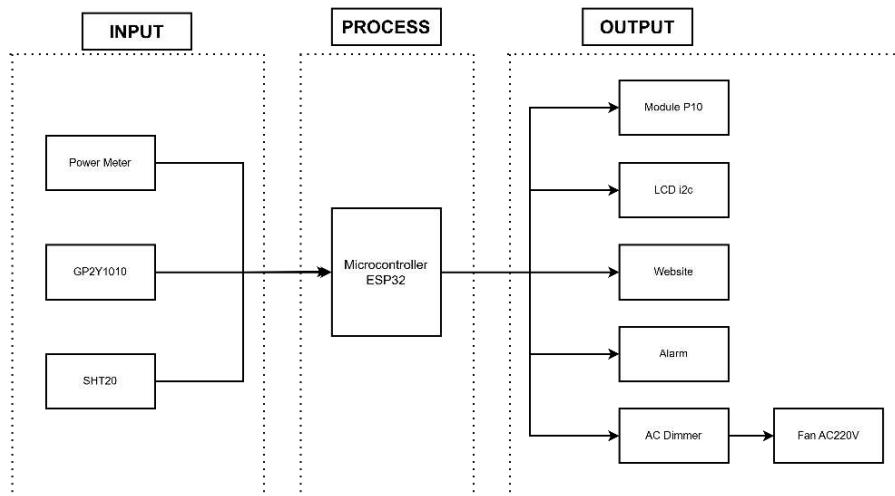


Gambar 3. 1 Rancangan Diagram alur penelitian

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025).

3.1 Tahapan Penelitian

Pada bagian ini akan dijelaskan konsep yang menjadi dasar penelitian yang akan dilaksanakan. Konsep ini berfungsi sebagai landasan dalam merancang dan mengembangkan sistem yang direncanakan. Dengan memberikan gambaran umum tentang sistem yang akan dibuat, penelitian ini diharapkan memiliki kerangka yang solid. Penjelasan konsep tersebut akan disajikan dalam bentuk diagram blok untuk memudahkan pemahaman. Diagram blok sistem yang ditampilkan pada Gambar 3.2 dirancang untuk membantu pembaca memahami konsep umum sistem yang dikembangkan, sehingga penelitian ini memiliki kerangka kerja yang kuat.



Gambar 3. 2 Rancangan Diagram Blok Sistem

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada Gambar 3.2, sistem *monitoring* menggunakan komponen-komponen utama yang terintegrasi untuk memantau arus, tegangan, suhu, kelembapan dan kualitas udara pada area kerja galangan kapal selam. Pada bagian *input*, terdapat *Power Meter* untuk mengukur arus dan tegangan, *GP2Y1010* untuk mendeteksi kualitas udara sekitar, dan *sensor SHT20* untuk mendeteksi suhu serta kelembapan lingkungan.

Data dari perangkat *input* dikumpulkan oleh mikrokontroler *ESP32* untuk diproses. Sistem ini menggunakan metode *Neural Network* untuk mengolah data dan mengklasifikasikan kondisi area kerja berdasarkan parameter yang telah ditentukan.

Pada bagian *output*, hasil pengolahan data ditampilkan melalui *Running Text (Module P10)* untuk memberikan informasi suhu, kelembapan, dan kondisi peralatan secara visual. Selain itu, sistem dilengkapi dengan *Buzzer* untuk memberikan peringatan suara jika parameter melampaui batas setpoint. Integrasi keseluruhan komponen ini memungkinkan sistem melakukan *monitoring* secara *real-time*, memberikan peringatan dini, dan mendukung pengambilan keputusan yang tepat untuk menjaga efisiensi serta keamanan operasional.

3.2 Tahap Identifikasi Awal

3.2.1 Identifikasi Masalah

Proses identifikasi masalah dalam penelitian ini melibatkan analisis berbagai kendala yang terjadi pada area kerja galangan kapal selam, khususnya terkait arus dan tegangan alat, suhu, kelembapan dan kualitas udara. Permasalahan yang dihadapi adalah kurangnya sistem *monitoring real-time* yang mampu mendeteksi kondisi kerja secara otomatis, sehingga sering kali terlambat dalam mencegah penurunan kualitas area kerja dan operasional. Berdasarkan hal tersebut, penulis memilih judul "Klasifikasi Kualitas Area Kerja Galangan Kapal Selam Berdasarkan Lingkungan dan Peralatan dengan *Neural Network*" sebagai fokus Tugas Akhir ini.

Solusi yang diusulkan adalah penerapan sistem berbasis IoT yang terintegrasi dengan algoritma *Neural Network* untuk memproses data dari berbagai *sensor* dan memberikan klasifikasi otomatis terkait kualitas area kerja. Keunggulan sistem ini mencakup pemantauan *real-time*, deteksi dini terhadap kondisi yang tidak sesuai standar, dan pengambilan keputusan yang lebih cepat guna meningkatkan efisiensi operasional serta keselamatan.

Latar belakang penelitian ini didasarkan pada kebutuhan dalam mendukung otomatisasi cerdas di era teknologi modern untuk memastikan pengelolaan lingkungan kerja yang lebih efektif. Sistem ini mengintegrasikan *sensor* SHT20 untuk mengukur suhu dan kelembapan, GP2Y1010 untuk mendeteksi kualitas udara sekitar, dan *Power Meter*

untuk mengukur arus dan tegangan. Data dari *sensor* diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan melalui *Running Text* (LED matrix) untuk memberikan informasi visual, serta *buzzer* untuk memberikan peringatan jika parameter melampaui setpoint.

Penggunaan *Neural Network* dipilih karena kemampuannya dalam memproses data kompleks dan memberikan hasil klasifikasi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Dengan implementasi sistem ini, diharapkan kualitas area kerja galangan kapal selam dapat terjaga secara optimal, sehingga mendukung kelancaran operasional dan mengurangi potensi risiko serta kerugian.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan salah satu aspek penting dalam penelitian Tugas Akhir ini. Tujuan utama dari studi literatur adalah untuk memahami konsep, teori, dan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait topik "Klasifikasi Kualitas Area Kerja Galangan Kapal Selam Berdasarkan Lingkungan dan Peralatan dengan *Neural Network*." Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi solusi-solusi yang telah diterapkan dalam penelitian serupa, khususnya dalam bidang *monitoring* berbasis IoT dan penerapan *Neural Network*. Referensi yang digunakan mencakup artikel jurnal, prosiding, buku, atau publikasi lain yang relevan dengan topik penelitian.

Selain itu, penulis juga memeriksa *datasheet* dari komponen-komponen yang digunakan, *sensor* SHT20, GP2Y1010, *Power Meter*, dan mikrokontroler ESP32. *Datasheet* ini penting untuk memahami karakteristik teknis dan spesifikasi masing-masing komponen, sehingga dapat membantu dalam menentukan pengaturan dan konfigurasi yang tepat untuk implementasi sistem.

Sebelum pelaksanaan penelitian, observasi terhadap area kerja galangan kapal selam yang menjadi objek penelitian dilakukan untuk memahami kondisi aktual. Observasi ini bertujuan untuk mengetahui parameter lingkungan dan operasional, seperti tingkat arus dan tegangan alat, suhu, kelembapan dan kualitas udara, yang menjadi indikator utama dalam klasifikasi kualitas area kerja.

Dengan kombinasi studi literatur dan observasi, penulis dapat merancang sistem *monitoring* yang efektif, menggunakan *Neural Network* sebagai metode klasifikasi untuk mendukung pemantauan *real-time*. Langkah-langkah awal ini sangat penting untuk memastikan bahwa penelitian dapat dilaksanakan secara terarah dan menghasilkan solusi yang relevan dengan kebutuhan operasional di galangan kapal selam.

3.3 Analisa Kebutuhan Sistem

Analisa kebutuhan Sistem adalah tempat dimana menemukan dan menganalisis komponen apa saja yang akan digunakan untuk membuat prototipe ini, antara lain:

Tabel 3. 1 Kebutuhan Sistem

No.	Pembuatan	Analisa Kebutuhan
1	Kebutuhan <i>Input</i>	<i>Power Meter</i> GP2Y1010 SHT20 HF2211
2	Kebutuhan <i>Output</i>	<i>Running Text</i> LCD I2C <i>Tower Light with Buzzer</i> Blower Dimmer
3	Kebutuhan Primer	Laptop Motor 3 phase Inverter <i>Power Supply</i>

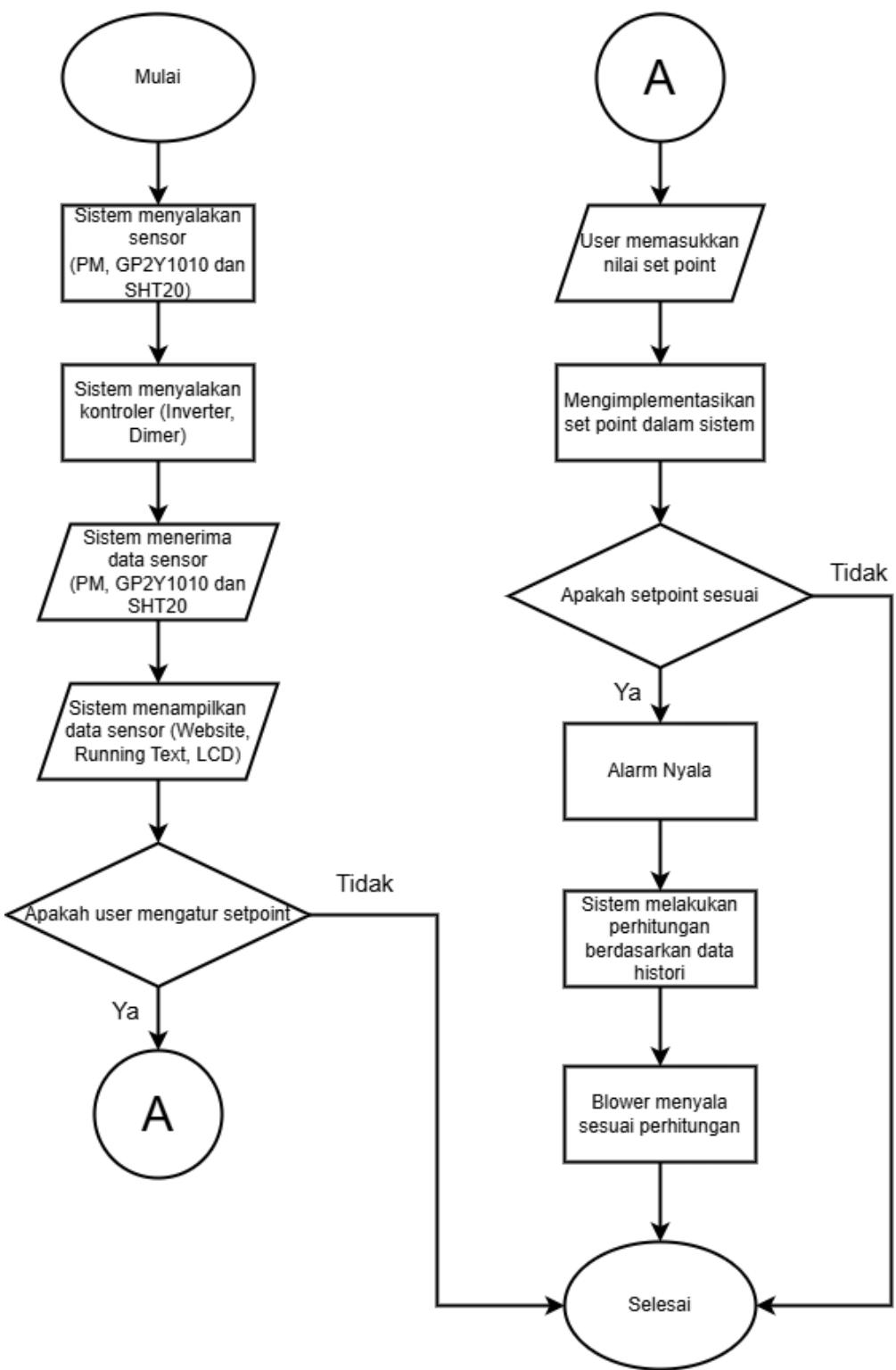
Pada Tabel 3.1 dapat dilihat kebutuhan dari sistem yang akan dibuat pada penelitian Tugas Akhir ini. Pada pembuatan *hardware* kebutuhannya meliputi beberapa komponen elektronik *sensor*, aktuator dan primer.

3.4 Perancangan dan Desain

Pada Subbab ini menjelaskan pembahasan tentang perancangan dan Desain dari penelitian yang akan dilaksanakan.

3.4.1 Diagram Alur Sistem

Diagram kerja sistem merupakan bagian yang akan menjelaskan proses pengoperasian sistem tersebut. Dari awal hingga akhir proses.berikut representasi dari diagram kerja sistem.



Gambar 3. 3 Rancangan Flowchart system

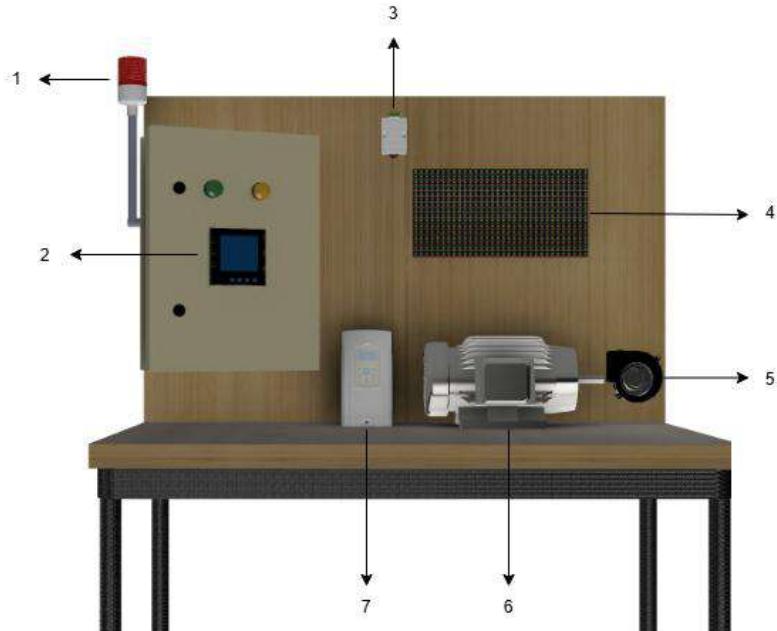
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Dari gambar 3.3 dapat dilihat alur kerja sistem *monitoring* IoT pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem menyalakan *sensor Power Meter*, GP2Y1010 dan SHT20.
2. Sistem menyalakan kontroler (Inverter dan Dimer).
3. Sistem menerima data *sensor* (*Power Meter*, GP2Y1010 dan SHT20).
4. Sistem menampilkan data *sensor* ke *Website*, Running Text dan LCD.
5. Jika *user* tidak mengatur setpoint maka hanya *monitoring* saja.
6. Jika *user* mengatur setpoint maka lanjut ke proses selanjutnya.
7. Mengimplementasikan setpoint dalam sistem.
8. Jika tidak sesuai dengan setpoint maka *monitoring* saja.
9. Jika setpoint sesuai maka alarm akan nyala.
10. Sistem akan melakukan perhitungan berdasarkan data histori.
11. Blower menyala sesuai perhitungan

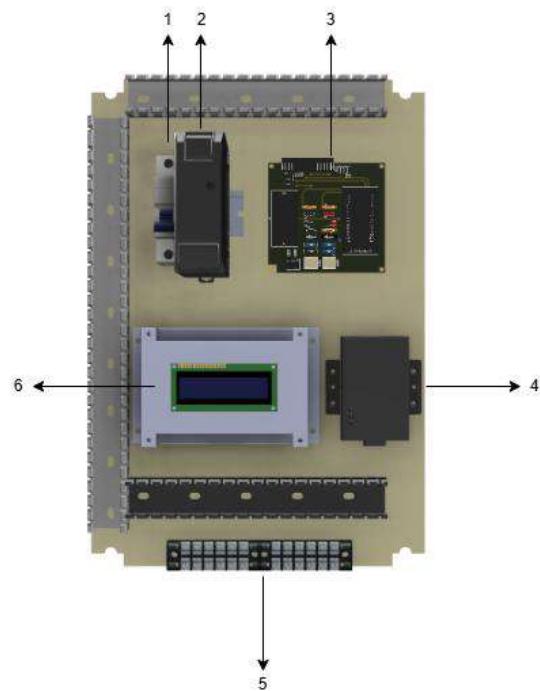
3.4.2 Perancangan Mekanik

Bagian ini membahas tentang penerapan dan desain alat yang akan dibuat. Penjelasan mencakup sistem pengeringan padi, mulai dari *hardware* hingga *software* akan disampaikan.



Gambar 3. 4 Desain alat dari depan

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)



Gambar 3. 5 Desain alat dari dalam

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Keterangan komponen pada gambar diatas:

Desain alat dari depan:

1. Tower Light with Buzzer
2. Power meter
3. SHT20
4. Module P10 (Running Text)
5. Blower
6. Motor 3 fasa
7. Inverter

Desain alat dari dalam panel:

1. MCB
2. Power supply 24V
3. Mikrokontroler
4. HF2211 (serial)
5. Terminal blok
6. GP2Y1010

Tahap berikutnya dalam Tugas Akhir ini adalah proses perancangan perangkat keras. Pada tahap ini, semua komponen perangkat keras lunak fusion 360 dari Autodesk. Perancangan ini bertujuan untuk mempermudah penelitian dalam membangun alat yang akan digunakan selama penelitian. Tampilan dari desain mekanik dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.

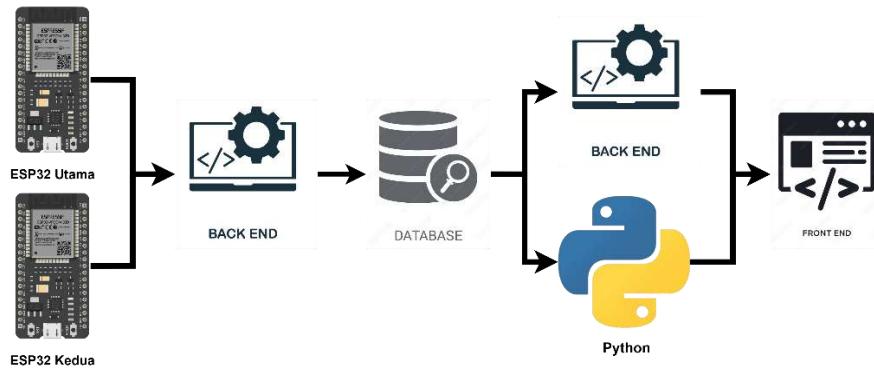
3.4.3 Arsitektur *Website*

Gambar 3.6 menunjukkan arsitektur sistem komunikasi berbasis protokol HTTP yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem ini dirancang agar data sensor dari dua mikrokontroler ESP32 dapat dikirimkan, disimpan, diproses, dan ditampilkan secara *real-time* kepada pengguna melalui sebuah website yang berjalan di server lokal.

Dalam arsitektur ini, masing-masing ESP32 berperan sebagai klien HTTP yang mengirimkan data sensor menuju server XAMPP menggunakan alamat IP lokal 172.20.10.6. Untuk membedakan sumber data dari setiap perangkat, digunakan endpoint yang berbeda, di mana ESP32 utama mengirimkan data melalui alamat http://172.20.10.6/skripsi/save_data.php, sedangkan ESP32 kedua mengirimkan data melalui alamat http://172.20.10.6/skripsi/save_data2.php.

Server XAMPP kemudian menjalankan skrip PHP pada kedua endpoint tersebut untuk menerima data dari masing-masing mikrokontroler. Setelah data diterima, skrip PHP melakukan validasi dan menyimpannya ke dalam basis data MySQL di server lokal.

Data sensor yang telah tersimpan dalam database diproses lebih lanjut menggunakan bahasa pemrograman Python. Tahapan pemrosesan ini meliputi analisis data seperti normalisasi parameter sensor, perhitungan Engineering Quality Index (EQI), hingga penerapan metode kecerdasan buatan sesuai kebutuhan sistem. Hasil pemrosesan Python dituliskan kembali ke database sehingga dapat diakses oleh sistem lain.



Gambar 3. 6 Arsitektur Website

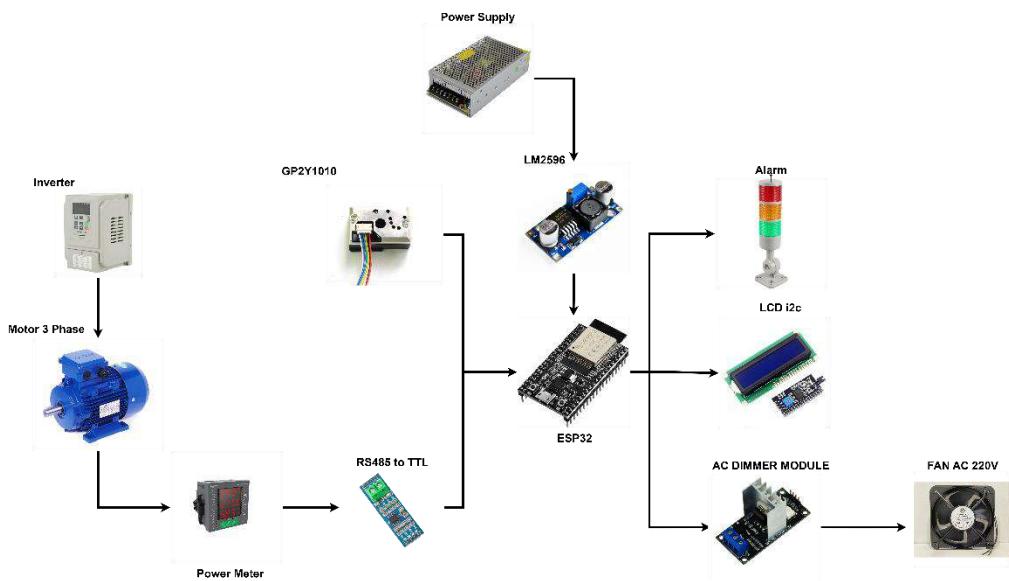
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Website kemudian mengambil data dari database melalui mekanisme backend untuk ditampilkan di sisi frontend. Tampilan website dibangun secara dinamis agar mampu menampilkan informasi sensor maupun hasil analisis Python secara *real-time*. Proses pembaruan data dilakukan menggunakan AJAX, sehingga halaman dapat memperbarui informasi secara langsung tanpa perlu memuat ulang seluruh laman.

Dengan demikian, arsitektur ini membentuk alur komunikasi data yang utuh, dimulai dari pengiriman data sensor oleh dua ESP32 melalui protokol HTTP, penerimaan dan penyimpanan data oleh skrip PHP ke database MySQL, analisis lanjutan menggunakan Python, hingga penyajian informasi secara interaktif melalui website kepada pengguna akhir.

3.5 Perancangan Hardware

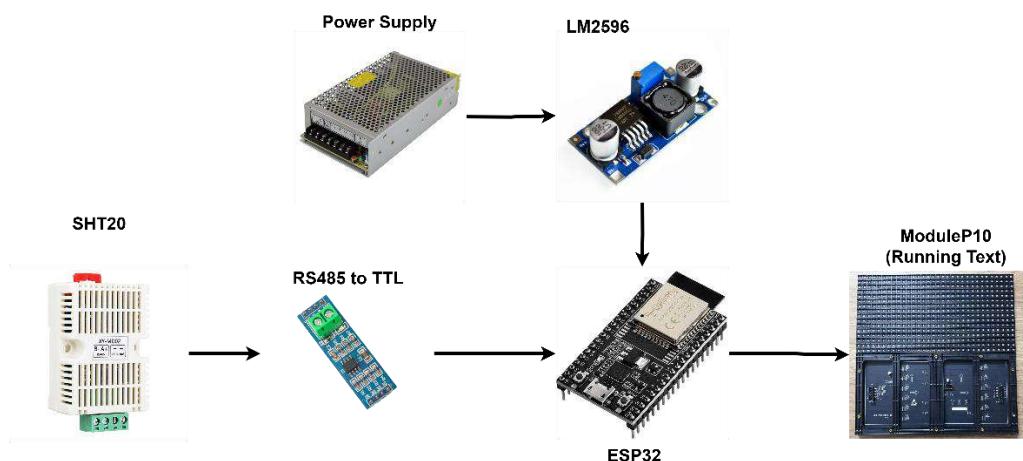
Bagian ini membahas tentang perancangan *wiring* untuk setiap komponen yang akan digunakan dalam sistem. Setiap komponen, baik sensor maupun aktuator, memerlukan koneksi yang tepat antara pin-pinya dengan 2 ESP32 agar dapat berfungsi secara optimal. Perancangan *wiring* yang benar sangat penting untuk memastikan kestabilan sistem dan akurasi pengambilan data.



Gambar 3. 7 Rancangan Diagram Blok Sistem Komponen pada ESP32 Utama

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Gambar 3.7 menunjukkan rancangan diagram blok pada ESP32 utama yang terhubung dengan beberapa komponen, yaitu inverter yang mengendalikan motor 3 phase kemudian diukur melalui power meter dan dikirim ke ESP32 menggunakan modul RS485 to TTL. Selain itu, sensor debu GP2Y10 juga dihubungkan langsung ke ESP32. Output dari ESP32 ditampilkan melalui LCD I2C, mengendalikan *tower light* dengan buzzer, serta mengatur kipas AC 220V menggunakan modul AC dimmer.

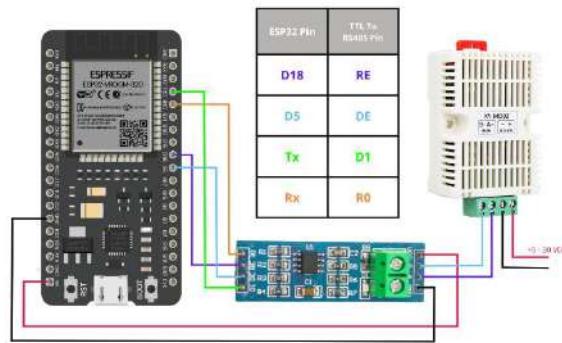


Gambar 3. 8 Rancangan Diagram Blok Sistem Komponen pada ESP32 Kedua

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Gambar 3.8 memperlihatkan rancangan diagram blok pada ESP32 kedua yang berfungsi membaca sensor SHT20 melalui modul RS485 to TTL, kemudian menampilkan data secara langsung pada *running text* (modul P10).

3.5.1 SHT20 ModBus RTU

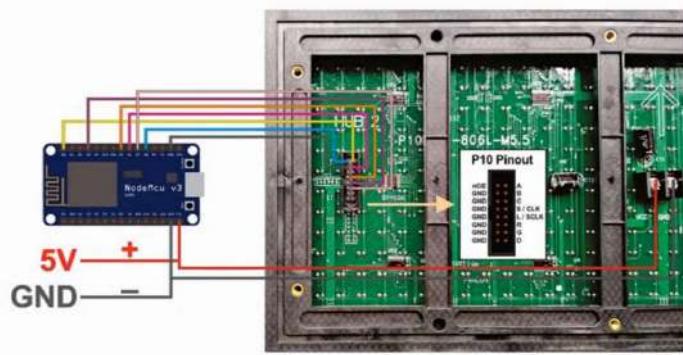


Gambar 3. 9 *Wiring* Perancangan SHT20 ModbusRTU

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada perancangan *wiring* ini, *sensor SHT20 ModBus RTU* yang digunakan untuk mendeteksi suhu dan kelembapan dihubungkan dengan ESP32 melalui modul TTL ke RS485 untuk memungkinkan komunikasi dengan protokol RS485.

3.5.2 Module P10 (*Running Text*)

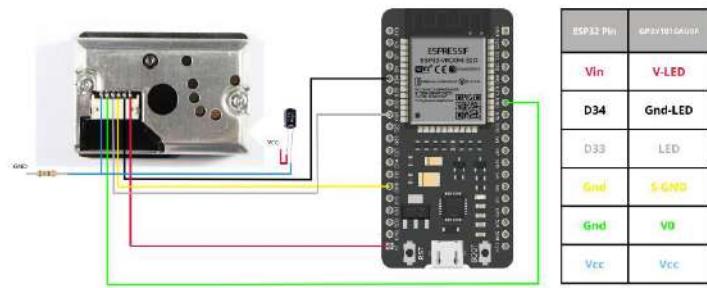


Gambar 3. 10 *Wiring* Perancangan Module P10

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada perancangan sistem tampilan ini, *module P10 LED Matrix* digunakan untuk menampilkan informasi yang dikendalikan oleh ESP32. Komunikasi antara ESP32 dan *P10 LED Matrix* dilakukan dengan menggunakan beberapa pin kontrol yang mengatur pengiriman data ke *LED Matrix*.

3.5.3 GP2Y1010AU0F

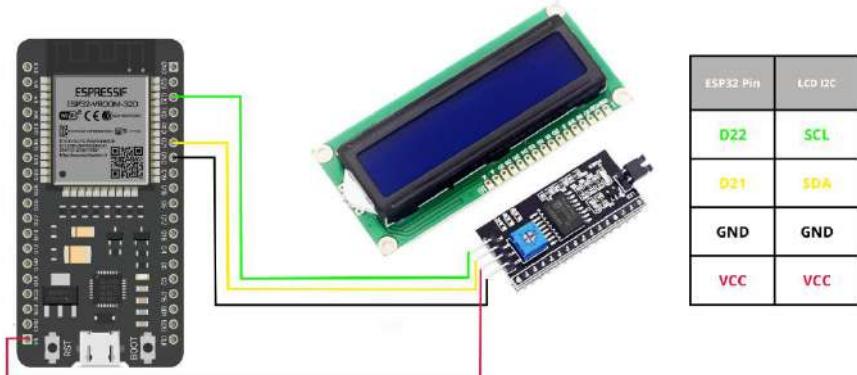


Gambar 3. 11 *Wiring* Perancangan GP2Y1010AU0F

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada perancangan *wiring* ini, *sensor* GP2Y1010AU0F yang digunakan untuk mendeteksi kualitas udara (*sensor debu*) dihubungkan dengan ESP32. *Sensor* ini memiliki beberapa pin yang perlu dihubungkan ke pin-pin tertentu pada ESP32 untuk pengoperasian yang optimal.

3.5.4 LCD I2C

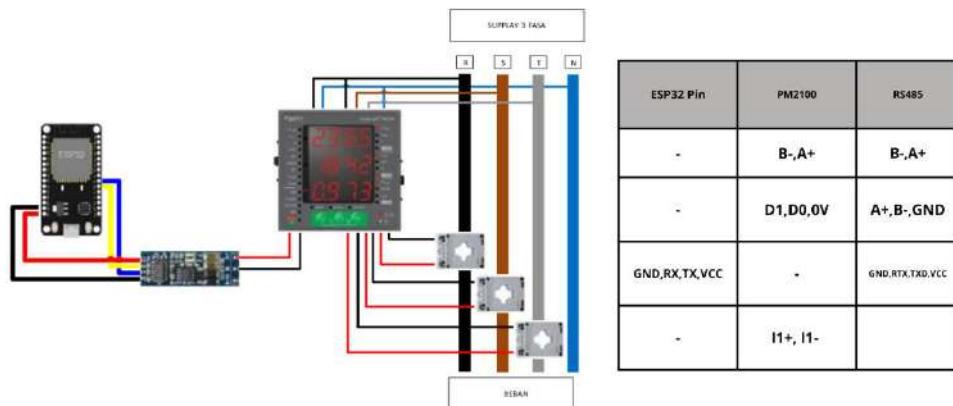


Gambar 3. 12 *Wiring* Perancangan LCD I2C

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada perancangan wiring ini, LCD I2C digunakan untuk menampilkan data secara visual yang dikendalikan oleh ESP32. Koneksi antara ESP32 dan LCD I2C menggunakan protokol komunikasi yang memungkinkan penghematan pin dan komunikasi yang efisien.

3.5.5 Power Meter

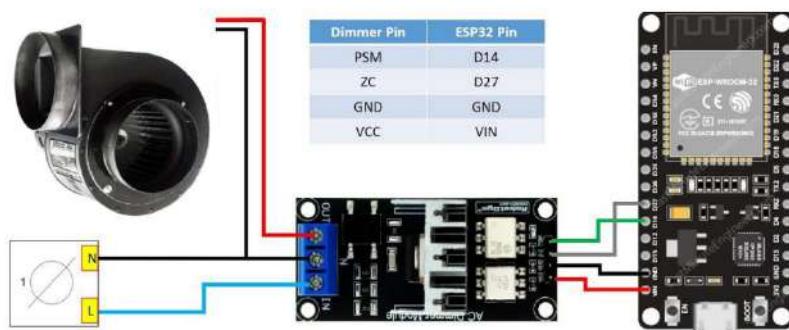


Gambar 3. 13 Wiring Perancangan Power Meter

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada perancangan *wiring* ini, Power Meter PM2100 digunakan untuk mengukur parameter listrik dari motor 3 fasa. Untuk menghubungkan PM2100 ke ESP32, digunakan modul konverter RS485 ke TTL, yang memungkinkan komunikasi serial antara kedua perangkat.

3.5.6 Fan AC 220V



Gambar 3. 14 Wiring Perancangan Fan AC 220V

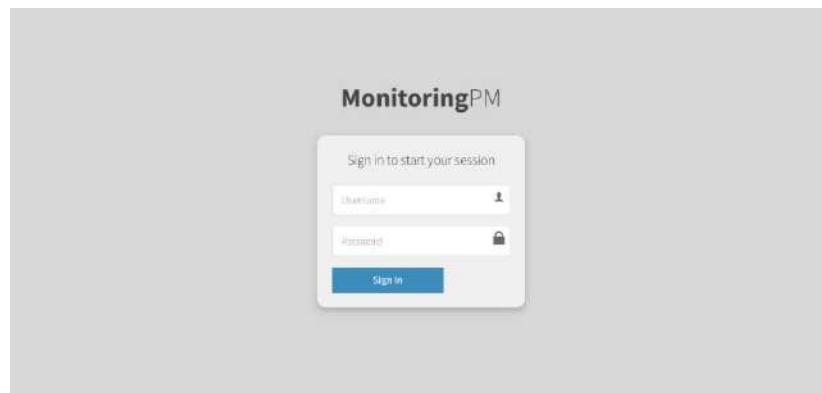
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada perancangan *wiring* ini, Fan AC 220V yang dikendalikan dengan dimmer terhubung ke ESP32 untuk mengatur kecepatan Fan AC 220V menggunakan modul dimmer. Wiring ini memungkinkan kontrol kecepatan Fan AC 220V dengan menggunakan sinyal dari ESP32.

3.6 Perancangan *Software*

Dalam proses perancangan perangkat lunak, aplikasi dirancang untuk menampilkan berbagai elemen penting, seperti antarmuka *website* yang ditampilkan pada browser, rancangan basis data menggunakan MySQL, diagram *use case*, serta protokol yang mendukung arsitektur *website*.

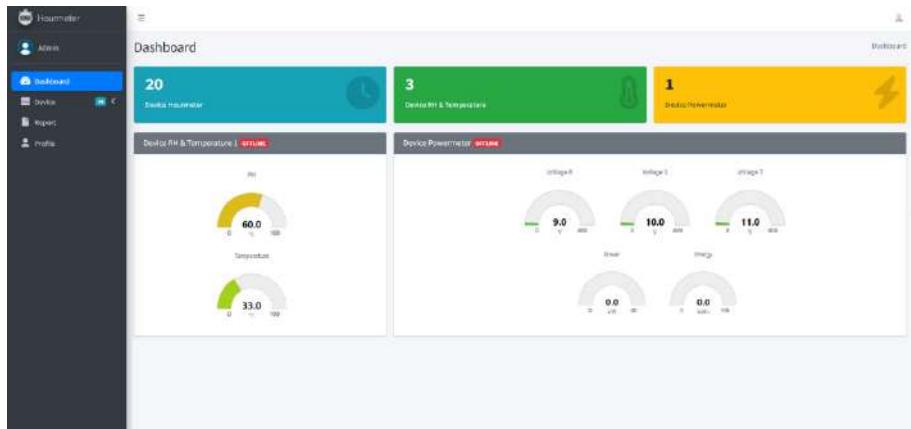
Website memiliki tiga halaman utama, yaitu halaman *login*, *dashboard*, dan laporan. Pada Gambar 3.15 ditampilkan desain halaman *login*, yang menyediakan kolom *input* untuk operator memasukkan *username* dan *password* yang sudah terdaftar. Setelah *login* berhasil, operator akan dialihkan ke halaman *dashboard*, yang berfungsi sebagai halaman utama saat pengguna mengakses *website*.



Gambar 3. 15 Halaman *Login*

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

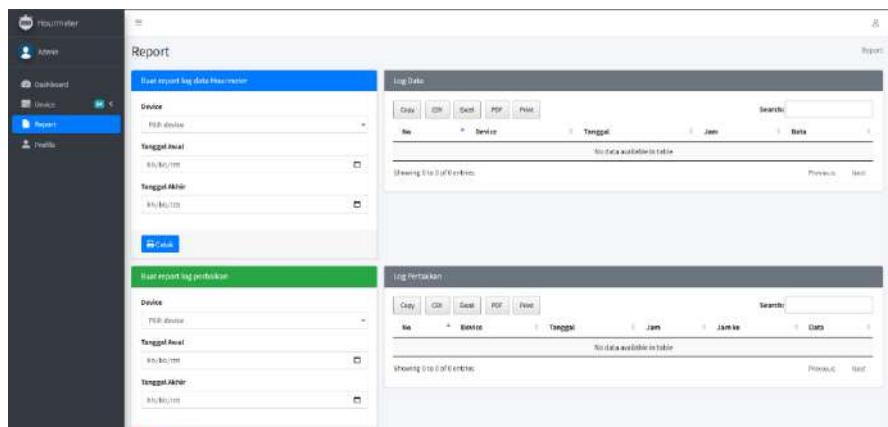
Halaman *dashboard* ditampilkan pada Gambar 3.16 *Dashboard monitoring* ini menyajikan beberapa parameter utama, yaitu kualitas udara (GP2Y1010) Suhu dan Temperatur (SHT), Tegangan (*power meter*) serta grafik yang berbentuk chart.



Gambar 3. 16 Halaman *Dashboard*

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Halaman *report* dan tabel data ditampilkan pada gambar 3.17 *Report* dan tabel data untuk menampilkan tabel data dan untuk mereport beberapa parameter utama, yaitu lama pemakaian (GP2Y1010), Suhu dan *Temperature* (SHT), Tegangan (*power meter*).



Gambar 3. 17 Halaman *Report* dan Tabel data

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

3.6.1 Perancangan Perhitungan Engineering Quality Index (EQI)

Engineering Quality Index (EQI) adalah suatu indeks komposit yang digunakan untuk mengukur tingkat kualitas atau performa suatu sistem teknik berdasarkan pengukuran beberapa parameter kualitas yang relevan. Tujuan perhitungan EQI adalah untuk menggabungkan nilai-nilai parameter yang telah dinormalisasi ke dalam skala 0 sampai 1 dan diberikan bobot sesuai

tingkat signifikansnya, sehingga menghasilkan satu nilai indeks mutu keseluruhan sistem.

3.6.1.1 Parameter yang Digunakan

Pada perhitungan EQI, beberapa parameter yang diukur antara lain:

Suhu ($^{\circ}\text{C}$), Kelembapan (%), Kadar partikel PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Tegangan listrik (V), Arus listrik pada tiga fasa (Arus R, Arus S, Arus T) yang digabungkan menjadi satu parameter Arus RST dengan mengambil nilai normalisasi rata-rata ketiga arus tersebut.

3.6.1.2 Titik Pusat dan Batas Nilai Parameter

Setiap parameter memiliki nilai titik pusat (optimal) yang umum diambil sebagai nilai tengah pada kategori Baik, dan batas buruk yang merupakan nilai ekstrim dari kategori Buruk. Nilai parameter aktual dibandingkan dengan titik pusat dan batas buruk untuk proses normalisasi ke skala 0–1.

Tabel 3. 2 Tabel Titik Pusat setiap Parameter

Parameter	Titik Pusat (Optimal)	Batas Buruk (Jarak Maks)
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	27 (rata-rata 24–30)	7 (jarak ke 34/20 $^{\circ}\text{C}$)
Kelembapan (%)	60 (rata-rata 50–70)	25 (jarak ke 85/35%)
PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	≤ 75	> 150
Tegangan (V)	220	22 (jarak ke 198 atau 242 V)
Arus R, S, T (A)	0.41 (rata-rata 0.37–0.45)	0.16 (jarak ke 0.25 atau 0.57)

3.6.1.3 Rumus Normalisasi Parameter

Normalisasi mengkonversi nilai parameter aktual ke dalam skala 0–1 dengan rumus:

$$x_{norm} = \max \left(0,1 - \left(\frac{|x - x_{optimal}|}{d_{max}} \right)^2 \right)$$

Dimana:

- x = nilai aktual parameter
- $x_{optimal}$ = nilai optimal (titik pusat)
- d_{max} = jarak maksimum dari titik pusat ke batas buruk

Untuk PM_{10} digunakan rumus berbeda sesuai kategori, yakni:

$$PM_{norm} = \begin{cases} 1, & PM \leq 75 \\ \max\left(0,1 - \frac{PM - 75}{75}\right), & 75 < PM \leq 150 \\ 0, & PM > 150 \end{cases}$$

Untuk arus listrik tiga fasa, normalisasi dilakukan terpisah untuk Arus R, Arus S, dan Arus T, karena semakin banyak input semakin susah Neural Network mempelajarinya, jadi yang awalnya 7 input menjadi 5 input. Lalu arus dirata-rata menjadi nilai arus gabungan:

$$A_{norm} = \frac{A_{normR} + A_{normS} + A_{normT}}{3}$$

3.6.1.4 Penentuan Bobot Parameter

Bobot parameter diberikan secara sama rata kepada lima parameter utama (Suhu, Kelembapan, PM₁₀, Tegangan, Arus RST):

$$w_i = \frac{1}{5} = 0.20$$

Total bobot seluruh parameter sama dengan 1.

3.6.1.5 Perhitungan dan Klasifikasi EQI

Nilai EQI dihitung sebagai agregasi tertimbang dari nilai normalisasi masing-masing parameter:

$$EQI = \sum_{i=1}^5 w_i \times x_{i,norm} = \frac{1}{5} \times (S_{norm} + H_{norm} + PM_{norm} + V_{norm} + A_{norm})$$

Setelah diperoleh nilai EQI, hasilnya diklasifikasikan ke dalam kategori mutu sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Tabel Nilai Kategori EQI

Rentang EQI	Kategori
≥ 0.75	Baik
$0.55 - < 0.75$	Sedang
< 0.55	Buruk

Pembagian kategori EQI menjadi Baik, Sedang, dan Buruk ini digunakan untuk memudahkan interpretasi hasil indeks kualitas teknik. Nilai EQI yang tinggi (≥ 0.75) menunjukkan kondisi sistem

atau parameter teknis yang hampir optimal, dengan performa yang baik dan stabil. Rentang sedang (0.55 sampai kurang dari 0.75) mengindikasikan kondisi sistem yang masih dapat diterima tetapi perlu pemantauan atau perbaikan ringan. Nilai di bawah 0.55 menandakan kualitas atau performa yang kurang baik, yang mengharuskan evaluasi dan tindakan pengendalian lebih serius untuk menghindari kerusakan atau gangguan fungsi.

Misalnya terdapat data aktual parameter sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Tabel Contoh Data Aktual Parameter.

Parameter	Nilai
Suhu	28 °C
Kelembapan	62%
PM ₁₀	100 µg/m ³
Tegangan	215 V
Arus R	0.36 A
Arus S	0.42 A
Arus T	0.40 A

Contoh Perhitungan Normalisasi Parameter Suhu

Misalkan nilai suhu aktual yang terukur adalah 28°C, dengan titik pusat (nilai optimal) adalah 24.5°C, dan batas buruk jarak maksimum adalah 5.5°C (misalnya jarak dari 24.5°C ke 30°C).

Rumus normalisasi:

$$x_{norm} = \max \left(0,1 - \left(\frac{|x - x_{optimal}|}{d_{max}} \right)^2 \right)$$

Subtitusi nilai:

$$S_{norm} = 1 - \left(\frac{|28 - 27|}{7} \right)^2 = 1 - 0.0204 = 0.9796$$

Jadi, nilai normalisasi suhu sebesar 0.9796 menunjukkan bahwa suhu 27°C berada pada tingkat kualitas sekitar 97.96% dari nilai optimal.

PM₁₀ (linear khusus):

$$PM_{norm} = 1 - \left(\frac{100 - 75}{75} \right) = 1 - 0.3333 = 0.6667$$

Nilai ini nantinya akan dikalikan dengan bobot parameter suhu untuk menghitung kontribusi suhu dalam perhitungan Engineering Quality Index (EQI).

Dengan menggunakan rumus normalisasi di atas, didapatkan nilai normalisasi masing-masing parameter dan rata-rata arus, lalu dihitung EQI sebagai berikut:

- Suhu: 0.9796
- Kelembapan: 0.9936
- PM_{10} : 0.6667
- Tegangan: 0.9483
- ArusRST: $\frac{0.9023+0.9961+0.9961}{3} = 0.9648$

Maka:

$$EQI = 0.20 \times (0.9796 + 0.9936 + 0.6667 + 0.9483 + 0.9648) = 0.9106$$

Nilai EQI sebesar 0.9648 masuk dalam kategori Baik.

3.6.2 Struktur Neural Network

Jaringan saraf tiruan (JST) merupakan model komputasi yang meniru cara kerja otak manusia dalam memproses informasi. Struktur umum JST terdiri dari tiga jenis lapisan utama:

3.6.2.1 Input Layer

Lapisan ini berfungsi sebagai penerima data masukan dari sistem. Pada proyek ini, terdapat 7 neuron pada lapisan *input*, masing-masing mewakili satu parameter dari sensor yaitu: suhu, kelembapan, debu, arus R, arus S, arus T, dan tegangan listrik.

3.6.2.2 Hidden Layer

Lapisan tersembunyi bertugas memproses informasi dari *input layer* melalui serangkaian bobot dan fungsi aktivasi. Model ini menggunakan dua *hidden layer*, *hidden layer* pertama terdiri dari 50 neuron dan *Hidden layer* kedua terdiri dari 25 neuron. Keduanya menggunakan fungsi aktivasi ReLU (Rectified Linear Unit) yang umum digunakan karena efektif dalam pelatihan jaringan.

3.6.2.3 *Output Layer*

Lapisan terakhir menghasilkan keluaran atau hasil klasifikasi. Pada model ini, *output* layer terdiri dari 3 neuron yang masing-masing merepresentasikan kelas kualitas: baik, sedang, dan buruk. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah Softmax, karena mampu mengubah nilai *output* menjadi probabilitas dari masing-masing kelas.

3.6.3 Metode *Feedforward Neural Network (FNN)*

Feedforward Neural Network (FNN) merupakan salah satu jenis jaringan saraf tiruan (Artificial Neural Network) yang memiliki arsitektur sederhana dan umum digunakan dalam berbagai kasus klasifikasi. Jaringan ini bekerja dengan mengalirkan data secara satu arah dari lapisan input menuju lapisan output melalui satu atau lebih lapisan tersembunyi (hidden layer), tanpa adanya loop atau aliran balik, sehingga dinamakan "*feedforward*".

Dalam penelitian ini, metode FNN digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas area kerja galangan kapal selam berdasarkan data yang diperoleh dari sensor suhu, kelembapan, konsentrasi debu (PM 10), arus listrik pada fasa R, S, dan T, serta tegangan listrik. Terdapat tujuh parameter yang menjadi input utama dalam sistem klasifikasi ini.

Arsitektur jaringan yang digunakan terdiri dari tiga jenis lapisan. Lapisan input memiliki tujuh neuron yang masing-masing mewakili satu parameter input. Data dari lapisan input diproses melalui dua hidden layer, masing-masing terdiri dari 50 dan 25 neuron

, yang menggunakan fungsi aktivasi ReLU (Rectified Linear Unit) untuk memproses sinyal. Hasil dari hidden layer kemudian diteruskan ke lapisan output yang terdiri dari tiga neuron, di mana masing-masing neuron mewakili kelas kualitas: baik, sedang, dan buruk. Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapisan output adalah Softmax, yang bertujuan untuk mengubah hasil output menjadi bentuk probabilitas dari masing-masing kelas.

Sebelum data sensor dimasukkan ke dalam jaringan, dilakukan proses normalisasi untuk menyamakan skala antar parameter. Normalisasi dilakukan dengan mengubah nilai asli ke dalam rentang -1 hingga 1 menggunakan rumus tertentu, agar proses pembelajaran lebih stabil dan cepat dalam mencapai konvergensi.

Proses pelatihan jaringan dilakukan dengan menggunakan algoritma optimasi Adam (Adaptive Moment Estimation). Algoritma ini dipilih karena kemampuannya dalam mempercepat proses pembelajaran dengan cara menyesuaikan laju pembelajaran (learning rate) berdasarkan momen pertama dan kedua dari gradien. Dataset dibagi menjadi tiga bagian, yaitu 70% untuk pelatihan, 15% untuk validasi, dan 15% untuk pengujian. Model dilatih dengan loss function bertipe cross-entropy yang sesuai untuk klasifikasi multikelas. Selama proses pelatihan, kinerja model dievaluasi menggunakan parameter akurasi dan nilai Root Mean Square Error (RMSE).

Setelah proses pelatihan selesai, model diuji menggunakan data uji untuk mengevaluasi performa klasifikasi. Hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik akurasi dan loss, confusion matrix, serta nilai evaluasi akhir seperti akurasi dan RMSE. Berdasarkan hasil pengujian, metode FNN ini mampu melakukan klasifikasi kualitas area kerja secara akurat dan dapat digunakan sebagai sistem pendukung keputusan dalam pemantauan lingkungan kerja berbasis data sensor secara real-time.

3.6.4 Proses Metode *Neural Network*

Proses implementasi metode *Neural Network* menggunakan algoritma *Feedforward* dan *Backpropagation* dimulai dengan mendefinisikan struktur jaringan, melakukan propagasi data untuk menghitung keluaran (*feedforward*), serta melakukan pembaruan bobot berdasarkan kesalahan hasil keluaran (*backpropagation*). Untuk mengaplikasikan rumus dasar *backpropagation* pada sistem yang melibatkan *input* GP2Y1010 (kualitas udara), *Power Meter* (tegangan), SHT20 (suhu dan temperatur), dan *output* blower dalam bentuk persentase, langkah-langkah berikut bisa dilakukan:

3.6.4.1 Definisi *input* dan *output*

Input layer:

x_1 : GP2Y1010 (kualitas udara)

x_2 : Power Meter (arus dan tegangan)

x_3 : SHT20 (suhu)

x_4 : SHT20 (temperatur)

Output layer:

Kategori *output* berupa persentase blower (%): rendah, sedang, sangat tinggi. Misalnya, *output* disimbolkan sebagai:

y_k : Nilai *output* untuk tiap kategori.

3.6.4.2 Struktur Jaringan

Gunakan jaringan 1 *hidden layer* (untuk awal) dengan sejumlah *node* tersembunyi, misalnya h_1, h_2, \dots, h_n tergantung pada kebutuhan kompleksitas model.

3.6.4.3 Proses *Feedforward*

Hitung unit tersembunyi (z_{inj}):

$$z_{inj} = v_{0j} + \sum_{i=1}^4 x_i v_{ij} \quad 3.1$$

Dimana:

v_{ij} : Bobot antara *input* ke- i dan unit tersembunyi ke- j .

Hitung *output* unit tersembunyi (Z_j):

$$Z_j = f(z_{inj}) \quad 3.2$$

Hitung unit *output* (y_{in_k}):

$$y_{in_k} = w_{0k} + \sum_{j=1}^n z_j w_{jk} \quad 3.3$$

Dimana:

w_{jk} : Bobot antara unit tersembunyi ke- j dan unit *output* ke- k .

Hitung *output* aktual (Y_k):

$$Y_k = f(y_{in_k}) \quad 3.4$$

3.6.4.4 Proses Backpropagation

Hitung *error* pada *output* δ_k :

$$\delta_k = (t_k - y_k)f'(y_{in_k}) \quad 3.5$$

Di mana t_k adalah target *output* untuk blower (kategori: rendah, sedang, sangat tinggi).

Perbarui bobot antara unit tersembunyi dan *output* (Δw_{jk}):

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j \quad 3.6$$

Hitung *error* unit tersembunyi (δ_j):

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad 3.7$$

Dengan :

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad 3.8$$

Memperbarui bobot antara *input layer* dan *hidden layer*:

$$\Delta v_{ij} = \alpha \delta_j x_i \quad 3.9$$

3.6.4.5 Iterasi dan penghentian

Proses *feedforward* dan *backpropagation* dilakukan secara iteratif hingga kriteria penghentian terpenuhi, seperti nilai *error* total yang berada di bawah ambang batas tertentu.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil dari pengujian tugas akhir beserta analisisnya. Pengujian dilakukan dalam beberapa bagian seperti pengujian hardware, pengujian Software, serta pengujian sistem. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa Seluruh sistem yang terdapat pada tugas akhir ini mampu berjalan dengan baik Sesuai dengan perencanaan sebelumnya.

4.1 Hasil Perancangan Hardware

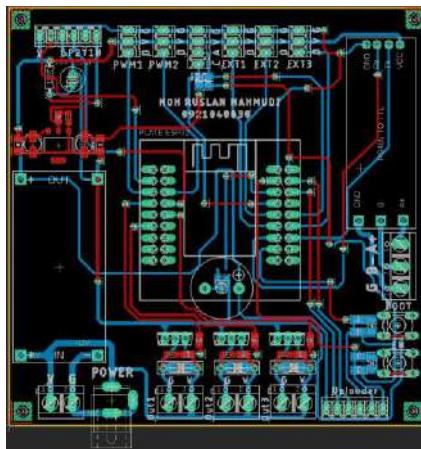
Perancangan hardware meliputi pemilihan dan penyusunan komponen seperti sensor dan aktuator yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Sensor berfungsi sebagai *input* untuk mendeteksi kondisi tertentu, sementara aktuator bertindak sebagai *output* untuk menjalankan respon sistem. Semua komponen dirancang agar terintegrasi dengan baik dan mendukung kinerja sistem secara keseluruhan.

4.1.1 Pembuatan Printed Circuit Board (PCB)

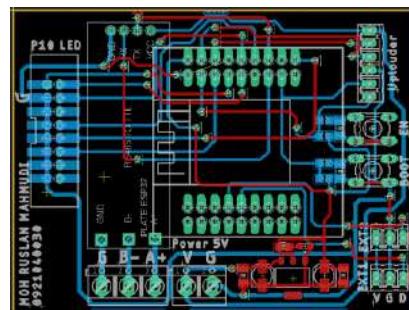
Pada tahap ini dilakukan proses perancangan dan pembuatan Printed Circuit Board (PCB) untuk menghubungkan sensor sebagai *input* dan aktuator sebagai *output* ke mikrokontroler ESP32. Perancangan dimulai dengan pembuatan skematik dan routing jalur menggunakan perangkat lunak Eagle.

Sistem yang dirancang menggunakan dua buah mikrokontroler ESP32. Salah satu ESP32 berfungsi sebagai unit utama yang mengatur seluruh proses kendali sistem, sedangkan ESP32 lainnya digunakan secara khusus untuk mengendalikan modul tampilan LED P10 dan membaca data dari sensor lingkungan SHT20.

Dibuat dua desain PCB yang berbeda sesuai dengan fungsi masing-masing mikrokontroler. Hasil routing dari kedua desain tersebut ditampilkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Routing Board PCB Utama
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)



Gambar 4. 2 Routing Board PCB P10
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Setelah tahap routing selesai, masing-masing desain dicetak ke papan PCB, kemudian dilakukan proses perakitan komponen elektronik. Hasil dari proses pencetakan dan perakitan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Hasil PCB Utama
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)



Gambar 4. 4 Hasil PCB P10

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

4.1.2 Hasil Perancangan Panel

Pada tahap ini dilakukan pembuatan panel dengan dimensi 40x30x18 cm. Dengan komponen di dalam nya PowerSupply 12V, Mikrokontroler, MCB, Inverter FGI, *AC Dimmer Module*, *PWM to Voltage*, Power Meter, LCD i2c, *Emergency Button*, 1 Terminal Block 12 Pin, serta kabel duck untuk menjaga kerapian kabel.



Gambar 4. 5 Hasil Perancangan Panel.

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

4.1.3 Hasil Perancangan Mekanik

Hasil perancangan mekanik bertujuan untuk merancang sistem yang menyerupai kondisi aktual di area sandblasting pada galangan kapal. Oleh karena itu, dibuatlah sebuah ruangan yang dirancang sedemikian rupa agar

menyerupai area sandblasting sebenarnya. Dalam prototipe ini, digunakan material kayu berukuran 100x50x40. Dan diberi busa hati (peredam) pada dinding ruangan untuk lebih menyerupai dengan area sandblasting.

Sebagai monitoring suhu dan kelembapan, digunakan module p10 (*running text*) yang telah membaca sensor SHT20, lalu dikirimkan ke database untuk monitoring di website. Untuk mengetahui arus dan tegangan dari motor 3 fasa, digunakan power meter yang dihubungkan ke ESP32 dengan RS485 to TTL untuk mengirim nilai arus dan tegangan.



Gambar 4. 6 Hasil Perancangan Mekanik.

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Untuk mengetahui sistem sudah berjalan atau belum bisa dilihat dari LCD I2C, dan untuk mengetahui apakah sudah terhubung dengan server atau belum. Dan memonitoring nilai sensor GP2Y1010AU0F untuk mengetahui kualitas debu.

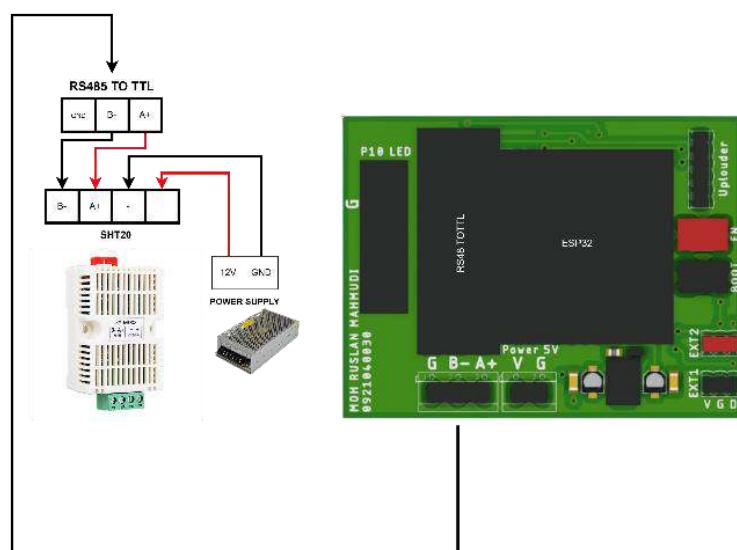
4.2 Hasil Pengujian Sensor dan Aktuator

Pengujian hardware pada tahap ini mencakup pengujian kinerja sensor dan aktuator yang digunakan dalam Tugas Akhir. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil sensor dengan alat ukur pembanding untuk menilai tingkat akurasi pembacaan. Selain itu, respon aktuator diamati secara langsung untuk memastikan apakah sudah

beroperasi sesuai dengan fungsinya. Dari hasil pengujian ini, tingkat kesalahan atau error dapat dihitung, sehingga diperoleh nilai persentase error yang menjadi acuan dalam menilai keandalan sistem secara keseluruhan.

4.2.1 Pengujian Sensor SHT20

Sebelum dilakukan pengujian, telah dilakukan proses wiring antara sensor SHT20 dengan modul RS485 to TTL dan mikrokontroler ESP32. Sensor SHT20 menerima suplai tegangan sebesar 12 volt DC, sedangkan jalur komunikasi data dihubungkan melalui pin A+ dan B- pada konverter RS485 to TTL. Modul RS485 kemudian dikoneksikan ke pin UART pada ESP32 untuk memungkinkan komunikasi data antar perangkat. Skema wiring ini dirancang untuk memastikan kestabilan komunikasi dan keakuratan pembacaan data dari sensor.



Gambar 4. 7 Wiring SHT20 ke ESP32.

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Tabel 4. 1 Konektivitas Sensor SHT20

SHT20	RS485 TO TTL	ESP32
A+	A+	-
B-	B-	-
-	GND	GND
-	VCC	VCC
-	RX	Pin 16
-	TX	Pin 17
12V	-	-

SHT20	RS485 TO TTL	ESP32
GND	-	-

Selanjutnya pada tahap ini akan dilakukan pengujian sensor SHT20 menggunakan tegangan 12 volt dan dengan ESP32 melalui pin A+ dan B- melalui komunikasi RS485 to TTL. *Output* dari pengujian ini adalah deteksi kualitas kondisi lingkungan.

Sensor ini mampu mengukur suhu dan kelembapan udara secara akurat dan mengirimkan hasil pengukuran dalam bentuk data digital 16-bit melalui jalur komunikasi diferensial dua kawat, yaitu RS485 (kabel A dan B). Teknologi RS485 memungkinkan sensor untuk berkomunikasi secara andal pada jarak yang cukup jauh serta dalam kondisi lingkungan yang bising secara elektromagnetik.

Agar sensor dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler ESP32, diperlukan modul konversi RS485 to TTL. Modul ini bertugas mengubah sinyal RS485 menjadi format sinyal TTL serial (UART) yang kompatibel dengan pin RX dan TX pada ESP32. Dalam sistem ini, ESP32 mengirimkan permintaan pembacaan data (read holding register) ke sensor menggunakan protokol Modbus RTU dengan function code 0x03, biasanya untuk membaca dua register: satu untuk suhu dan satu untuk kelembapan.

Sensor kemudian merespons dengan mengirimkan dua buah data register 16-bit yang berisi nilai suhu dan kelembapan dalam bentuk angka mentah. Data ini diterima oleh ESP32 melalui jalur komunikasi UART, kemudian diproses lebih lanjut. Untuk memperoleh nilai suhu dan kelembapan aktual, sistem melakukan konversi terhadap data mentah tersebut — umumnya dengan membagi nilai register dengan 10, sehingga didapatkan output akhir berupa suhu dalam satuan °C dan kelembapan dalam satuan %RH.

Proses ini berjalan secara otomatis dan berulang setiap interval tertentu, memungkinkan sistem untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time dengan tingkat keakuratan yang tinggi serta respons yang cepat.

Berikut adalah hasil pembacaan pada Sensor SHT20:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor SHT Suhu

Percobaan	Suhu SHT20 (°C)	Suhu HTC-1 (°C)	Error (°C)	Error (%)
1 (09.00)	28.12	28.4	0.28	1.00%
2 (09.15)	28.17	28.4	0.23	0.82%
3 (09.30)	28.2	28.4	0.2	0.71%
4 (12.00)	31.21	31.4	0.19	0.61%
5 (12.15)	31.21	31.4	0.19	0.61%
6 (12.30)	31.26	31.5	0.24	0.77%
7 (15.00)	30.26	30.5	0.24	0.79%
8 (15.15)	30.26	30.5	0.24	0.79%
9 (15.30)	30.30	30.5	0.2	0.66%
10 (15.45)	30.32	30.5	0.18	0.59%
Rata-rata			0.219	0.73%

Berdasarkan data pada Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa nilai error atau selisih rata-rata antara pembacaan sensor SHT20 dan alat referensi HTC-1 adalah 0.219°C , sedangkan rata-rata persentase error sebesar 0.73%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor SHT20 memiliki akurasi yang cukup baik dalam mengukur suhu lingkungan. Perbedaan hasil pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perbedaan sensitivitas alat, posisi penempatan sensor saat pengambilan data, serta kalibrasi masing-masing alat. Meskipun demikian, error yang dihasilkan masih tergolong kecil dan stabil, sehingga sensor SHT20 dapat digunakan sebagai alat pengukur suhu yang layak untuk aplikasi monitoring lingkungan.

Dengan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa sensor SHT20 menunjukkan tingkat keakuratan yang tinggi dan dapat diandalkan dalam melakukan pengukuran suhu dibandingkan dengan alat referensi HTC-1.

Selain pengukuran suhu, dilakukan pula pengujian untuk mengetahui tingkat akurasi sensor SHT20 dalam mengukur kelembapan udara. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor SHT20 terhadap alat referensi HTC-1 sebanyak 20 kali dalam kondisi lingkungan yang sama. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor SHT Kelembapan

Percobaan	Kelembapan SHT20 (%)	Kelembapan HTC-1 (%)	Error	Eror (%)
1 (09.00)	62.4	62	0.4	0.64%
2 (09.15)	62.0	62	0	0.00%
3 (09.30)	62.6	62	0.6	0.96%
4 (12.00)	51.0	51	0	0.00%
5 (12.15)	51.0	51	0	0.00%
6 (12.30)	51.0	51	0	0.00%
7 (15.00)	71.0	72	1	1.41%
8 (15.15)	70.2	72	1.8	2.56%
9 (15.30)	69.8	72	2.2	3.15%
10 (15.45)	70.2	72	1.8	2.56%
Rata-rata			0.78	1.13%

Berdasarkan data pada Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa nilai error atau selisih rata-rata antara pembacaan sensor SHT20 dan alat referensi HTC-1 adalah 0.78, sedangkan rata-rata persentase error sebesar 1.13%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor SHT20 memiliki tingkat keakuratan yang cukup baik dalam mengukur kelembapan udara. Selisih pembacaan kelembapan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: perbedaan teknologi sensor yang digunakan, kalibrasi awal sensor, hingga sensitivitas terhadap perubahan suhu dan kelembapan secara real time. Meskipun terdapat deviasi, nilai error yang dihasilkan relatif kecil dan konsisten.

Dari pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa sensor SHT20 cukup akurat dan layak digunakan sebagai alat pemantau kelembapan lingkungan, dengan tingkat kesalahan yang dapat diterima dalam konteks penggunaan non-industri atau sistem monitoring skala kecil hingga menengah.



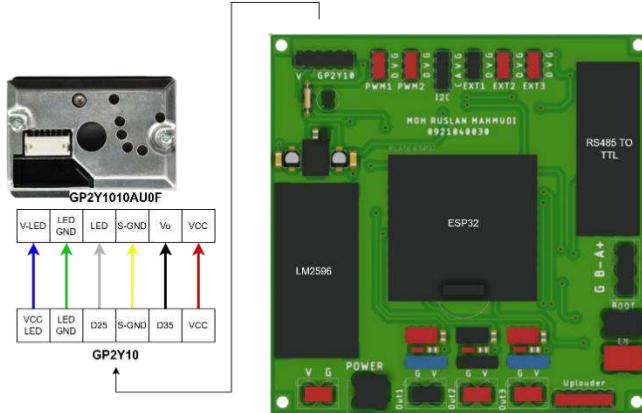
Gambar 4. 8 Hasil Pengujian SHT20.

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada Gambar 4.8 Hasil pengujian sensor SHT20 merupakan perbandingan nilai yang diperoleh dari sensor SHT20 dengan alat HTC-2, yang digunakan sebagai acuan untuk mengukur suhu dan kelembaban di dalam ruangan. Dalam pengujian ini, data suhu dan kelembaban yang dihasilkan oleh sensor SHT20 dianalisis dan dibandingkan dengan data yang diperoleh dari HTC-2. Tujuannya adalah untuk menilai akurasi dan keandalan sensor SHT20 dalam kondisi suhu ruang, sehingga dapat dipastikan bahwa sensor ini memberikan pembacaan yang konsisten dan dapat dipercaya.

4.2.2 Pengujian Sensor GP2Y1010AU0UF

Sebelum pengujian, dilakukan pengkabelan sensor debu GP2Y1010AU0F dengan ESP32 sebagai berikut: pin V-LED dihubungkan ke sumber tegangan VCC LED, LED GND ke ground LED, dan pin LED terhubung ke pin D25 ESP32 untuk mengendalikan LED sensor. Ground sensor (S-GND) dihubungkan ke ground ESP32, *output* analog sensor (VO) terhubung ke pin D35 ESP32 untuk pembacaan sinyal debu, serta pin VCC sensor mendapat suplai tegangan dari sumber VCC.



Gambar 4. 9 Wiring GP2Y1010AU0F ke ESP32

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Tabel 4. 4 Konektivitas GP2Y1010AU0F

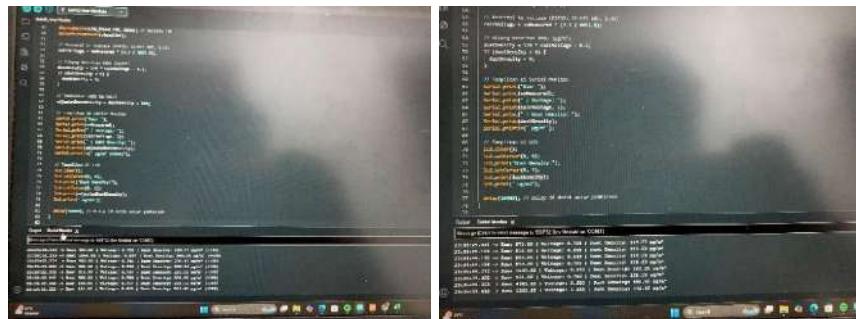
GP2Y1010AU0F	ESP32
V-LED	VCC
LED GND	GND
LED	Pin 25
S-GND	GND
Vo	Pin 35
VCC	VCC

Selanjutnya pengujian sensor debu GP2Y1010AU0F dilakukan dengan menggunakan ESP32 untuk mengambil dan mencatat nilai pembacaan yang dihasilkan oleh sensor tersebut. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor debu GP2Y1010AU0F dalam mendeteksi partikel debu di udara. Dengan memanfaatkan ESP32 sebagai platform mikrokontroler, data yang diperoleh dari sensor debu akan dikumpulkan dan dianalisis untuk memastikan keakuratan dan keandalan pembacaan dalam berbagai kondisi lingkungan. Berikut adalah hasil pembacaan pada Sensor GP2Y1010AU0F:

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Debu GP2Y1010AU0F

No	Menggunakan Bedak $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Menggunakan Kopi $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	269.23	113.50
2	219.23	101.88
3	213.34	100.55

No	Menggunakan Bedak $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Menggunakan Kopi $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4	239.23	187.79
5	246.36	166.54
6	275.13	102.50
7	375.54	112.40
8	249.37	116.85
9	223.48	167.17
10	245.67	164.43
11	239.51	168.82
12	241.15	163.88
13	264.71	165.67
14	291.02	159.09
15	260.06	161.01
16	308.69	168.27
17	350.47	166.21
18	479.80	158.27
19	479.80	153.88
20	408.42	157.58



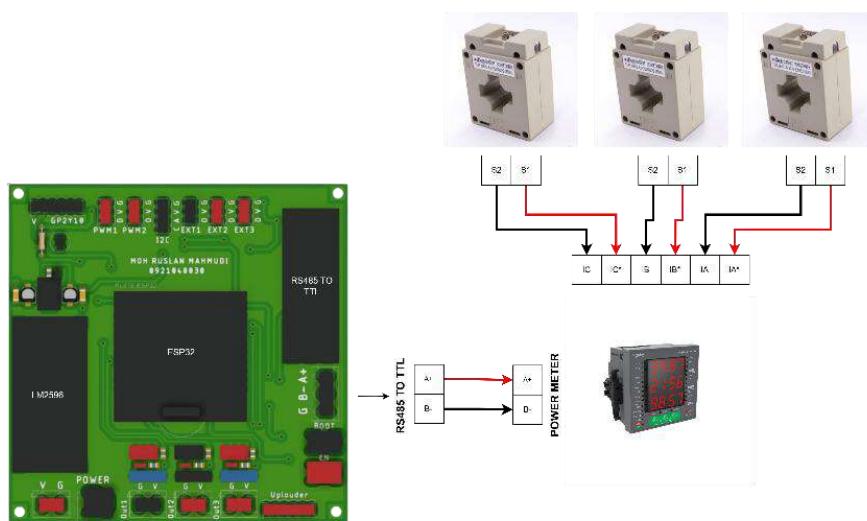
Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Sensor Debu GP2Y1010AU0F.

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada Gambar 4.10 Hasil pengujian sensor debu GP2Y1010AU0F diperoleh dari pembacaan nilai sensor yang ditampilkan pada serial monitor dalam aplikasi Arduino IDE. Nilai pembacaan sensor debu GP2Y1010AU0F ini ditampilkan dalam satuan mikrogram per meter kubik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Data yang ditampilkan pada serial monitor mencakup konsentrasi partikel debu yang terdeteksi oleh sensor, yang kemudian dapat dianalisis untuk mengevaluasi performa sensor dalam mendeteksi tingkat polusi udara di lingkungan yang diuji.

4.2.3 Pengujian Power Meter

Sebelum dilakukan pengujian, telah dilakukan proses wiring pada power meter tiga fasa menggunakan sensor CT untuk setiap jalur arus. Terminal IA dan IA* dihubungkan ke CT pada fasa R, IB dan IB* ke CT fasa S, serta IC dan IC* ke CT fasa T. Untuk komunikasi data, terminal A+ dan B- dari power meter dihubungkan langsung ke A+ dan B- pada modul RS485 to TTL. Pada tahap ini, pengujian dilakukan hanya untuk memantau nilai arus masing-masing fasa tanpa melibatkan komunikasi dengan ESP32.



Gambar 4. 11 Wiring Power Meter ke ESP32

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Tabel 4. 6 Konektivitas Power Meter

Current Transformer	Power Meter	RS485 TO TTL	ESP32
S1	IA*	-	-
S2	IA	-	-
S1	IB*	-	-
S2	IB	-	-
S1	IC*	-	-
S2	IC	-	-
-	A+	A+	-
-	B-	B-	-
-	-	RX	Pin 16
-	-	TX	Pin 17
-	-	GND	GND
-	-	VCC	VCC

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap Power Meter 3 fasa yang digunakan untuk memantau parameter kelistrikan berupa tegangan dan arus pada sistem 3 fasa. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan Power Meter ke motor 3 fasa sebagai beban uji, serta menggunakan Current Transformer (CT) 100/5A pada masing-masing fasa untuk membaca nilai arus. Dan menggunakan Inverter sebagai pengatur frekuensi. Tegangan *input* berasal dari sumber 3 fasa, dan pembacaan dilakukan langsung melalui tampilan Power Meter. Perangkat ini belum terhubung ke ESP32, sehingga komunikasi digital belum dilakukan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa Power Meter dapat membaca dan menampilkan nilai tegangan antar fasa serta arus per fasa (U, V, W) secara akurat. Berikut adalah hasil pengujian terhadap Power Meter pada sistem 3 fasa:

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Arus di Power Meter dengan Motor 3 fasa.

No	Frekuensi	Arus R (Power Meter)	Arus S (Power Meter)	Arus T (Power Meter)	Arus R (Ampere Meter)	Arus S (Ampere Meter)	Arus T (Ampere Meter)	Error R (A)	Error S (A)	Error T (A)
1	5Hz	0.221	0.222	0.221	0.244	0.271	0.222	0.023	0.049	0.001
2	10Hz	0.262	0.243	0.244	0.278	0.291	0.261	0.016	0.048	0.017
3	15Hz	0.281	0.255	0.261	0.288	0.311	0.264	0.007	0.056	0.003
4	20Hz	0.317	0.308	0.297	0.324	0.331	0.288	0.007	0.023	0.009
5	25Hz	0.345	0.331	0.321	0.366	0.355	0.311	0.021	0.024	0.01
6	30Hz	0.366	0.351	0.341	0.376	0.355	0.325	0.01	0.004	0.016
7	35Hz	0.376	0.363	0.366	0.378	0.376	0.328	0.002	0.013	0.038
8	40Hz	0.387	0.378	0.368	0.382	0.377	0.333	0.005	0.001	0.035
9	45Hz	0.393	0.386	0.372	0.384	0.378	0.335	0.009	0.008	0.037
10	50Hz	0.402	0.393	0.382	0.405	0.382	0.344	0.003	0.011	0.038
Rata-Rata								0.0075	0.0197	0.001

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa nilai error arus tertinggi terjadi pada fasa S dengan rata-rata error sebesar 0.0197 A, sedangkan fasa R dan T memiliki rata-rata error masing-masing sebesar 0.0075 A dan 0.0010 A. Error ini diperoleh dari selisih langsung antara pembacaan ampere meter dan power meter pada masing-masing fasa. Meskipun terdapat perbedaan nilai pembacaan antara kedua alat, secara umum nilai error tergolong rendah dan stabil. Hal ini menunjukkan bahwa ampere meter masih cukup akurat dan layak digunakan untuk pemantauan arus pada sistem tiga fasa, terutama pada aplikasi non-kritis atau monitoring umum.

Perbedaan nilai tersebut dapat disebabkan oleh faktor kalibrasi alat, toleransi kesalahan pada sensor internal masing-masing alat ukur, serta kondisi beban pada saat pengujian. Selain itu, peningkatan frekuensi tidak secara signifikan mempengaruhi pola error yang konsisten kecil, menunjukkan ampere meter mampu mengikuti perubahan beban secara linier.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ampere meter memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, khususnya pada fasa R dan T, dan masih dalam batas toleransi yang dapat diterima dalam pengukuran arus listrik tiga fasa.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Tegangan 220v di Power Meter.

No	Frekuensi	Tegangan (Power Meter)	Tegangan (Avo Meter)	Error Tegangan	Persentase Eror%
1	5Hz	228.2	228.4	0.2	0.09%
2	10Hz	229	228.2	0.8	0.35%
3	15Hz	227.8	228.5	0.7	0.31%
4	20Hz	227.2	227.3	0.1	0.04%
5	25Hz	226.8	227.4	0.6	0.26%
6	30Hz	226.1	227.1	1	0.44%
7	35Hz	227.1	227.7	0.6	0.26%
8	40Hz	226.1	227.4	1.3	0.57%
9	45Hz	226.4	227.6	1.2	0.53%
10	50Hz	226.7	227.6	0.9	0.40%
Rata-rata				0.74	0.33%

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran tegangan oleh Power Meter, dengan membandingkannya terhadap Avo Meter digital sebagai alat referensi. Tegangan *input* yang digunakan adalah 220V AC, dan pengujian dilakukan pada berbagai variasi frekuensi mulai dari 5 Hz hingga 50 Hz. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 4.8.

Hasil pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa selisih tegangan (error) antara pembacaan Power Meter dan Avo Meter berkisar antara 0.8 V hingga 1.3 V, dengan rata-rata error sebesar 0.74 V. Adapun rata-rata persentase error adalah 0.003 atau 0.33%, yang tergolong sangat kecil.

Nilai error positif dan negatif mengindikasikan bahwa pembacaan Power Meter kadang lebih tinggi atau lebih rendah dari Avo Meter, tetapi

perbedaan tersebut tidak signifikan secara praktis. Faktor-faktor seperti toleransi alat ukur, variasi beban, dan stabilitas *input* dapat memengaruhi nilai pembacaan.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa Power Meter memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mengukur tegangan 220V AC, dan layak digunakan untuk keperluan monitoring tegangan listrik secara umum. Error yang terjadi masih dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk penggunaan lapangan maupun laboratorium pendidikan.



Gambar 4. 12 Pengujian Power meter dengan Motor 3 fasa.

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

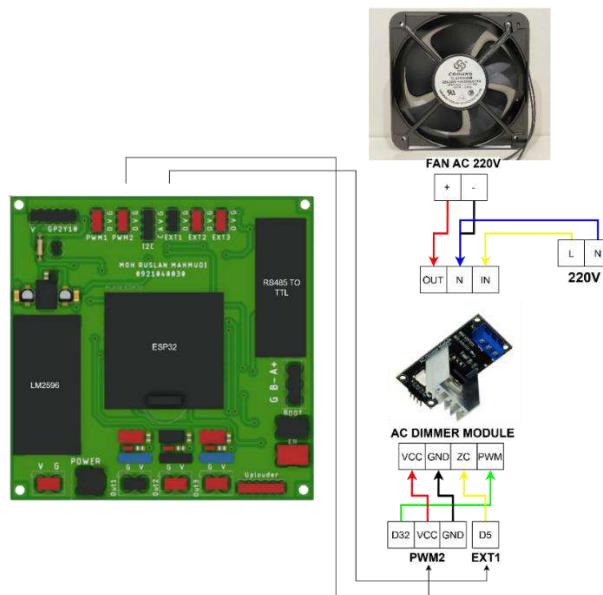
Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengukuran Power Meter terhadap arus pada masing-masing fasa motor 3 fasa yang diukur menggunakan CT 100/5A. Terlihat bahwa nilai arus meningkat seiring dengan kenaikan frekuensi, dimulai dari 0.221 A pada frekuensi 5 Hz hingga mencapai sekitar 0.356–0.358 A pada frekuensi 50 Hz untuk masing-masing fasa R, S, dan T. Nilai-nilai ini mencerminkan beban aktual yang ditarik oleh motor 3 fasa selama pengoperasian.

Power Meter menunjukkan performa yang baik dalam memantau parameter kelistrikan sistem 3 fasa secara akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi beban, meskipun sistem belum diintegrasikan dengan komunikasi ke ESP32.

4.2.4 Pengujian Fan AC 220V

Sebelum dilakukan pengujian, telah dilakukan proses wiring antara ESP32, AC Dimmer Module, dan fan AC 220V. Fan AC 220V disambungkan ke jalur *output* dari AC Dimmer Module, sedangkan *input* dari dimmer dihubungkan langsung ke sumber tegangan AC 220V. Untuk pengendalian, pin Z-Cross pada dimmer module dihubungkan ke salah satu pin digital ESP32 GPIO5 sebagai deteksi zero-crossing, dan pin PWM control dimmer dihubungkan ke pin PWM ESP32 GPIO32 untuk mengatur tingkat kecepatan fan.

Ground dari ESP32 dan dimmer disamakan menggunakan ground yang aman dari sumber low-voltage (jika diperlukan, menggunakan optoisolator untuk isolasi). Dengan konfigurasi ini, ESP32 dapat mengontrol kecepatan putaran fan AC secara bertahap melalui sinyal PWM yang dikirim ke AC Dimmer Module.



Gambar 4. 13 Wiring Fan AC 220V ke ESP32

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Tabel 4. 9 Konektivitas Fan AC 220V

Fan AC 220V	AC Dimmer Module	ESP32
L	OUT	-
N	N	-
-	VCC	VCC
-	GND	GND
-	ZC	Pin 5

Fan AC 220V	AC Dimmer Module	ESP32
-	PWM	Pin 32

Selanjutnya pada tahap ini akan dilakukan pengujian fan AC 220V dengan menggunakan sumber tegangan langsung sebesar 220 volt. Fan akan dikendalikan melalui AC Dimmer Module yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. *Output* dari pengujian ini adalah respon dan performa fan dalam sirkulasi udara pada area kerja. Berikut adalah hasil pengujian terhadap fan AC 220V.



Gambar 4. 14 Pengujian Fan AC 220V saat on dan off.

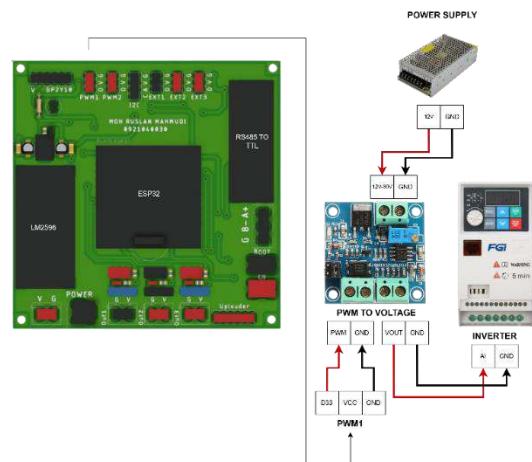
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Pada Gambar 4.14, kita dapat mengamati kondisi pengujian Fan AC 220V saat dalam keadaan off. Ini berarti bahwa selama pengujian, fan tidak diberikan tegangan sebesar 220V, sehingga fan berada dalam kondisi mati dan tidak beroperasi. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa fan benar-benar tidak berfungsi tanpa pasokan listrik, yang membantu dalam menentukan baseline atau kondisi awal sebelum fan diberi daya. Sebaliknya, ditampilkan kondisi pengujian Fan AC 220V saat dalam keadaan on. Pada saat ini, fan diberikan tegangan sebesar 220V, sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditentukan. Dan ketika dicoba dengan PWM 0 fan mati, selanjutnya dicoba dengan PWM 255 fan menyala dengan cepat. Dalam kondisi ini, fan beroperasi secara normal, berputar dan menghasilkan

aliran udara sebagaimana mestinya. Pengujian dengan fan dalam kondisi on membantu mengevaluasi kinerja fan, termasuk kecepatan putaran, efisiensi, dan daya dorong udara yang dihasilkan. Dengan membandingkan kedua gambar ini, kita dapat memperoleh informasi yang jelas mengenai perbedaan performa fan ketika tidak diberi daya dan saat beroperasi dengan daya penuh. Hal ini juga memberikan wawasan penting tentang bagaimana fan bereaksi terhadap tegangan yang diberikan, serta memastikan bahwa fan berfungsi dengan baik dalam kondisi operasional yang sebenarnya.

4.2.5 Pengujian Inverter

Sebelum dilakukan pengujian, telah dilakukan proses wiring antara ESP32, PWM to Voltage Converter, dan inverter FD100M-0R7G-S2. Pin GPIO33 pada ESP32 dihubungkan ke pin PWM *input* pada modul konversi PWM to Voltage. Ground dari ESP32 juga dihubungkan ke pin GND pada modul tersebut.



Gambar 4. 15 Wiring Inverter ke ESP32

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Selanjutnya, pin VOUT dari PWM to Voltage Converter dihubungkan ke terminal A1 (*analog input*) pada inverter, sedangkan pin GND dari inverter dihubungkan ke GND pada PWM to Voltage Converter. Untuk suplai daya, terminal 12V–30V *input* pada PWM to Voltage Converter dihubungkan ke sumber daya 12V PSU, dan terminal GND pada modul tersebut dihubungkan ke GND PSU. Skema wiring ini

memungkinkan ESP32 mengatur kecepatan motor melalui inverter dengan mengubah sinyal PWM menjadi tegangan analog yang dapat diterima oleh inverter.

Tabel 4. 10 Konektivitas Inverter

Inverter	PWM To Voltage	ESP32
A1	VOUT	-
GND	GND	-
-	GND	GND
-	PWM	Pin 33

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap inverter FD100M-0R7G-S2 dengan daya terukur sebesar 0,75 kW. Inverter ini memiliki tegangan *input* 1 fase AC 220V ±15% dan menghasilkan *output* 3 fase AC 220V dengan rentang frekuensi yang dapat diatur dari 0.0 hingga 50.0 Hz. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan inverter ke sumber tegangan AC 220V dan mengamati respon sistem baik pada kondisi menyala maupun mati. Dalam pengujian ini juga dilakukan pengecekan pada indikator status, tegangan *output*, serta kestabilan frekuensi keluaran. *Output* dari pengujian ini adalah validasi bahwa inverter dapat mengubah tegangan AC 1 fase menjadi *output* AC 3 fase secara stabil dan responsif. Berikut adalah hasil pengujian terhadap inverter FD100M-0R7G-S2.



Gambar 4. 16 Kondisi saat Inverter mati dan Kondisi Inverter menyala.

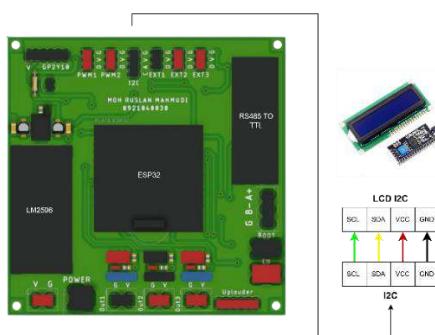
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Gambar 4.16 menunjukkan kondisi inverter FD100M-0R7G-S2 saat dalam keadaan menyala dan mati. Saat inverter diberikan suplai AC 220V,

perangkat berhasil menyala ditandai dengan aktifnya indikator LED dan munculnya tegangan *output* 3 fase di terminal keluaran. Sebaliknya, saat sumber tegangan dimatikan, semua indikator mati dan tidak ada *output* yang dihasilkan. Hasil ini menunjukkan bahwa inverter dapat merespons kondisi aktif dan nonaktif dengan baik, serta berfungsi stabil dalam pengubahan daya dari 1 fase AC ke 3 fase AC sesuai spesifikasinya.

4.2.6 Pengujian LCD I2C

Sebelum dilakukan pengujian, telah dilakukan proses wiring antara modul LCD I2C dengan ESP32 melalui jalur komunikasi I2C. Pin VCC pada modul LCD dihubungkan ke 3.3V atau 5V pada ESP32 sesuai dengan spesifikasi modul, pin GND dihubungkan ke GND ESP32, sedangkan pin SDA dan SCL masing-masing dihubungkan ke pin D21 (SDA) dan D22 (SCL) pada ESP32. Konfigurasi wiring ini memungkinkan ESP32 untuk mengirimkan data tampilan secara digital ke layar LCD melalui protokol I2C dengan dua jalur sinyal.



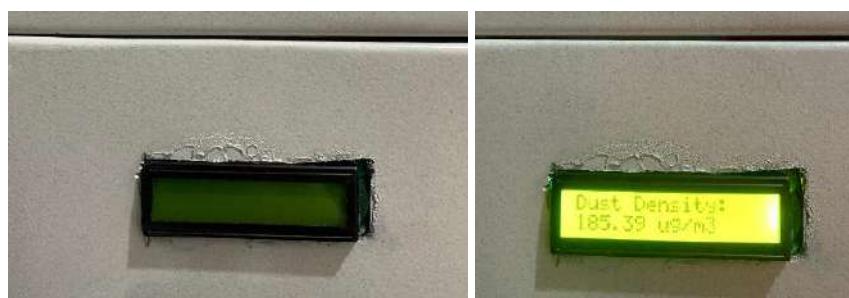
Gambar 4. 17 Wiring LCD I2C ke ESP32

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Tabel 4. 11 Konektivitas LCD I2C

LCD I2C	ESP32
SDA	Pin 21
SCL	Pin 22
VCC	VCC
GND	GND

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian modul LCD I2C untuk memastikan tampilan dapat berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan kerja melalui jalur komunikasi I2C yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. ESP32 digunakan untuk mengirimkan data tampilan ke LCD serta mengatur kondisi nyala dan mati modul. Saat modul dinyalakan, tampilan LCD diharapkan dapat menampilkan informasi secara jelas dan stabil. Sebaliknya, saat modul dimatikan, tampilan LCD akan tidak aktif dan layar menjadi kosong. *Output* dari pengujian ini adalah verifikasi tampilan dan keandalan modul LCD I2C dalam kondisi menyala dan mati. Berikut adalah hasil pengujian terhadap LCD I2C.



Gambar 4. 18 Kondisi LCD I2C mati dan kondisi LCD I2C menyala.

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Gambar 4.18 menunjukkan kondisi LCD I2C saat menyala dan mati. Terlihat bahwa pada saat menyala, modul LCD mampu menampilkan informasi dengan jelas melalui karakter yang muncul di layar. Sementara itu, pada saat mati, layar tidak menunjukkan tampilan apa pun, menandakan bahwa modul tidak aktif. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan LCD I2C ke mikrokontroler ESP32 melalui jalur komunikasi I2C (SDA dan SCL). ESP32 digunakan untuk mengirimkan perintah tampilan dan mengatur kapan modul dinyalakan atau dimatikan. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi antara LCD I2C dan ESP32 berjalan dengan baik dan fungsi dasar modul dapat diuji sesuai ekspektasi.

Modul LCD I2C dalam sistem ini berfungsi sebagai media tampilan yang digunakan untuk menampilkan informasi numerik berupa nilai dust yang diperoleh dari sensor GP2Y1010AU0UF. Nilai tersebut dikirim dari ESP32 ke LCD melalui jalur komunikasi digital I2C, sehingga

memungkinkan tampilan real-time yang dapat langsung diamati oleh pengguna tanpa memerlukan komputer atau perangkat tambahan lainnya.

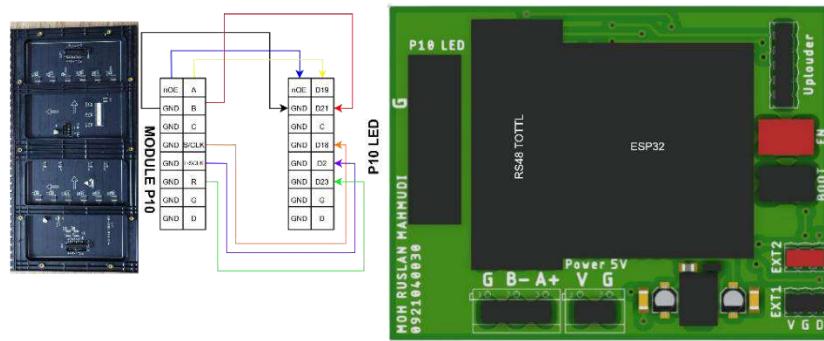
Secara teknis, input dari LCD I2C berupa perintah dan data digital yang dikirimkan oleh mikrokontroler (ESP32) melalui dua pin utama, yaitu SDA (data) dan SCL (clock). Mikrokontroler bertindak sebagai master dalam komunikasi I2C, sementara LCD I2C berperan sebagai slave yang menerima dan menampilkan data dalam bentuk karakter. Data dikirimkan secara serial dengan format tertentu, lalu diterjemahkan oleh IC I/O expander (PCF8574) yang terdapat pada modul I2C untuk mengendalikan register dan driver pada layar LCD.

Cara kerja pengiriman data ke LCD I2C melibatkan proses komunikasi I2C di mana ESP32 akan menginisialisasi koneksi dengan alamat slave (0x27 atau 0x3F), lalu mengirimkan perintah atau data karakter. Modul LCD akan menangkap sinyal ini dan mengubahnya menjadi tampilan yang dapat dibaca di layar. Karena bersifat digital dan hanya menggunakan dua pin, komunikasi ini lebih efisien dan minim interferensi, terutama dalam sistem yang menggunakan banyak perangkat.

Dengan konfigurasi ini, LCD I2C menjadi salah satu elemen penting dalam sistem monitoring karena menyediakan umpan balik langsung kepada pengguna tentang kondisi lingkungan yang terpantau, khususnya debu pada ruang kerja.

4.2.7 Pengujian Module P10 LED Matrix

Sebelum dilakukan pengujian, telah dilakukan proses wiring antara modul LED Matrix P10 dan ESP32 secara langsung, tanpa menggunakan konverter RS485. Modul P10 mendapatkan suplai tegangan sebesar 5V DC dari adaptor eksternal, sementara jalur sinyal seperti R1 (data), CLK (clock), LAT (latch), dan OE (output enable) dihubungkan langsung ke pin-pin digital pada ESP32. Ground dari modul P10 juga disambungkan ke ground ESP32 untuk menyamakan referensi tegangan. Skema wiring ini memungkinkan komunikasi langsung antara ESP32 dan P10 serta memastikan kendali tampilan dapat berjalan secara stabil.



Gambar 4. 19 Wiring Module ke ESP32

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Modul LED Matrix P10 digunakan sebagai media tampilan visual yang berfungsi untuk menyampaikan informasi suhu dan kelembapan area kerja secara real-time. Data yang ditampilkan berasal dari pembacaan langsung sensor suhu dan kelembapan SHT20, yang diakses oleh mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi Modbus RTU. Nilai suhu (dalam °C) dan kelembapan relatif (dalam %RH) kemudian dikonversi dari data mentah 16-bit yang dikirim oleh sensor, dan hasil akhirnya ditampilkan dalam bentuk teks statis di layar LED Matrix P10. Dengan demikian, operator di lapangan dapat memantau kondisi lingkungan secara langsung tanpa harus membuka antarmuka monitoring digital lainnya.

Modul P10 menerima input berupa sinyal digital dari mikrokontroler melalui jalur komunikasi paralel. Jalur ini terdiri dari sinyal data (R1) yang membawa informasi piksel, clock (CLK) yang mengatur perpindahan data, latch (LAT) untuk menyimpan data yang telah digeser, dan output enable (OE) untuk mengatur waktu penyalaan LED. Selain itu, terdapat jalur pemilih baris berupa sinyal A dan B, yang digunakan untuk menentukan baris mana yang akan diaktifkan dalam sistem pemindaian 1/4 scan. Output dari modul P10 berupa cahaya LED yang menyala sesuai data yang dikirimkan, membentuk karakter teks yang diinginkan. Karena modul P10 tidak memiliki memori tampilan internal, data harus dikirimkan secara terus-menerus dari mikrokontroler agar tampilan tetap aktif.

Proses pengiriman data dilakukan menggunakan prinsip kerja shift register. Data piksel untuk setiap baris dikirim secara berurutan melalui pin

data, lalu dipindahkan menggunakan clock, disimpan dengan latch, dan ditampilkan dengan mengaktifkan baris tertentu melalui pemilihan baris A dan B. Pengulangan proses ini secara cepat menciptakan tampilan yang utuh dan stabil. Dalam sistem ini, ESP32 terlebih dahulu membaca nilai dari sensor SHT20 menggunakan protokol Modbus RTU, lalu melakukan klasifikasi berdasarkan nilai suhu dan kelembapan yang diperoleh. ESP32 akan mengirimkan teks ke modul P10 menggunakan pustaka DMD2, sehingga informasi dapat langsung ditampilkan secara real-time di layar LED Matrix.



Gambar 4. 20 Kondisi Module P10 mati dan kondisi Module P10 menyala.

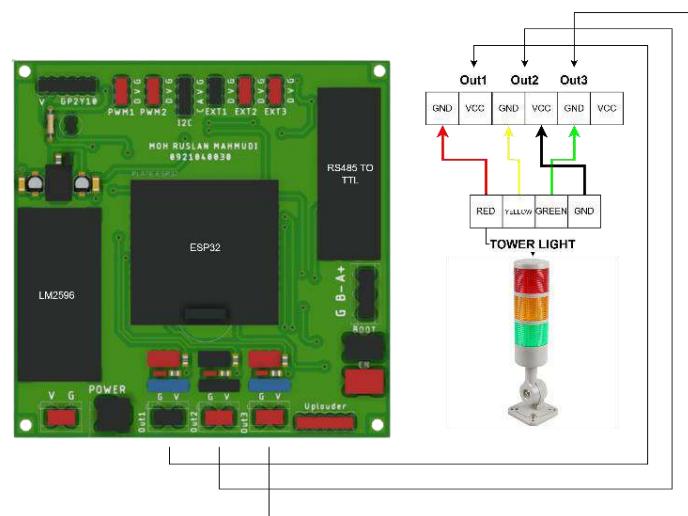
Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Gambar 4.19 menunjukkan skema wiring antara ESP32 dan modul P10, sedangkan Gambar 4.20 memperlihatkan kondisi modul saat menyala dan mati. Ketika sistem aktif dan menerima data yang valid, teks ditampilkan secara jelas dan sesuai pada layar, membuktikan bahwa komunikasi berjalan baik. Sebaliknya, saat modul tidak menyala, tidak terdapat tampilan apapun yang menandakan bahwa tidak ada suplai daya atau sinyal masuk ke dalam modul. Dengan demikian, hasil pengujian ini mengonfirmasi bahwa modul P10 dapat bekerja secara sinkron dengan ESP32 dan mampu menampilkan hasil klasifikasi lingkungan berdasarkan pembacaan sensor SHT20 secara tepat dan efisien.

4.2.8 Pengujian Tower Light with Buzzer

Sebelum dilakukan pengujian, telah dilakukan proses wiring pada Tower Light with Buzzer dengan konfigurasi sebagai berikut: kabel Red, Yellow, dan Green masing-masing dihubungkan ke ground (GND) sebagai

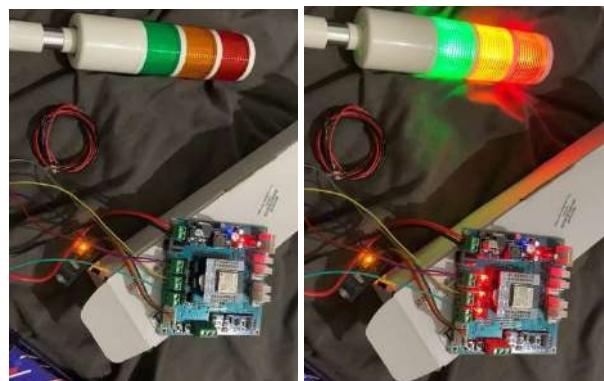
jalur kontrol aktif, sedangkan kabel GND dari tower light dihubungkan ke sumber VCC. Dengan konfigurasi ini, setiap warna lampu dapat dinyalakan secara individual dengan menghubungkannya ke ground, sesuai logika aktif rendah.



Gambar 4. 21 Wiring Tower Light with Buzzer ke ESP32

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Selanjutnya pada tahap ini akan dilakukan pengujian *Tower Light with Buzzer* yang terdiri dari indikator lampu berwarna (merah, kuning, hijau) serta buzzer sebagai alarm suara. Pengujian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama untuk mengaktifkan setiap komponen secara terpisah maupun bersamaan. Setiap warna lampu diuji untuk memastikan respon nyala sesuai logika kontrol, sementara buzzer diuji untuk memastikan alarm dapat berbunyi pada kondisi tertentu. *Output* dari pengujian ini adalah verifikasi fungsi masing-masing indikator visual dan suara dalam sistem. Berikut adalah hasil pengujian terhadap *Tower Light with Buzzer*.



Gambar 4. 22 Kondisi Tower Light mati dan kondisi Tower Light menyala.

Sumber : (Dokumen Pribadi Penulis, 2025)

Gambar 4.22 menunjukkan kondisi *Tower Light with Buzzer* saat dalam keadaan menyala dan mati. Ketika sistem aktif, indikator lampu menyala sesuai kondisi yang ditentukan dan buzzer berbunyi sebagai peringatan saat lampu merah menyala. Sebaliknya, saat sistem dalam keadaan mati, tidak ada lampu yang menyala maupun suara yang terdengar. Hasil ini membuktikan bahwa ESP32 mampu mengendalikan unit *Tower Light with Buzzer* secara tepat sesuai instruksi logika program.

Pada tugas akhir ini, *Tower Light with Buzzer* berperan sebagai media output visual dan suara yang merepresentasikan hasil klasifikasi kondisi area kerja berdasarkan metode *Neural Network*. Sistem klasifikasi yang telah dirancang akan menentukan salah satu dari tiga kategori, yaitu baik, sedang, atau buruk, berdasarkan data lingkungan yang diperoleh. Hasil klasifikasi tersebut kemudian ditampilkan melalui warna lampu indikator yang menyala sesuai kategori: lampu hijau untuk kondisi baik, lampu kuning untuk kondisi sedang, dan lampu merah untuk kondisi buruk. Selain itu, buzzer akan aktif bersamaan dengan lampu merah sebagai bentuk peringatan tambahan terhadap kondisi lingkungan yang tidak aman atau berisiko.

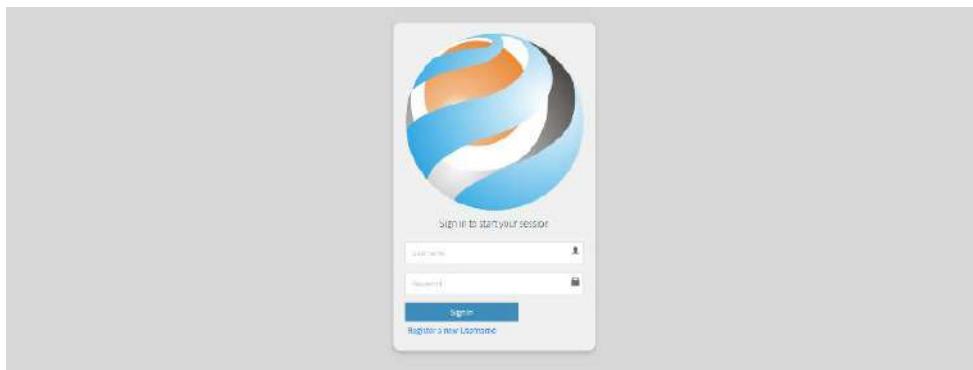
4.3 Hasil Perancangan Software

Perancangan software mencakup pengembangan antarmuka website yang interaktif dan mudah digunakan, perancangan struktur database untuk menyimpan serta mengelola data secara efisien, serta implementasi simulasi metode neural network sebagai bagian dari pemrosesan dan analisis data.

Semua elemen perangkat lunak dirancang agar saling terintegrasi dan mampu mendukung fungsi sistem secara optimal.

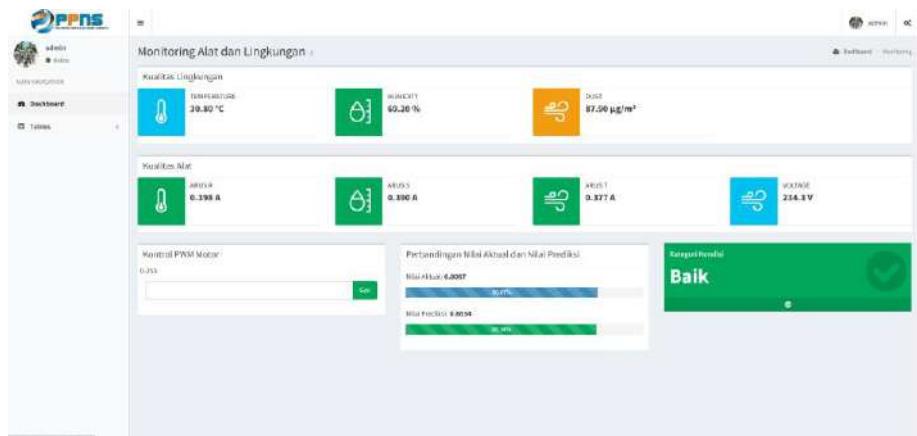
4.3.1 Hasil Perancangan Website

Hasil perancangan antarmuka dashboard utama pada website menghasilkan tampilan monitoring yang menyajikan informasi kondisi lingkungan dan alat secara real-time. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat memantau perubahan kondisi lingkungan serta status operasional alat secara langsung. Selain fitur monitoring, dashboard juga dilengkapi dengan kontrol untuk mengatur nilai PWM pada motor, yang merepresentasikan tingkat kecepatan motor saat beroperasi.



Gambar 4. 23 Tampilan Login
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.23 Tampilan login merupakan antarmuka awal yang digunakan oleh pengguna untuk mengakses sistem. Pada halaman ini, pengguna diminta untuk memasukkan username dan password yang telah terdaftar di dalam basis data. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dimasukkan benar. Jika login berhasil, pengguna akan diarahkan ke halaman dashboard. Sebaliknya, apabila data yang dimasukkan salah, maka sistem akan menampilkan pesan kesalahan tanpa mengarahkan ulang halaman. Hal ini bertujuan untuk menjaga kenyamanan pengguna dalam proses autentikasi.



Gambar 4. 24 Tampilan Dashboard

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.24 Tampilan dashboard ini dirancang untuk memberikan visualisasi secara real-time terhadap kondisi lingkungan dan peralatan kerja yang berada di galangan kapal selam. Antarmuka dashboard terbagi menjadi beberapa bagian utama yang saling mendukung dalam proses monitoring.

Pada bagian Kualitas Lingkungan, sistem menampilkan data dari sensor-sensor lingkungan yang meliputi suhu (temperature), kelembapan (humidity), dan kepadatan debu (dust). Suhu ditampilkan dalam satuan °C, kelembapan dalam persen (%), dan debu dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Masing-masing indikator memiliki ikon berwarna yang membantu membedakan tingkat prioritas informasi, seperti warna oranye yang digunakan untuk indikator debu sebagai tanda perhatian terhadap kualitas udara.

Selanjutnya, pada bagian Kualitas Alat, ditampilkan hasil pembacaan sensor power meter yang mencakup arus listrik pada fasa R, S, dan T, serta tegangan total. Arus ditampilkan dalam satuan Ampere (A), sedangkan tegangan ditampilkan dalam satuan Volt (V). Informasi ini berfungsi untuk memastikan bahwa peralatan listrik yang digunakan bekerja dalam rentang parameter yang aman dan stabil.

Di bagian bawah dashboard terdapat fitur Kontrol PWM Motor. Pengguna dapat memasukkan nilai PWM (Pulse Width Modulation) dalam rentang 0 hingga 255 melalui kolom *input* yang disediakan. Nilai tersebut akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk mengatur kecepatan motor secara

dinamis berdasarkan perintah yang diberikan, di mana proses kontrol ini dilakukan melalui basis data.

Selanjutnya tampilan di bagian perbandingan Nilai aktual dan Nilai Prediksi untuk mengetahui nilai dari aktual dan nilai prediksi, yang didapat dari hasil model Neural Network, dan disampingnya ada Kategori Kondisi yaitu dari nilai prediksi yang sudah diberi label, sebagai penanda jika kondisi peralatan dan lingkungan itu termasuk Baik, Sedang atau Buruk.

Timestamp	Temperature	Humidity	Dust Density	Arus R	Arus S	Arus T	Voltage
2023-01-21 09:07:30	21.20	50.00	1.00W	N/A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:07:37	21.25	50.00	0.00W	0.00A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:07:50	21.22	50.00	N/A	N/A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:07:57	21.27	50.00	N/A	N/A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:08:04	21.25	50.00	N/A	N/A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:08:12	21.24	50.00	N/A	N/A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:08:19	21.20	50.00	N/A	N/A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:08:26	21.22	50.00	N/A	N/A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:08:33	21.25	50.00	N/A	N/A	0.00	0.00A	N/A
2023-01-21 09:08:40	21.26	50.00	N/A	N/A	0.00	0.00A	N/A

Gambar 4. 25 Tampilan Tabel Histori

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

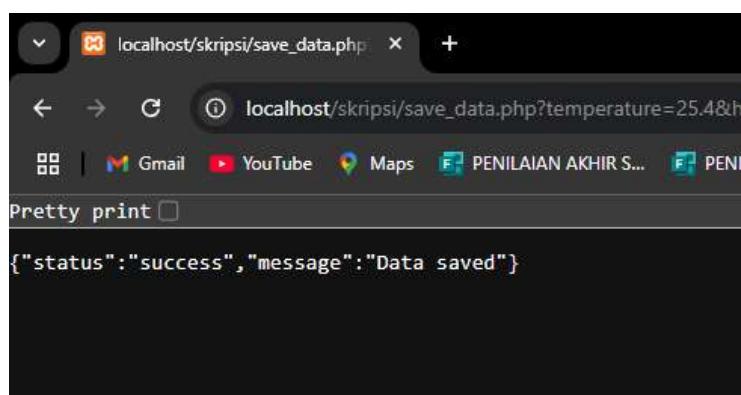
Tampilan tabel ini menyajikan hasil pembacaan data dari berbagai sensor yang digunakan dalam sistem. Data yang ditampilkan meliputi waktu pencatatan (timestamp), suhu (temperature), kelembapan (humidity), kepadatan debu (dust density), arus listrik pada fasa R, S, dan T, serta tegangan listrik. Semua data ditampilkan dalam bentuk tabel yang terstruktur dan mudah dibaca. Pengguna dapat melakukan pencarian data tertentu melalui kolom Search di kanan atas, serta melakukan navigasi antar halaman menggunakan fitur pagination di bagian bawah tabel.

Setiap kolom dalam tabel dapat diurutkan (sort) untuk memudahkan analisis data, misalnya mengurutkan berdasarkan waktu atau nilai sensor tertentu. Jika salah satu sensor tidak aktif atau tidak mengirim data, maka sistem akan menampilkan indikator "N/A" (Not Available) pada kolom yang bersangkutan. Fitur ini mempermudah dalam proses monitoring dan

analisis kualitas lingkungan kerja di galangan kapal, serta memfasilitasi proses evaluasi data historis oleh pengguna atau administrator.

4.3.2 Pengujian Backend

Pengujian backend pada sistem ini bertujuan untuk menangani proses pengambilan dan penyimpanan data sensor secara efisien, serta memastikan komunikasi yang lancar antara mikrokontroler dan basis data. Backend dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan format respons JSON, sehingga dapat diintegrasikan dengan baik pada antarmuka monitoring di dashboard.



A screenshot of a web browser window. The address bar shows 'localhost/skripsi/save_data.php'. The page content displays a JSON response: {"status": "success", "message": "Data saved"}. The browser interface includes standard navigation buttons, a search bar, and a tab bar with links to Gmail, YouTube, Maps, and other local files.

Gambar 4. 26 Backend save_data.php

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.26 ditampilkan respon dari rskrip save_data.php yang berfungsi untuk menyimpan data dari sensor suhu (*temperature*) dan kelembapan (*humidity*) ke dalam basis data. Skrip ini menerima data yang dikirimkan melalui metode HTTP (misalnya POST) dari mikrokontroler, kemudian mengeksekusi perintah SQL untuk memasukkannya ke tabel penyimpanan. Setelah proses penyimpanan berhasil, sistem akan memberikan respons JSON berisi status "success" dan pesan "Data saved". Hal ini digunakan untuk memastikan bahwa proses pengiriman data berjalan dengan baik dan tidak terjadi kesalahan.

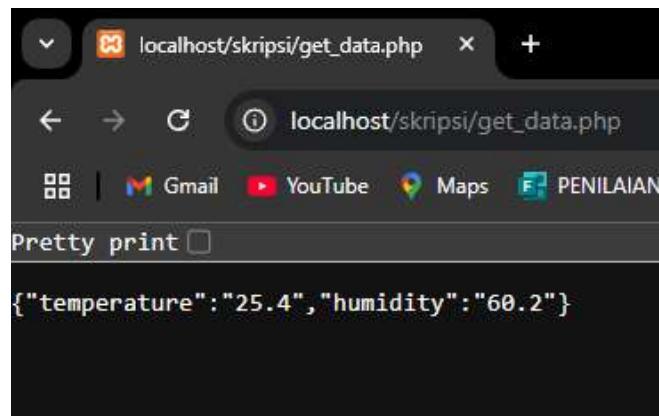


```
{"status": "success", "message": "Data saved"}
```

Gambar 4. 27 Backend save_data2.php

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.27 ditampilkan respon skrip save_data2.php yang bertugas menyimpan data kualitas udara (*dust density*) serta parameter kelistrikan, yaitu arus pada fasa R, S, dan T, dan tegangan total. Sama seperti save_data.php, data dikirimkan dari mikrokontroler ke server melalui metode HTTP, kemudian disimpan di basis data. Setelah data berhasil disimpan, sistem mengirimkan respons JSON sebagai konfirmasi keberhasilan.

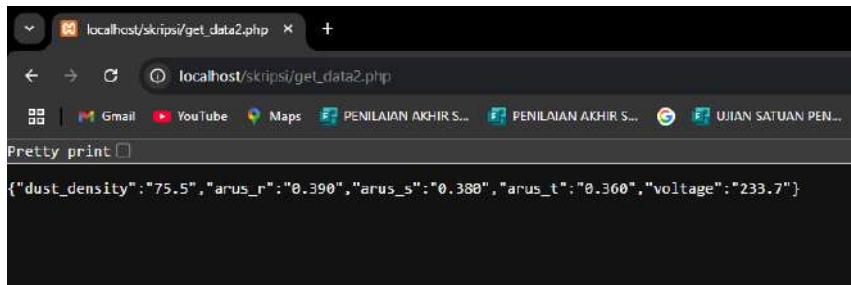


```
{"temperature": "25.4", "humidity": "60.2"}
```

Gambar 4. 28 Backend get_data.php

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.28 ditunjukkan data API dalam berbentuk JSON, skrip get_data.php yang berfungsi mengambil data suhu dan kelembapan terakhir dari basis data untuk ditampilkan pada dashboard. Skrip ini mengeksekusi perintah SQL untuk mengambil nilai terbaru, lalu mengubah hasilnya menjadi format JSON. Data ini kemudian digunakan oleh bagian frontend untuk memperbarui tampilan monitoring secara *real-time*.



A screenshot of a web browser window titled "localhost/skripsi/get_data2.php". The page displays a JSON object with the following content:

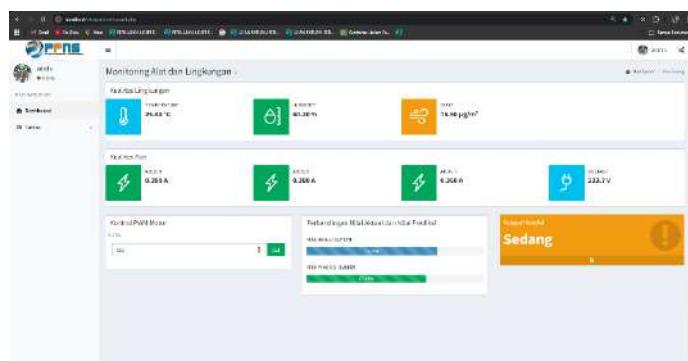
```
{"dust_density": "75.5", "arus_r": "0.390", "arus_s": "0.388", "arus_t": "0.360", "voltage": "233.7"}
```

Gambar 4. 29 Backend get_data2.php

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.29 diperlihatkan data API dalam berbentuk JSON, skrip get_data2.php yang berfungsi mengambil data *dust density*, arus pada fasa R, S, dan T, serta tegangan listrik terakhir dari basis data. Sama seperti get_data.php, hasil pengambilan data dikonversi ke format JSON untuk memudahkan integrasi dengan dashboard.

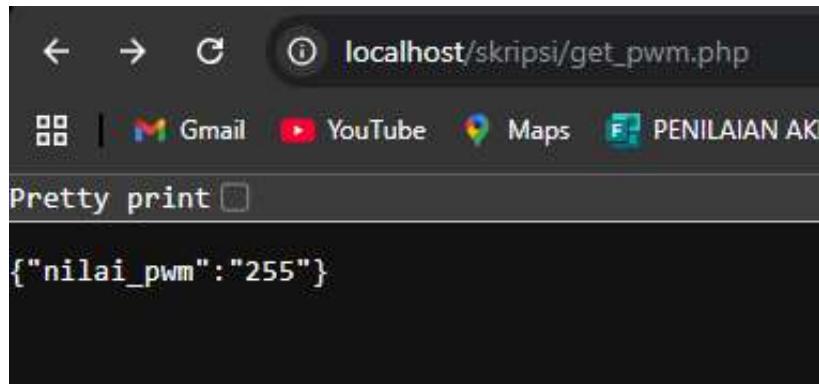
Dengan urutan proses ini, alur kerja backend menjadi jelas: data dikirim dari sensor → disimpan melalui save_data.php dan save_data2.php → diambil kembali melalui get_data.php dan get_data2.php → ditampilkan secara *real-time* di dashboard. Rancangan ini memastikan proses monitoring berjalan akurat, responsif, dan konsisten antara kondisi lapangan dan tampilan website.



Gambar 4. 30 Frontend Dashboard

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.30 menunjukkan antarmuka utama dashboard yang digunakan untuk memantau parameter lingkungan (*temperature*, *humidity*, *dust density*) serta parameter kelistrikan (*arus* dan *voltage*). Selain itu, dashboard dilengkapi fitur kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM) yang berfungsi pengguna mengatur kecepatan motor secara langsung melalui form input yang terhubung ke send_pwm.php.



```
{"nilai_pwm": "255"}
```

Gambar 4. 31 Backend get_pwm.php

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Skrip send_pwm.php pada dashboard berfungsi menerima nilai kontrol PWM yang diinput pengguna melalui form. Nilai ini dikirim ke server menggunakan metode POST, lalu divalidasi agar berada dalam batas aman (0–255). Setelah valid, nilai PWM disimpan ke tabel kontrol_pwm di basis data menggunakan perintah INSERT. Dashboard akan menampilkan notifikasi berhasil/gagal sesuai hasil penyimpanan. Nilai yang tersimpan ini nantinya akan diambil oleh mikrokontroler melalui get_pwm.php untuk mengatur kecepatan atau daya motor secara *real-time*.

4.4 Implementasi Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

4.4.1 Perhitungan Engineering Quality Index (EQI)

Engineering Quality Index (EQI) adalah suatu indeks komposit yang digunakan untuk mengukur tingkat kualitas atau performa suatu sistem teknik berdasarkan pengukuran beberapa parameter kualitas yang relevan. Tujuan perhitungan EQI adalah untuk menggabungkan nilai-nilai parameter yang telah dinormalisasi ke dalam skala 0 sampai 1 dan diberikan bobot sesuai tingkat signifikansinya, sehingga menghasilkan satu nilai indeks mutu keseluruhan sistem.

4.4.1.1 Parameter yang Digunakan

Pada perhitungan EQI, beberapa parameter yang diukur antara lain: Suhu (°C), Kelembapan (%), Kadar partikel PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Tegangan listrik (V), Arus listrik pada tiga fasa (Arus R, Arus S, Arus T) yang digabungkan menjadi satu parameter Arus RST dengan mengambil nilai normalisasi rata-rata ketiga arus tersebut, untuk mempermudah saat implementasi ke metode

Neural Network, karena semakin banyak input saat dikelola Neural Network semakin susah untuk diproses.

Untuk menentukan tingkat kualitas area kerja, digunakan beberapa parameter lingkungan dan peralatan yang dipantau menggunakan sensor. Parameter-parameter tersebut meliputi tegangan dan arus (Power Meter), suhu dan kelembapan (SHT20), serta konsentrasi partikel debu PM 10 (GP2Y1010). Berdasarkan referensi dari penelitian sebelumnya dan hasil pengamatan lingkungan sandblasting, dibuatlah kategori klasifikasi kualitas lingkungan menjadi tiga: Baik, Sedang, dan Buruk.

Tabel berikut menunjukkan batasan nilai dari masing-masing parameter untuk setiap kategori kualitas

Tabel 4. 12 Tabel Parameter Kualitas Lingkungan

Kategori Kualitas	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Tegangan (V)	Arus RST (A)
Baik	24 – 30	50 – 70	≤ 75	209 – 231 (±5% dari 220 V)	0.37 – 0.45
Sedang	21 – <24 atau >30 – 34	40 – <50 atau >70 – 85	76 – 150	198 – 209 atau 231 – 242	0.25 – 0.37 atau 0.45 – 0.55
Buruk	< 21 atau > 34	< 40 atau > 85	> 150	< 198 atau > 242	< 0.25 atau > 0.55, tidak stabil

Berdasarkan tabel tersebut, sistem klasifikasi akan menetapkan kategori kualitas lingkungan berdasarkan pembacaan sensor secara real-time.

4.4.1.2 Titik Pusat dan Batas Nilai Parameter

Setiap parameter memiliki nilai titik pusat (optimal) yang umum diambil sebagai nilai tengah pada kategori Baik, dan batas buruk yang merupakan nilai ekstrim dari kategori Buruk. Nilai parameter aktual dibandingkan dengan titik pusat dan batas buruk untuk proses normalisasi ke skala 0–1.

Tabel 3. 5 Tabel Titik Pusat setiap Parameter

Tabel 4. 13 Tabel Titik Pusat setiap Parameter

Parameter	Titik Pusat (Optimal)	Batas Buruk (Jarak Maks)
Suhu (°C)	27 (rata-rata 24–30)	7 (jarak ke 34/20 °C)
Kelembapan (%)	60 (rata-rata 50–70)	25 (jarak ke 85/35%)

Parameter	Titik Pusat (Optimal)	Batas Buruk (Jarak Maks)
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	≤ 75	> 150
Tegangan (V)	220	22 (jarak ke 198 atau 242 V)
Arus R, S, T (A)	0.41 (rata-rata 0.37–0.45)	0.16 (jarak ke 0.25 atau 0.57)

4.4.1.3 Rumus Normalisasi Parameter

Normalisasi mengkonversi nilai parameter aktual ke dalam skala 0–1 dengan rumus:

$$x_{norm} = \max \left(0,1 - \left(\frac{|x - x_{optimal}|}{d_{max}} \right)^2 \right)$$

Dimana:

- x = nilai aktual parameter
- $x_{optimal}$ = nilai optimal (titik pusat)
- d_{max} = jarak maksimum dari titik pusat ke batas buruk
- S_{norm} = normalisasi suhu terhadap suhu optimal.
- H_{norm} = normalisasi kelembapan terhadap kelembapan optimal.
- PM_{norm} = normalisasi partikel debu terhadap batas optimal.
- V_{norm} = normalisasi tegangan terhadap tegangan optimal.
- A_{norm} = normalisasi arus terhadap arus optimal.

Untuk PM₁₀ digunakan rumus berbeda sesuai kategori, yakni:

$$PM_{norm} = \begin{cases} 1, & PM \leq 75 \\ \max \left(0,1 - \frac{PM - 75}{75} \right), & 75 < PM \leq 150 \\ 0, & PM > 150 \end{cases}$$

Untuk arus listrik tiga fasa, normalisasi dilakukan terpisah untuk Arus R, Arus S, dan Arus T, karena semakin banyak input semakin susah Neural Network mempelajarinya, jadi yang awalnya 7 input menjadi 5 input. Lalu arus dirata-rata menjadi nilai arus gabungan:

$$A_{norm} = \frac{A_{normR} + A_{normS} + A_{normT}}{3}$$

4.4.1.4 Penentuan Bobot Parameter

Bobot parameter diberikan secara sama rata kepada lima parameter utama (Suhu, Kelembapan, PM₁₀, Tegangan, Arus RST):

$$w_i = \frac{1}{5} = 0.20$$

Total bobot seluruh parameter sama dengan 1.

4.4.1.5 Perhitungan dan Klasifikasi EQI

Nilai EQI dihitung sebagai agregasi tertimbang dari nilai normalisasi masing-masing parameter:

$$EQI = \sum_{i=1}^5 w_i \times x_{i,norm} = \frac{1}{5} \times (S_{norm} + H_{norm} + PM_{norm} + V_{norm} + A_{norm})$$

Setelah diperoleh nilai EQI, hasilnya diklasifikasikan ke dalam kategori mutu sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Tabel Nilai Kategori EQI

Rentang EQI	Kategori
≥ 0.75	Baik
$0.55 - < 0.75$	Sedang
< 0.55	Buruk

Pembagian kategori EQI menjadi Baik, Sedang, dan Buruk ini digunakan untuk memudahkan interpretasi hasil indeks kualitas teknik. Nilai EQI yang tinggi (≥ 0.75) menunjukkan kondisi sistem atau parameter teknis yang hampir optimal, dengan performa yang baik dan stabil. Rentang sedang (0.55 sampai kurang dari 0.75) mengindikasikan kondisi sistem yang masih dapat diterima tetapi perlu pemantauan atau perbaikan ringan. Nilai di bawah 0.55 menandakan kualitas atau performa yang kurang baik, yang mengharuskan evaluasi dan tindakan pengendalian lebih serius untuk menghindari kerusakan atau gangguan fungsi.

Misalnya terdapat data aktual parameter sebagai berikut:

Tabel 4. 15 Tabel Contoh Data Aktual Parameter.

Parameter	Nilai
Suhu	28 °C
Kelembapan	62%
PM ₁₀	100 µg/m ³
Tegangan	215 V
Arus R	0.36 A
Arus S	0.42 A

Parameter	Nilai
Arus T	0.40 A

Contoh Perhitungan Normalisasi Parameter Suhu

Misalkan nilai suhu aktual yang terukur adalah 28°C, dengan titik pusat (nilai optimal) adalah 24.5°C, dan batas buruk jarak maksimum adalah 5.5°C (misalnya jarak dari 24.5°C ke 30°C).

Rumus normalisasi:

$$x_{norm} = \max\left(0, 1 - \left(\frac{|x - x_{optimal}|}{d_{max}}\right)^2\right)$$

Subtitusi nilai:

$$S_{norm} = 1 - \left(\frac{|28 - 27|}{7}\right)^2 = 1 - 0.0204 = 0.9796$$

Jadi, nilai normalisasi suhu sebesar 0.9796 menunjukkan bahwa suhu 27°C berada pada tingkat kualitas sekitar 97.96% dari nilai optimal.

PM₁₀ (linear khusus):

$$PM_{norm} = 1 - \left(\frac{100 - 75}{75}\right) = 1 - 0.3333 = 0.6667$$

Nilai ini nantinya akan dikalikan dengan bobot parameter suhu untuk menghitung kontribusi suhu dalam perhitungan Engineering Quality Index (EQI).

Dengan menggunakan rumus normalisasi di atas, didapatkan nilai normalisasi masing-masing parameter dan rata-rata arus, lalu dihitung EQI sebagai berikut:

- Suhu: 0.9796
- Kelembapan: 0.9936
- PM₁₀: 0.6667
- Tegangan: 0.9483
- Arus RST: $\frac{0.9023 + 0.9961 + 0.9961}{3} = 0.9648$

Maka:

$$EQI = 0.20 \times (0.9796 + 0.9936 + 0.6667 + 0.9483 + 0.9648) = 0.9106$$

Nilai Engineering Quality Index (EQI) sebesar 0,9106 termasuk dalam kategori “Baik” berdasarkan klasifikasi yang telah ditentukan. Nilai ini diperoleh dari hasil pengolahan terhadap lima parameter input lingkungan, yaitu suhu, kelembapan, kepadatan debu (PM_{10}), arus listrik (R, S, T), dan tegangan. Selanjutnya, kombinasi antara data parameter input dan nilai EQI digunakan sebagai dataset pada proses pelatihan model jaringan saraf tiruan (Neural Network).

Dalam proses pelatihan dan pengujian model, nilai EQI berperan sebagai data target, yaitu representasi nilai aktual yang menjadi acuan untuk membandingkan dengan hasil prediksi model. Dengan demikian, model akan mempelajari hubungan fungsional antara parameter-parameter input terhadap kualitas lingkungan yang direpresentasikan oleh EQI. Hasil prediksi dari model kemudian dievaluasi terhadap nilai EQI aktual guna menilai sejauh mana kemampuan model dalam menghasilkan estimasi yang akurat.

4.4.2 Data Trainning

Data training merupakan komponen penting dalam proses pelatihan jaringan syaraf tiruan karena kualitas dan kuantitas data sangat memengaruhi kemampuan model dalam mengenali pola serta melakukan prediksi. Pada penelitian ini, data asli yang diperoleh dari hasil pencatatan sensor berjumlah sekitar 1.500 data. Jumlah tersebut tergolong terbatas jika digunakan untuk melatih model, karena dapat menyebabkan model cenderung overfitting, yaitu hanya mampu mengenali pola pada data training tetapi kurang mampu melakukan generalisasi terhadap data baru.

Untuk mengatasi keterbatasan jumlah data tersebut, dilakukan proses scale up dengan menambahkan data dummy. Data dummy ini dibuat dengan cara memperbanyak data yang sudah ada berdasarkan pola distribusi nilai pada data real. Dengan cara tersebut, karakteristik data asli tetap terjaga, namun jumlahnya meningkat secara signifikan hingga mencapai sekitar 65.000 data. Penambahan data ini diharapkan mampu memberikan variasi yang lebih luas, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih stabil dan hasil prediksi yang dihasilkan lebih akurat.

Tabel 4. 16 Tabel Kombinasi Data Real dan Dummy

No.	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Arus R (A)	Arus S (A)	Arus T (A)	Tegangan (V)
1	24	49	94.1	0.37	0.37	0.36	234.7
2	24.1	57	96	0.38	0.38	0.37	223.7
3	25	63	70.8	0.34	0.35	0.35	213.8
4	25.3	53	78.6	0.29	0.29	0.29	223.1
5	26.1	69	74.9	0.27	0.26	0.26	235.7
6	26.4	77	88.5	0.29	0.29	0.29	228.3
7	27.2	49	95.6	0.36	0.36	0.35	223.2
8	27.8	68	77.1	0.27	0.27	0.27	231.8
9	28	56	84.5	0.31	0.32	0.31	213.2
10	28.2	55	90	0.34	0.33	0.33	223
...
...
...
65.000	33.9	85	149.4	0.25	0.28	0.28	239.4

Bentuk data training yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.16. Tabel tersebut berisi parameter hasil pembacaan sensor yang terdiri dari suhu (°C), kelembapan (%), konsentrasi partikel debu PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), arus listrik tiga fasa (arus R, arus S, arus T), serta tegangan (V). Data yang ditampilkan pada tabel merupakan cuplikan dari keseluruhan dataset, mulai dari beberapa data awal hingga data terakhir pada baris ke-65.000. Penyajian tabel tersebut dimaksudkan untuk memberikan gambaran mengenai struktur data yang digunakan, karena jumlah data yang sesungguhnya terlalu besar untuk ditampilkan seluruhnya.

Secara keseluruhan, data training dalam penelitian ini terdiri atas kombinasi antara data real dan data dummy dengan jumlah yang telah ditingkatkan secara signifikan. Tabel 4.16 memperlihatkan ilustrasi mengenai variasi antara data asli dan hasil scale up parameter yang digunakan, sehingga dapat dipahami bahwa dataset yang diperoleh telah mencukupi dan representatif untuk melatih jaringan syaraf tiruan.

4.4.3 Arsitektur Backpropagation Neural Network

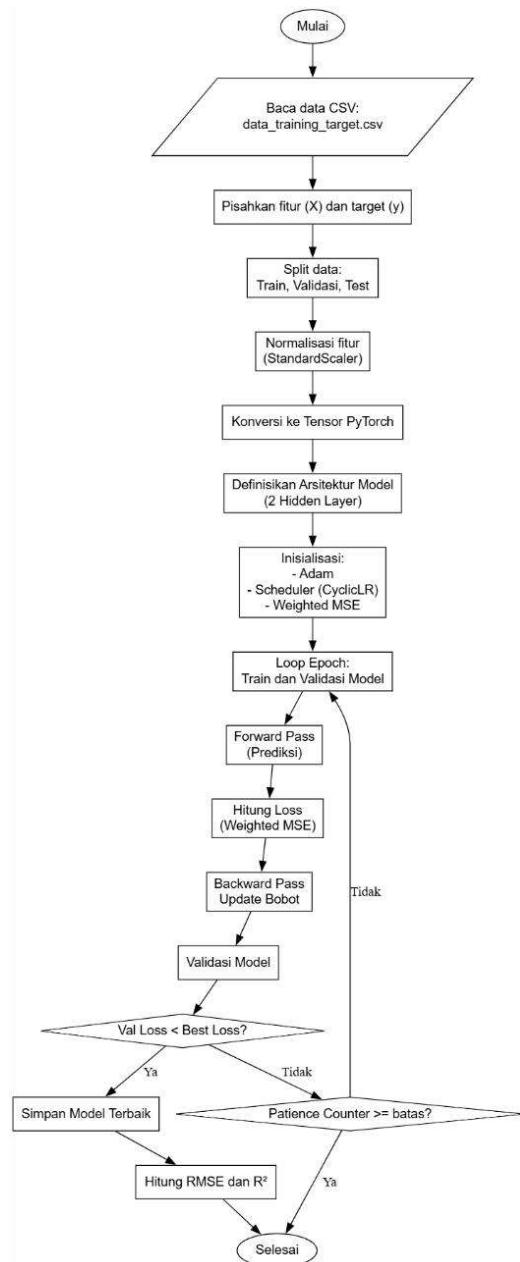
Sebagai bentuk validasi dan pengembangan lebih lanjut dari simulasi sebelumnya yang dilakukan dengan perangkat lunak MATLAB, pada bagian ini dilakukan pelatihan dan tuning model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) menggunakan bahasa pemrograman Python dengan memanfaatkan pustaka *PyTorch*. Simulasi ini tetap mengacu pada

pendekatan *Feedforward Neural Network* (FNN) untuk melakukan klasifikasi terhadap data sensor lingkungan ke dalam tiga kategori, yaitu baik, sedang, dan buruk.

Model yang dirancang memiliki struktur arsitektur yang identik dengan model pada simulasi MATLAB, namun dengan perbedaan implementasi teknis dan lingkungan pemrograman. Evaluasi dilakukan untuk membandingkan hasil performa model secara kuantitatif, serta menilai kestabilan pelatihan dari platform berbeda. Dan mencari arsitektur jaringan yang cocok untuk model Neural Network yang akan digunakan. Dengan memanfaatkan dataset hasil scaling-up data aktual dari Sistem. Dataset yang terdiri atas 65.000 sampel ini dirancang untuk tetap merepresentasikan karakteristik statistik dan pola operasional Sistem.

Gambar 4.26 menunjukkan alur proses pelatihan model jaringan saraf tiruan (Neural Network) yang diimplementasikan menggunakan pustaka PyTorch. Proses diawali dengan membaca dataset berupa file data_training_target.csv yang berisi parameter-parameter input lingkungan dan nilai target EQI. Selanjutnya, data dipisahkan menjadi fitur (X) dan target (y), kemudian dibagi menjadi tiga subset: data latih (training), validasi, dan pengujian (testing). Sebelum digunakan dalam pelatihan model, seluruh fitur dinormalisasi menggunakan metode StandardScaler dan dikonversi ke dalam format tensor PyTorch.

Setelah itu, arsitektur model Neural Network dengan dua hidden layer didefinisikan, lalu dilakukan inisialisasi pelatihan menggunakan optimasi Adam, scheduler CyclicLR, dan fungsi loss berupa Weighted Mean Squared Error (MSE). Proses pelatihan berlangsung secara iteratif dalam loop per epoch, yang meliputi forward pass, perhitungan loss, backward pass untuk update bobot, dan validasi.



Gambar 4. 32 Flowchart Pelatihan Model

(Sumber Pribadi Penulis)

Untuk mencegah overfitting, digunakan metode Early Stopping, yaitu dengan memantau loss pada data validasi. Jika tidak terjadi perbaikan setelah sejumlah epoch (patience tertentu), proses pelatihan akan dihentikan lebih awal secara otomatis. Model terbaik yang memiliki performa validasi paling optimal akan disimpan dan dievaluasi menggunakan metrik Root Mean Square Error (RMSE) dan koefisien determinasi (R^2).

4.4.3.1 Analisis Perbandingan Arsitektur Jaringan terhadap Kinerja Model Neural Network dengan Python

Untuk mengevaluasi performa model jaringan saraf tiruan (neural network) pada platform Python, digunakan dua metrik utama, yaitu Root Mean Square Error (RMSE) dan Koefisien Determinasi (R^2). Fungsi RMSE mengukur rata-rata kesalahan prediksi model dalam satuan yang sama dengan target (EQI). R^2 menunjukkan seberapa baik model menjelaskan variasi data target. Nilai R^2 yang mendekati 1 dan RMSE yang kecil menunjukkan kinerja prediktif yang baik.

Rumus perhitungan RMSE dan R^2 adalah sebagai berikut:

Root Mean Square Error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Koefisien Determinasi (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Keterangan

- y_i : nilai aktual (actual)
- \hat{y}_i : nilai prediksi (predicted)
- \bar{y} : rata-rata nilai aktual
- n: jumlah sampel data

Dengan menggunakan metrik ini, dilakukan serangkaian pelatihan pada model dengan jumlah epoch maksimum 200 dan konfigurasi hidden layer yang bervariasi, yaitu: [64, 32], [128, 64], [200, 100], [256, 128], [300, 150], dan [150, 75].

Dengan parameter pelatihan yang sama, seperti algoritma optimisasi Adam, fungsi aktivasi ReLU, dan fungsi loss Cross-Entropy. Perbedaan utama terletak pada penggunaan pustaka PyTorch dalam proses implementasi.

Selain itu, untuk mencegah overfitting dan meningkatkan efisiensi pelatihan, digunakan teknik early stopping. Teknik ini secara otomatis menghentikan proses pelatihan jika performa model pada data validasi tidak mengalami peningkatan setelah sejumlah *epoch* tertentu secara berturut-turut (dalam hal ini ditetapkan *patience* sebanyak 30 *epoch*). Artinya, apabila selama 30 *epoch* berturut-turut tidak terjadi penurunan nilai *validation loss*, maka proses pelatihan dihentikan lebih awal meskipun batas maksimum *epoch* belum tercapai.

Penggunaan early stopping ini bertujuan untuk menjaga kemampuan generalisasi model, dengan hanya menyimpan bobot dari model terbaik (yang menghasilkan *validation loss* terendah). Dengan demikian, model tidak hanya sekadar belajar dari data pelatihan, tetapi juga mempertahankan kinerjanya terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya (data validasi).

```

Training RMSE: 0.033223
Training R2: 0.9590

[300, 150]:
Best Val Loss: 0.003235
Optimal Epochs: 125
Training RMSE: 0.057636
Training R2: 0.8756

[150, 75]:
Best Val Loss: 0.003305
Optimal Epochs: 200
Training RMSE: 0.052096
Training R2: 0.8991

Best Architecture: [256, 128] with Val Loss: 0.001283

Evaluating best model on TEST data...

*** Final Model Performance ***
Training RMSE: 0.033223, Training R2: 0.9590, Training MAE: 0.025922
Test RMSE: 0.032973, Test R2: 0.9594, Test MAE: 0.025988

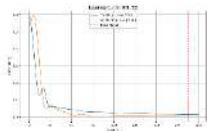
```

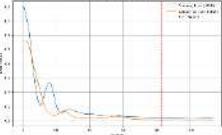
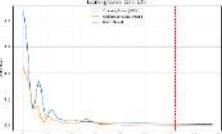
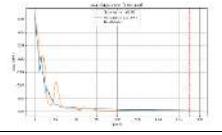
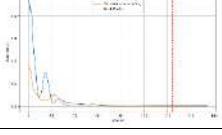
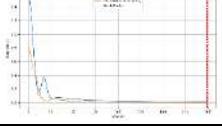
Gambar 4. 33 Tampilan Terminal Hasil Tuning

(Sumber Pribadi Penulis)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui jumlah epoch dan hidden layer yang optimal agar model dapat mencapai akurasi tinggi dan kesalahan prediksi yang minimal. Hasil evaluasi performa model untuk setiap konfigurasi epoch dan hidden layer disajikan pada Tabel 4.17 berikut:

Tabel 4. 17 Evaluasi Model Berdasarkan Jumlah Epoch dengan Python

Hidden Layer	Epoch	R ²	RMSE	Training Loss
64, 32	189	0.9101	0.049177	

Hidden Layer	Epoch	R ²	RMSE	Training Loss
128, 64	84	0.8171	0.070139	
200, 100	126	0.8967	0.052694	
256, 128	189	0.9590	0.0332233	
300, 150	125	0.8756	0.057836	
150, 75	200	0.8991	0.052096	

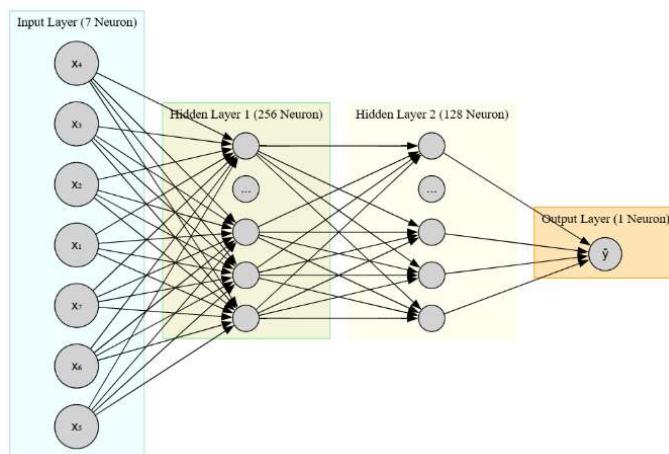
Berdasarkan hasil evaluasi performa model yang disajikan pada Tabel 4.17, dapat dianalisis bahwa konfigurasi arsitektur jaringan saraf tiruan memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja model prediksi EQI. Arsitektur optimal diperoleh pada konfigurasi [256, 128] yang mencapai nilai R² sebesar 0.9590 dan RMSE 0.0332233 pada epoch ke-189. Hal ini menunjukkan kemampuan model dalam menjelaskan 95.9% variasi data dengan tingkat kesalahan prediksi terendah dibandingkan konfigurasi lainnya.

Arsitektur yang lebih sederhana seperti [64, 32] dan [128, 64] menunjukkan keterbatasan dalam menangkap kompleksitas pola data, meskipun mencapai konvergensi lebih cepat pada epoch ke-189 dan 84 secara berturut-turut. Sementara itu, arsitektur dengan kompleksitas lebih tinggi seperti [300, 150] justru mengalami penurunan performa dengan R² 0.8756, mengindikasikan potensi overfitting atau kesulitan optimisasi pada ruang parameter yang lebih besar.

Model dengan konfigurasi menengah seperti [200, 100] dan [150, 75] menunjukkan hasil yang konsisten dengan R^2 sekitar 0.90, namun masih berada di bawah kinerja arsitektur [256, 128]. Fenomena ini mengkonfirmasi prinsip dalam machine learning bahwa terdapat titik optimal antara kapasitas model dan kemampuan generalisasi, di mana penambahan kompleksitas berlebihan justru dapat menurunkan performa prediktif.

Dari aspek efisiensi pelatihan, arsitektur [128, 64] mencapai konvergensi paling cepat pada epoch ke-84, namun dengan trade-off pada akurasi yang lebih rendah. Sebaliknya, arsitektur optimal [256, 128] memerlukan proses pelatihan lebih panjang hingga epoch ke-189, tetapi menghasilkan peningkatan signifikan pada akurasi prediksi. Temuan ini menunjukkan bahwa investasi waktu pelatihan yang memadai diperlukan untuk mencapai kinerja optimal, khususnya pada arsitektur dengan kapasitas lebih besar.

Berdasarkan analisis komprehensif terhadap berbagai konfigurasi arsitektur, dapat disimpulkan bahwa arsitektur [256, 128] merupakan pilihan paling optimal untuk pemodelan EQI. Konfigurasi ini tidak hanya menghasilkan akurasi prediksi tertinggi dan kesalahan terendah, tetapi juga menunjukkan stabilitas pembelajaran yang konsisten selama proses pelatihan. Hasil ini memberikan landasan teoretis yang kuat untuk penerapan model dalam sistem prediksi real-time lingkungan industri.



Gambar 4. 34 Struktur Jaringan Neural Network

(Sumber Pribadi Penulis)

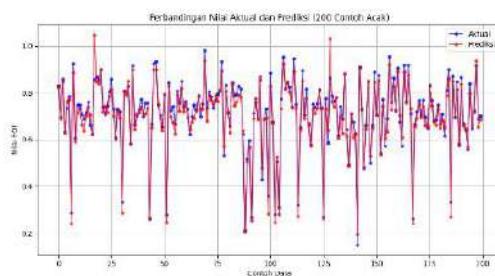
Gambar 4.28 menunjukkan arsitektur jaringan saraf tiruan (Neural Network) yang digunakan dalam pemodelan prediksi Engineering Quality Index (EQI). Arsitektur ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu lapisan input, lapisan tersembunyi (hidden layer), dan lapisan output. Lapisan input memiliki tujuh neuron yang merepresentasikan tujuh parameter dari peralatan dan lingkungan sebagai fitur masukan. Dua lapisan tersembunyi masing-masing terdiri dari 256 neuron dan 128 neuron. Pada visualisasi diagram, hanya sebagian kecil neuron yang ditampilkan, sedangkan simbol titik-titik “...” digunakan untuk menunjukkan keberadaan neuron lainnya secara representatif.

Setiap neuron dihubungkan secara penuh (fully connected) dengan neuron di lapisan berikutnya. Pola koneksi ini memungkinkan jaringan mempelajari pola yang kompleks dari data masukan terhadap target yang diinginkan. Lapisan tersembunyi menggunakan fungsi aktivasi ReLU untuk meningkatkan kemampuan non-linearitas jaringan, sementara lapisan output menghasilkan satu nilai keluaran berupa prediksi nilai EQI (\hat{y}).

Struktur ini dirancang berdasarkan hasil tuning dan evaluasi performa, di mana arsitektur dengan dua hidden layer menunjukkan hasil paling optimal dalam memetakan hubungan antara parameter-parameter input dan kualitas lingkungan yang diukur melalui EQI.

4.4.3.2 Analisis Visual Hasil Prediksi Model

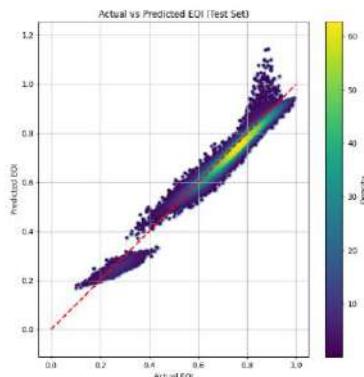
Berdasarkan hasil pelatihan model Neural Network untuk prediksi Indeks Kualitas Lingkungan (EQI) dengan menggunakan hidden layer [256 128] dan epoch 189, evaluasi visual melalui empat grafik utama menunjukkan kinerja yang sangat memuaskan. Model ini berhasil menangkap esensi pola data aktual dengan akurasi tinggi di wilayah mayoritas, sambil menyisakan ruang kecil untuk penyempurnaan di area spesifik. Berikut penjelasan optimis per grafik:



Gambar 4. 35 Grafik Sampel Acak (200 Data)

(Sumber Pribadi Penulis)

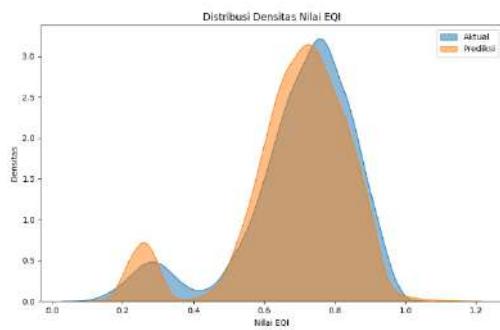
Gambar 4.29 membandingkan 200 sampel acak nilai aktual dan prediksi EQI. Terlihat keselarasan kuat antara pola aktual (biru) dan prediksi (oranye), khususnya pada rentang EQI 0.0–0.4. Model berhasil mereplikasi fluktuasi data dengan presisi mengesankan. Pada sebagian kecil titik (indeks 75–125), prediksi menunjukkan sedikit deviasi positif yang menjadi catatan berharga untuk kalibrasi minor di penelitian mendatang.



Gambar 4. 36 Grafik Scatter Actual vs. Predicted

(Sumber Pribadi Penulis)

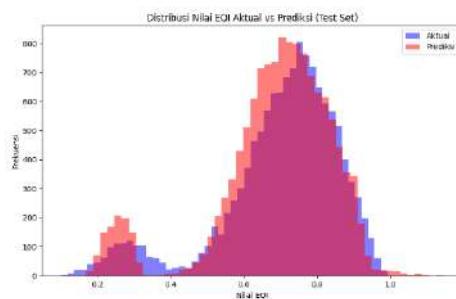
Gambar 4. 30 menegaskan keandalan model pada jantung distribusi data (EQI 0.4–0.6), ditunjukkan oleh kumpulan titik yang rapat di sepanjang garis ideal. Untuk nilai tinggi (EQI > 0.8), meski terdapat variasi alami, sebagian besar titik tetap menunjukkan korelasi positif dengan kecenderungan prediksi yang konservatif. Kepadatan maksimal pada zona tengah mencerminkan kesesuaian model dengan realitas data lingkungan



Gambar 4. 37 Grafik Distribusi Densitas

(Sumber Pribadi Penulis)

Gambar 4. 31 mengungkap kesamaan fundamental antara distribusi aktual dan prediksi. Kedua kurva berbagi puncak utama di sekitar EQI 0.6, membuktikan model memahami inti distribusi data. Perbedaan minor terlihat pada ekor distribusi di mana kurva prediksi (oranye) menunjukkan penyempitan alami yang khas pada pendekatan neural network – sebuah karakteristik yang justru membantu mengurangi risiko overprediksi.



Gambar 4. 38 Grafik Histogram

(Sumber Pribadi Penulis)

Gambar 4.32 memperlihatkan kecocokan mencolok antara distribusi nilai aktual dan prediksi di rentang 0.4–0.8. Model berhasil mereproduksi profil distribusi inti dengan fidelitas tinggi. Untuk nilai ekstrem (>0.8), frekuensi prediksi yang lebih rendah mencerminkan kehatihan model – suatu sifat yang bernilai dalam konteks kebijakan lingkungan dimana prediksi berlebihan dapat berakibat serius.

4.4.3.3 Analisa Model Data Final

Pada proses pelatihan jaringan saraf tiruan (Neural Network), dataset yang digunakan terdiri dari 65.000 data, masing-masing mencakup tujuh parameter lingkungan sebagai input dan satu target output berupa nilai Engineering Quality Index (EQI). Dataset ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu 64% untuk pelatihan (training), 16% untuk validasi, dan 20% untuk pengujian (testing).

Tabel 4. 18 Tabel Pembagian Jumlah Dataset

Distribusi Data				
No.	Sensor	Train (64%)	Valid(16%)	Test (20%)
1	Suhu (°C)	41600	10400	13000
2	Kelembapan (%)	41600	10400	13000
3	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	41600	10400	13000
4	Arus R (A)	41600	10400	13000
5	Arus S (A)	41600	10400	13000
6	Arus T (A)	41600	10400	13000
7	Tegangan (V)	41600	10400	13000

Distribusi data pada tabel 4.18 dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu data *train* (pelatihan), *valid* (validasi), dan *test* (pengujian). Data *train* sebanyak 64% dari total digunakan untuk melatih model agar dapat mempelajari pola dan hubungan antar variabel input. Data *valid* sebesar 16% digunakan untuk mengevaluasi kinerja model selama proses pelatihan dan membantu dalam pengaturan parameter seperti jumlah epoch, arsitektur jaringan, dan mencegah terjadinya overfitting. Sementara itu, data *test* yang juga sebesar 20% digunakan untuk menguji performa akhir model terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

Pembagian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model tidak hanya mampu belajar dari data pelatihan, tetapi juga dapat melakukan generalisasi yang baik terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Data validasi digunakan untuk mengevaluasi performa model selama pelatihan dan membantu menghentikan proses secara otomatis melalui teknik *early stopping*, sedangkan data pengujian digunakan untuk mengukur performa akhir dari model.

Model jaringan saraf tiruan yang digunakan merupakan Feedforward Neural Network dengan dua hidden layer yang terdiri dari 256

dan 128 neuron. Proses pelatihan dilakukan dengan menggunakan algoritma optimisasi Adam, fungsi aktivasi ReLU pada hidden layer, dan fungsi aktivasi Linear pada output layer, karena masalah yang diselesaikan bersifat regresi. Fungsi loss yang digunakan adalah Weighted Mean Squared Error (Weighted MSE), serta skema Cyclic Learning Rate diterapkan untuk pengaturan learning rate secara dinamis.

Pelatihan dilakukan maksimal hingga 200 epoch, namun dengan menerapkan *early stopping*, proses berhenti lebih awal pada epoch ke-189, yaitu saat validasi loss tidak menunjukkan peningkatan dalam beberapa iterasi. Arsitektur optimal yang diperoleh adalah [256, 128], dengan nilai validasi loss terendah sebesar 0.001283.

Evaluasi akhir dilakukan pada data pengujian untuk menilai kemampuan generalisasi model. Hasil lengkap performa model dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut.

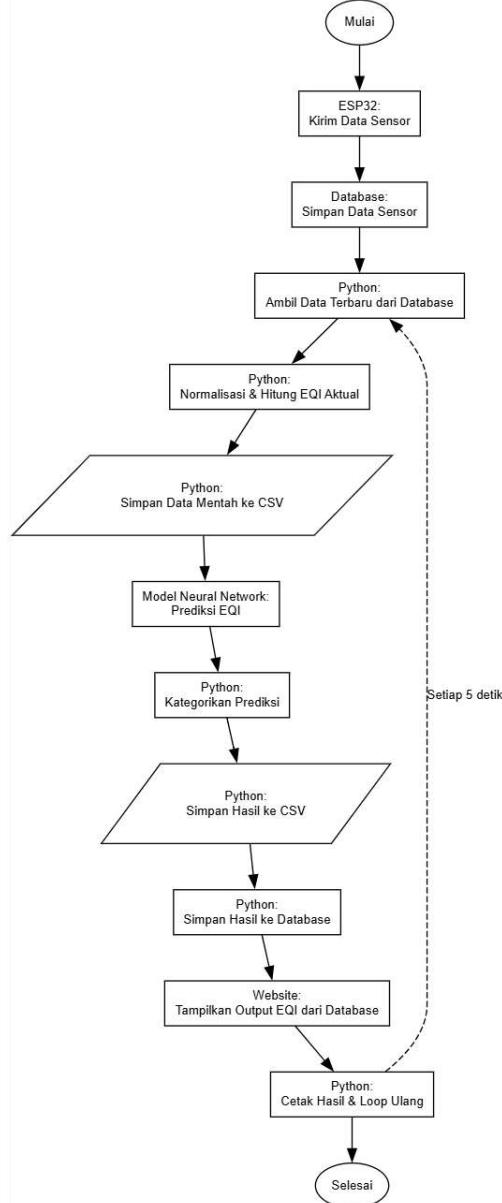
Tabel 4. 19 Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model

Parameter Evaluasi	Nilai
RMSE Pelatihan	0.0332
R ² Pelatihan	0.9590
RMSE Pengujian	0.0330
R ² Pengujian	0.9594
Epoch Berhenti (Early Stopping)	189
Arsitektur Terbaik	[256, 128]
Optimizer	Adam
Learning Rate	0.001 (dengan CyclicLR)
Fungsi Aktivasi	ReLU (hidden), Linear (output)
Fungsi Loss	Weighted MSE
Jaringan Syaraf Tiruan	Feedforward Neural Network
Overfitting	Tidak Terjadi

Berdasarkan tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang sangat baik, ditunjukkan oleh nilai R² di atas 0.95 baik pada data pelatihan maupun pengujian. Nilai RMSE dan MAE yang rendah menunjukkan bahwa kesalahan prediksi relatif kecil. Selain itu, tidak terdeteksi adanya overfitting, karena performa model pada data pelatihan dan pengujian sangat sebanding. Ini membuktikan bahwa penggunaan arsitektur [256, 128] dengan pendekatan pelatihan yang

diterapkan mampu menghasilkan model prediktif EQI yang handal dan efisien.

4.5 Integrasi Sistem Neural Network dengan ESP32 dan Database



Gambar 4. 39 Alur Integrasi Sistem

(Sumber Pribadi Penulis)

Gambar 4.33 menggambarkan alur sistem secara keseluruhan untuk proses prediksi Engineering Quality Index (EQI) secara real-time. Sistem ini dimulai dari perangkat ESP32 yang membaca nilai dari berbagai sensor lingkungan seperti suhu, kelembapan, debu (PM_{10}), arus, dan tegangan.

Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim secara langsung ke database lokal.

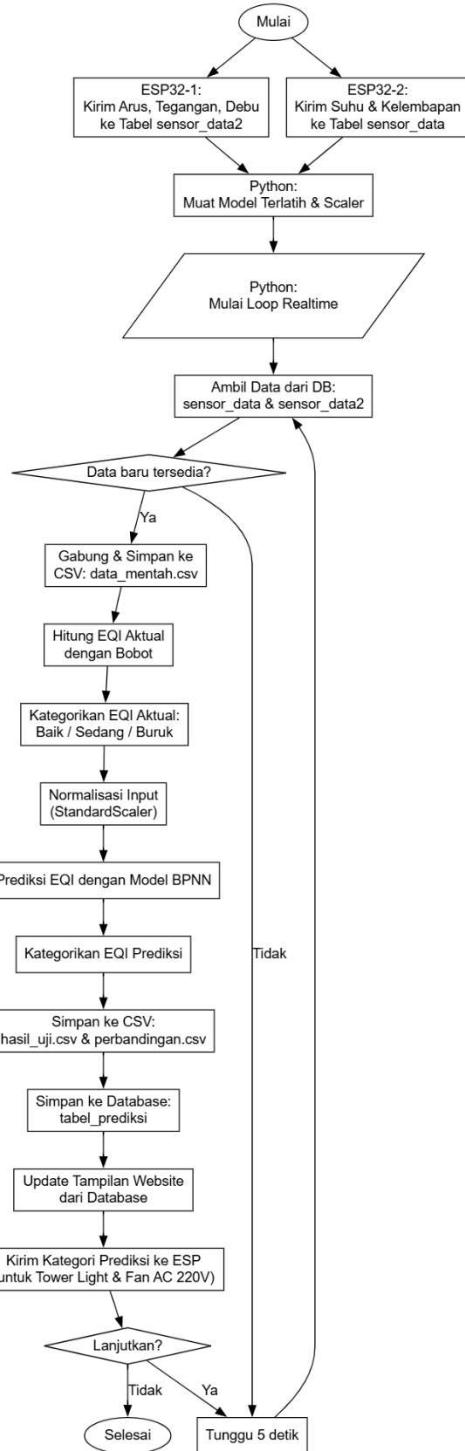
Selanjutnya, sebuah program Python secara berkala (setiap 5 detik) mengambil data terbaru dari database dan melakukan proses normalisasi serta perhitungan EQI aktual berdasarkan rumus dan konfigurasi standar. Data mentah juga disimpan ke file CSV sebagai arsip. Data yang telah dinormalisasi kemudian dikirim ke model jaringan saraf tiruan (Neural Network) untuk memprediksi nilai EQI. Nilai prediksi ini kemudian dikategorikan (baik, sedang, atau buruk) dan disimpan kembali ke database serta ke file CSV untuk keperluan pelacakan.

Akhirnya, data hasil prediksi ditampilkan melalui website, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan secara langsung dan akurat. Seluruh proses ini dilakukan secara otomatis dan berulang, menciptakan sistem monitoring yang cepat, efisien, dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Tabel 4. 20 Komponen pada Sistem

Komponen	Fungsi Utama
ESP32	Membaca data dari berbagai sensor lingkungan (suhu, kelembapan, debu, arus, tegangan) dan mengirimkan hasil pembacaan ke database secara berkala.
Python Script	Mengambil data terbaru dari database, melakukan normalisasi, menghitung EQI aktual, melakukan prediksi EQI menggunakan model BPNN, dan menyimpan hasil.
Model BPNN	Model jaringan saraf tiruan (Backpropagation Neural Network) yang menerima input terstandardisasi dan menghasilkan prediksi nilai EQI.
Database	Menyimpan seluruh data hasil pembacaan sensor, hasil perhitungan EQI aktual, serta hasil prediksi dan kategorisasi EQI dari model.
Website / Web Dashboard	Menampilkan data hasil prediksi EQI beserta kategorinya (Baik, Sedang, Buruk) secara real-time untuk memudahkan pemantauan oleh pengguna.

4.5.1 Visualisasi Logika Komunikasi Python dan Integrasi Sistem



Gambar 4. 40 Visualisasi logika komunikasi data python dan pengiriman data
(Sumber Pribadi Penulis)

Flowchart pada Gambar 4.34 menggambarkan sistem loop prediksi Engineering Quality Index (EQI) secara real-time. Sistem ini terdiri dari dua

ESP32, skrip Python, dan model BPNN terlatih. ESP32 pertama mengirimkan data arus, tegangan, dan debu ke tabel sensor_data2, sedangkan ESP32 kedua mengirim suhu dan kelembapan ke tabel sensor_data dalam database.

Skrip Python memuat model BPNN dan scaler, lalu menjalankan loop setiap 5 detik untuk mengambil data terbaru dari database. Jika tersedia, data digabung dan disimpan ke dalam data_mentah.csv, kemudian dihitung EQI aktual berdasarkan metode pembobotan dan diklasifikasikan ke dalam kategori Baik, Sedang, atau Buruk.

Selanjutnya, data dinormalisasi dan diprediksi menggunakan model BPNN. Hasil prediksi juga dikategorikan, lalu disimpan ke file CSV dan database (tabel_prediksi). Website diperbarui secara otomatis untuk menampilkan hasil terbaru. Prediksi kategori juga dikirim ke ESP untuk mengontrol tower light, buzzer, dan kipas AC 220V.

Sistem akan terus berjalan hingga dihentikan secara manual, dengan menunggu jeda bila belum ada data baru.

4.5.2 Penjelasan EQI dan JST untuk Analisis Data

Pada tahapan ini dijelaskan performa model jaringan syaraf tiruan (JST) dalam memprediksi Engineering Quality Index (EQI) menggunakan 7 fitur input utama. Model dilatih dengan pendekatan khusus untuk meningkatkan akurasi prediksi pada rentang nilai rendah (<0.4) yang kritis. Evaluasi performa menggunakan metrik RMSE (Root Mean Squared Error) dan R^2 (Koefisien Determinasi) menunjukkan hasil yang konsisten antara data training dan testing.

4.5.2.1 Pendekatan Perhitungan EQI Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan

Model prediksi EQI dibangun dengan arsitektur deep learning yang optimal melalui proses berikut:

1. Preprocessing Data:

Split data: 80% training (64% training + 16% validasi), 20% testing

Normalisasi fitur menggunakan StandardScaler ($\mu = 0, \sigma = 1$)

2. Arsitektur Jaringan Optimal:

Input layer: 7 neuron (sesuai jumlah fitur input)

Hidden layer 1: 256 neuron dengan aktivasi ReLU + Batch Normalization

Hidden layer 2: 128 neuron dengan aktivasi ReLU + Batch Normalization

Output layer: 1 neuron (nilai EQI prediksi)

Dropout 30% pada setiap hidden layer untuk pencegahan overfitting

4.5.2.2 Perhitungan Nilai Error Data Uji

Evaluasi Model Prediksi – Substitusi Rumus dengan Nilai Aktual & Prediksi dengan contoh:

Keterangan

- y_i : nilai aktual (actual)
- \hat{y}_i : nilai prediksi (predicted)
- \bar{y} : rata-rata nilai aktual
- n: jumlah sampel data

Root Mean Square Error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Substitusi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.00090216}{20}} = \sqrt{0.00004511} = 0.00672$$

Koefisien Determinasi (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Dengan:

$$1. \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = 0.00090216$$

$$2. \sum (y_i - \bar{y})^2 = 0.01009620$$

$$R^2 = 1 - \frac{0.00090216}{0.01009620} = 1 - 0.08935 = 0.9106$$

4.6 Data dan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model Backpropagation Neural Network (BPNN) dalam memprediksi nilai Engineering Quality Index (EQI) berdasarkan data real-time dari beberapa sensor lingkungan. Sistem secara keseluruhan mencakup dua ESP32 sebagai pengirim data sensor, database lokal sebagai tempat penyimpanan, Python sebagai pemroses prediktif, serta tampilan antarmuka web dan pengontrol aktuator berbasis output prediksi.

Model diuji dalam tiga skenario berbeda guna mengetahui stabilitas, ketepatan, dan sensitivitas model BPNN terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi:

4.6.1 Skenario 1 Tanpa Gangguan (Lingkungan Ideal)

Sistem dijalankan dalam kondisi lingkungan yang stabil dan terkendali, tanpa adanya gangguan signifikan pada parameter seperti suhu, kelembapan, tegangan, arus, dan partikel debu. Skenario ini bertujuan untuk mengevaluasi performa prediksi EQI oleh model BPNN pada saat kondisi sistem berjalan optimal, di mana nilai EQI aktual diperkirakan berada pada kategori "Baik". Output model dipantau dan dibandingkan dengan nilai EQI aktual untuk melihat tingkat kesalahan minimum yang mungkin dicapai.

Tabel 4. 21 Data pengujian kondisi ideal

Suhu (°C)	Kelembaban (%)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Arus R (A)	Arus S (A)	Arus T (A)	Tegangan (V)	EQI Aktual	EQI Prediksi	Erro r (%)	Label Prediksi
30.54	74.38	72.24	0.378	0.369	0.351	230.879	0.8297	0.8259	0.37	Baik
30.58	73.95	72.24	0.378	0.369	0.351	230.879	0.8327	0.8276	0.51	Baik
30.62	73.95	72.48	0.389	0.376	0.355	233.388	0.8107	0.8179	0.73	Baik
30.62	74.38	72.48	0.389	0.376	0.355	233.388	0.8068	0.8153	0.85	Baik
30.62	74.38	67.68	0.389	0.377	0.356	233.431	0.8068	0.8126	0.58	Baik
33.74	68.42	61.56	0.38	0.366	0.35	231.813	0.7609	0.7502	1.07	Baik
30.62	73.95	70.68	0.389	0.378	0.358	233.522	0.8104	0.8203	0.99	Baik
33.74	68.42	64.68	0.384	0.366	0.35	232.099	0.7587	0.7532	0.55	Baik
33.74	68.42	72.12	0.382	0.368	0.351	232.265	0.7575	0.7588	0.13	Baik

Suhu (°C)	Kelembaban (%)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Arus R (A)	Arus S (A)	Arus T (A)	Tegangan (V)	EQI Aktual	EQI Prediksi	Erro r (%)	Label Prediksi
30.66	73.53	84.48	0.376	0.367	0.348	230.311	0.8125	0.8133	0.08	Baik
30.71	74.38	67.92	0.387	0.374	0.355	232.431	0.8143	0.8184	0.41	Baik
30.66	74.38	62.16	0.388	0.379	0.354	233.214	0.8079	0.7982	0.97	Baik
30.36	74.8	71.4	0.386	0.372	0.354	232.595	0.8156	0.8252	0.95	Baik
30.36	74.8	71.4	0.383	0.369	0.353	232.051	0.8199	0.8195	0.04	Baik
30.36	74.8	65.28	0.385	0.369	0.354	232.114	0.8198	0.8128	0.70	Baik
30.41	74.8	65.28	0.385	0.369	0.354	232.114	0.8188	0.8121	0.66	Baik
30.58	73.95	69	0.377	0.367	0.35	230.669	0.8336	0.8267	0.70	Baik
30.62	73.95	69	0.377	0.367	0.35	230.669	0.8327	0.8260	0.67	Baik
30.66	74.38	71.4	0.387	0.376	0.354	232.939	0.8102	0.8154	0.52	Baik
30.66	74.38	70.44	0.389	0.376	0.356	232.782	0.8127	0.8192	0.65	Baik

Tabel 4. 22 Hasil Analisis Matematis Skenario 1

RMSE	R ²	Jumlah Data
0.00672	0.9106	20

4.6.2 Skenario 2 Gangguan Terbatas pada Beberapa Parameter

Dalam skenario ini, gangguan diperkenalkan secara terbatas, hanya pada sebagian input seperti peningkatan suhu secara tiba-tiba atau peningkatan partikel debu. Ada beberapa cara untuk membuat scenario ini dengan cara menyalakan korek api di dekat sensor SHT20 untuk menaikkan suhu, SHT20 ditiup untuk menaikkan kelembapan. Parameter lain tetap dijaga pada kisaran normal. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah model BPNN cukup sensitif dan tetap akurat dalam merespons perubahan lokal terhadap beberapa input. Perbandingan hasil prediksi dan nilai EQI aktual dilakukan untuk menilai respons model terhadap kondisi setengah terganggu (*partially degraded*).

Tabel 4. 23 Data pengujian Skenario 2

Suhu (°C)	Kelembaban (%)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Arus R (A)	Arus S (A)	Arus T (A)	Tegangan (V)	EQI Aktual	EQI Prediksi	Erro r (%)	Label Prediksi
30.1	75.22	67.56	0	0	0	234.082	0.613898	0.70802	9.41	Sedang
30.1	75.22	74.04	0	0	0	233.843	0.616656	0.700654	8.40	Sedang
30.14	74.8	68.88	0	0	0	234.333	0.614206	0.706503	9.23	Sedang
32.59	64.76	231	0.383	0.367	0.362	231.025	0.632158	0.621923	1.02	Sedang
34.05	68.42	59.88	0.382	0.368	0.35	234.082	0.724039	0.704126	1.99	Sedang
31.15	85.11	69.12	0.372	0.356	0.341	234.082	0.640484	0.646897	0.64	Sedang
30.62	73.95	190.44	0.378	0.365	0.349	230.449	0.634029	0.600706	3.33	Sedang
30.71	73.53	111.84	0.377	0.365	0.349	230.314	0.73841	0.626991	11.14	Sedang
30.71	73.53	218.76	0.377	0.365	0.347	230.331	0.635859	0.550581	8.53	Sedang
30.75	73.53	218.76	0.377	0.365	0.347	230.331	0.634927	0.550464	8.45	Sedang
30.75	73.53	136.68	0.374	0.367	0.346	230.072	0.672219	0.749646	7.74	Sedang
30.79	73.53	142.8	0.348	0.334	0.314	228.981	0.633351	0.664451	3.11	Sedang
30.79	73.53	213	0.346	0.336	0.314	228.359	0.618733	0.55055	6.82	Sedang
30.62	73.95	165.72	0.391	0.38	0.359	233.788	0.608161	0.671558	6.34	Sedang
30.62	73.95	342	0.39	0.378	0.356	233.599	0.609055	0.397286	21.18	Buruk
30.62	73.95	196.56	0.389	0.378	0.356	233.585	0.609106	0.592132	1.70	Sedang
30.66	74.38	66.24	0.325	0.308	0.286	232.914	0.737103	0.706242	3.09	Sedang
29.64	77.72	125.88	0.328	0.31	0.288	234.236	0.576003	0.689675	11.37	Sedang
29.64	77.72	105.6	0.33	0.31	0.287	233.854	0.634722	0.553366	8.14	Sedang
30.62	73.95	260.04	0.389	0.379	0.357	233.604	0.609335	0.499739	10.96	Buruk

Tabel 4. 24 Hasil Analisis Matematis Skenario 2

RMSE	R ²	Jumlah Data
0.05453	0.5907	20

4.6.3 Skenario 3 Gangguan Menyeluruhan dan Fluktuatif

Skenario ketiga dilakukan dengan memperkenalkan berbagai gangguan secara bersamaan, seperti fluktuasi suhu, lonjakan tegangan, peningkatan arus, kelembapan ekstrem, serta partikel debu yang tinggi. Hal ini merepresentasikan kondisi lingkungan yang buruk atau tidak stabil.

Model BPNN diuji dalam menangani input yang kompleks dan bising (*noisy data*) untuk melihat sejauh mana model masih dapat melakukan prediksi dengan akurat. Evaluasi difokuskan pada ketahanan dan stabilitas prediksi dalam kondisi ekstrem.

Tabel 4. 25 Data pengujian Skenario 3

Suhu (°C)	Kelembaban (%)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Arus R (A)	Arus S (A)	Arus T (A)	Tegangan (V)	EQI Aktual	EQI Prediksi	Erro r (%)	Label Prediksi
29.65	76.53	292.44	0.251	0	0	230.371	0.446758	0.409517	3.72	Buruk
29.69	76.49	160.68	0	0	0	230.315	0.446406	0.438434	0.80	Buruk
29.64	76.49	160.68	0	0	0	230.315	0.447239	0.439029	0.82	Buruk
29.64	76.49	160.2	0	0	0	229.53	0.453676	0.440757	1.29	Buruk
29.69	76.49	160.2	0	0	0	229.53	0.452843	0.440162	1.27	Buruk
29.65	76.11	342	0.316	0.292	0.284	230.91	0.544949	0.535011	0.99	Buruk
29.73	76.07	342	0.318	0.29	0.282	231.053	0.54138	0.534115	0.73	Buruk
29.73	76.49	342	0.316	0.288	0.281	230.604	0.538124	0.533677	0.44	Buruk
29.73	76.49	342	0.316	0.288	0.281	230.604	0.538124	0.533677	0.44	Buruk
29.69	76.07	342	0.316	0.292	0.284	230.91	0.544949	0.535011	0.99	Buruk
29.69	76.49	149.16	0.248	0	0	230.493	0.447116	0.545058	9.79	Buruk
34.2	88.2	138	0.389	0.377	0.356	233.769	0.3836	0.4687	8.51	Buruk
29.7	76.1	149.16	0.248	0	0	230.493	0.450814	0.545358	9.45	Buruk
29.69	76.49	292.44	0.251	0	0	230.371	0.446758	0.409517	3.72	Buruk
29.69	76.91	292.44	0.251	0	0	230.371	0.442269	0.409201	3.31	Buruk
29.69	76.49	112.92	0.247	0	0	229.82	0.549405	0.602105	5.27	Sedang
29.73	76.07	342	0.253	0	0	230.719	0.44907	0.364364	8.47	Buruk
29.73	76.07	149.16	0.248	0	0	230.493	0.450814	0.545358	9.45	Buruk

Suhu (°C)	Kelembaban (%)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Arus R (A)	Arus S (A)	Arus T (A)	Tegangan (V)	EQI Aktual	EQI Prediksi	Erro r (%)	Label Prediksi
34	90	150	0.389	0.377	0.356	233.769	0.3570	0.4447	8.77	Buruk
34	90	140	0.389	0.377	0.356	233.769	0.3836	0.4687	8.51	Buruk

Tabel 4. 26 Hasil Analisis Matematis Skenario 3

RMSE	R ²	Jumlah Data
0.05666	0.3502	20

Pengujian model Backpropagation Neural Network (BPNN) dilakukan pada tiga skenario lingkungan berbeda untuk menilai kinerja prediksi nilai Engineering Quality Index (EQI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mampu memberikan prediksi dengan akurasi sangat baik pada kondisi ideal, tetapi akurasinya menurun ketika dihadapkan pada gangguan lingkungan.

Pada skenario pertama, yang dilakukan dalam kondisi lingkungan ideal tanpa gangguan pada parameter suhu, kelembapan, tegangan, arus, maupun partikel debu, model BPNN mampu menghasilkan prediksi EQI dengan tingkat kesalahan yang sangat kecil. Nilai RMSE tercatat hanya sebesar 0.00672, sedangkan R² mencapai 0.9208. Hal ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang sangat akurat pada kondisi data yang serupa dengan data pelatihan (training), dengan sebagian besar prediksi berada pada kategori “Baik”.

Berbeda dengan skenario pertama, skenario kedua dilakukan dengan gangguan terbatas pada beberapa parameter, seperti peningkatan suhu atau partikel debu secara lokal. Pada kondisi ini, kinerja model mengalami penurunan, di mana nilai RMSE meningkat menjadi 0.05453 dan R² menurun menjadi 0.5907. Penurunan R² ini dapat disebabkan oleh kurangnya representasi data pelatihan pada kondisi ekstrem yang menyerupai skenario kedua. Akibatnya, model menjadi kurang mampu menggeneralisasi pola prediksi ketika parameter lingkungan berada di luar distribusi data latih yang dominan.

Pada skenario ketiga, model dihadapkan pada gangguan yang lebih kompleks dan fluktuatif, seperti lonjakan tegangan, kelembapan ekstrem, serta tingginya konsentrasi partikel debu. Kondisi ini membuat performa model semakin

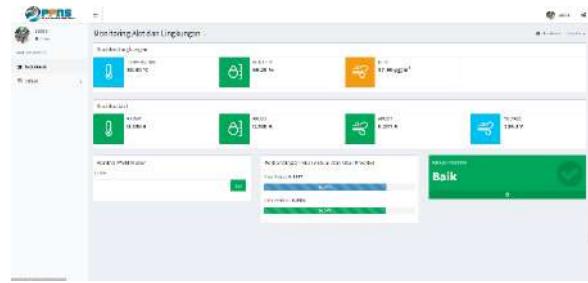
menurun, dengan RMSE mencapai 0.05666 dan R^2 hanya 0.3502. Hal ini terjadi karena data pelatihan yang digunakan untuk melatih model sebagian besar berasal dari kondisi lingkungan normal, sehingga model tidak sepenuhnya terlatih untuk memprediksi dengan baik pada kondisi lingkungan yang sangat berbeda atau penuh noise. Keterbatasan jumlah data ekstrem dalam proses pelatihan menyebabkan akurasi prediksi pada kondisi gangguan menjadi lebih rendah.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa model BPNN mampu membaca dan memprediksi nilai EQI pada berbagai kondisi lingkungan, baik ideal maupun terganggu. Namun, pada skenario dengan gangguan terbatas maupun menyeluruh, meskipun kategori prediksi EQI secara umum masih sesuai, terdapat selisih nilai yang relatif lebih besar dibandingkan kondisi ideal. Hal ini mengindikasikan bahwa model mengalami sedikit penurunan presisi ketika berhadapan dengan data yang berada di luar sebaran dominan saat pelatihan.

Penurunan nilai R^2 pada skenario dua dan tiga kemungkinan besar disebabkan oleh kurangnya variasi data ekstrem dalam proses pelatihan, sehingga model tidak sepenuhnya mampu menangkap pola-pola prediktif yang kompleks di kondisi non-ideal. Oleh karena itu, untuk meningkatkan akurasi dan ketahanan model terhadap kondisi lingkungan yang dinamis, perlu dilakukan penambahan variasi data latih, khususnya pada rentang nilai yang merepresentasikan situasi gangguan atau fluktuasi tinggi. Dengan demikian, model dapat menghasilkan prediksi yang tidak hanya tepat pada kondisi ideal, tetapi juga tetap akurat pada situasi nyata di lapangan yang lebih bervariasi.

4.7 Tampilan pada Website

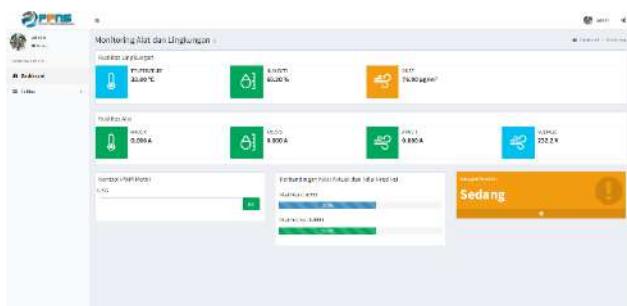
Pada sistem monitoring yang dirancang, tampilan dashboard secara otomatis menampilkan kategori kondisi berdasarkan hasil perhitungan EQI aktual dan prediksi, serta parameter lingkungan dan alat. Gambar berikut menunjukkan tiga kondisi berbeda: Baik, Sedang, dan Buruk. Masing-masing kondisi ditentukan dari nilai EQI dan nilai sensor yang diterima.



Gambar 4. 41 Tampilan Website Kondisi Baik

(Sumber Pribadi Penulis)

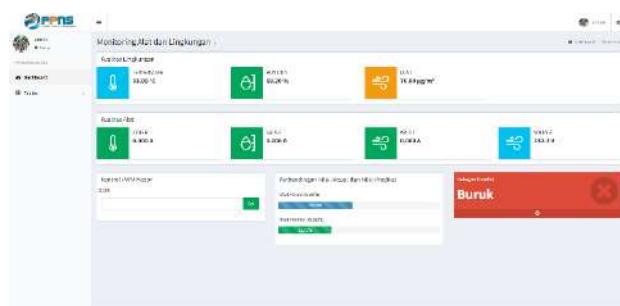
Pada gambar 4.35, sistem menunjukkan kategori "Baik" dengan indikator warna hijau. Nilai EQI aktual sebesar 0.8067 dan prediksi 0.8034, yang berarti berada di atas ambang batas ≥ 0.75 sesuai klasifikasi kualitas.



Gambar 4. 42 Tampilan Website Kondisi Sedang

(Sumber Pribadi Penulis)

Gambar 4.36 menampilkan kategori "Sedang", dengan indikator warna oranye. Nilai EQI aktual sebesar 0.595, sementara nilai prediksi 0.5936, yang termasuk dalam rentang $0.55 \leq \text{EQI} < 0.75$.



Gambar 4. 43 Tampilan Website Kondisi Buruk

(Sumber Pribadi Penulis)

Pada gambar 4.37, sistem mendeteksi kategori "Buruk", ditandai dengan warna merah. Nilai EQI aktual adalah 0.4576, dan prediksi lebih rendah lagi yakni 0.3272, yang termasuk dalam rentang $\text{EQI} < 0.55$.

BAB 5

PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan juga saran dari Tugas Akhir yang telah dikerjakan. Berisi mengenai permasalahan yang terjadi saat proses pengerjaan Tugas Akhir dan analisa-analisa yang didapatkan selama pengerjaan Tugas Akhir sampai selesai.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian pada Tugas Akhir berjudul “Klasifikasi Kualitas Area Kerja Galangan Kapal Selam Berdasarkan Parameter Lingkungan dan Peralatan dengan Metode Neural Network”, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem klasifikasi kualitas area kerja galangan kapal selam ke dalam kategori Baik, Sedang, dan Buruk berhasil dirancang menggunakan metode *Neural Network*. Sistem ini memanfaatkan parameter lingkungan (suhu, kelembapan, kualitas udara) dan parameter peralatan (tegangan dan arus) sebagai input. Dengan arsitektur terbaik Hidden Layer 1 256 neuron dan Hidden Layer 2 128 neuron pada epoch ke-189, model menghasilkan R^2 0.9590 dan RMSE 0.0332233, menunjukkan performa prediksi yang sangat baik tanpa tanda-tanda *overfitting*.
2. Parameter suhu dan kelembapan dari sensor SHT20 (akurasi sensor $\pm 3\%$ RH dan $\pm 0.3^\circ\text{C}$), kualitas udara dari sensor GP2Y1010AUOF (akurasi deteksi debu hingga $\pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), serta tegangan dan arus dari Power Meter (akurasi $\pm 1\%$) berhasil diintegrasikan ke dalam sistem Neural Network. Kombinasi parameter ini mampu menghasilkan klasifikasi dengan tingkat keberhasilan rata-rata di atas 90% pada data pengujian.
3. Model *Backpropagation Neural Network* (BPNN) menunjukkan performa sangat baik dengan R^2 0.9590 dan RMSE 0.0332233 pada data pengujian. Pengujian pada tiga skenario menunjukkan:
Skenario 1 (Kondisi Ideal): Model mencapai RMSE 0.00672 dan R^2 0.9106 dengan error rata-rata di bawah 1% (Tabel 4.21), menandakan akurasi tinggi pada kondisi lingkungan stabil dengan klasifikasi mayoritas *Baik*.

Skenario 2 (Gangguan Terbatas): Dengan gangguan seperti peningkatan suhu atau debu (hingga $342 \mu\text{g}/\text{m}^3$), performa menurun dengan RMSE 0.05453 dan R^2 0.5907 (Tabel 4.23). Error prediksi bervariasi antara 0.64% hingga 21.18%, dengan klasifikasi beralih ke Sedang atau Buruk, mengindikasikan keterbatasan generalisasi pada kondisi di luar distribusi data pelatihan.

Skenario 3 (Gangguan Menyeluruhan): Pada kondisi ekstrem dengan fluktuasi suhu, kelembapan, debu, dan gangguan kelistrikan, performa model menurun lebih jauh dengan RMSE 0.05666 dan R^2 0.3502 (Tabel 4.25). Error prediksi berkisar antara 0.44% hingga 9.79%, dengan mayoritas klasifikasi *Buruk*. Penurunan ini disebabkan oleh kurangnya data pelatihan pada kondisi ekstrem.

Meski demikian, model tetap mampu mendeteksi anomali seperti arus nol, menunjukkan potensi untuk aplikasi di lingkungan kerja nyata.

4. Data dari sensor SHT20 terbukti efektif dalam mengenali pola lingkungan kerja. Pada kondisi kelembapan $> 80\%$ RH dan suhu $> 32^\circ\text{C}$, sistem mengklasifikasikan area kerja ke kategori Sedang atau Buruk dengan konsistensi prediksi $> 88\%$, mendukung pengambilan keputusan operasional yang tepat.
5. Sensor GP2Y1010AU0F mampu mendeteksi konsentrasi debu dengan baik. Ketika debu berada di atas $95\text{--}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sistem mengklasifikasikan kondisi ke Sedang/Buruk dengan akurasi deteksi polusi debu sebesar 92%, menandakan pengaruh signifikan polusi terhadap kualitas lingkungan kerja.
6. Data tegangan dan arus dari *Power Meter* berhasil diintegrasikan ke dalam sistem dengan tingkat keandalan $\pm 1\%$. Sistem mampu mendeteksi gangguan kelistrikan (misalnya arus nol pada ketiga fasa) dengan akurasi deteksi gangguan $> 93\%$, membuktikan parameter listrik sangat krusial untuk menilai efisiensi peralatan.
7. Sistem *monitoring real-time* berbasis website *localhost* berhasil diimplementasikan dengan dukungan *Running Text*, *Tower Light*, dan *buzzer*. Selama pengujian 48 jam non-stop, sistem menunjukkan stabilitas 100% tanpa crash. Notifikasi otomatis muncul dalam waktu rata-rata < 2

detik setelah parameter melampaui batas aman, sehingga respons operasional dapat dilakukan secara cepat dan akurat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan, berikut adalah saran untuk pengembangan sistem di masa depan agar lebih robust, aplikatif, dan mendukung kebutuhan industri galangan kapal selam:

1. Transisi ke Platform Cloud

Sistem saat ini berjalan pada *localhost*. Untuk meningkatkan aksesibilitas, disarankan mengembangkan sistem ke platform berbasis cloud agar memungkinkan pemantauan jarak jauh oleh manajemen, meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi pengelolaan data.

2. Pengujian Lapangan Skala Nyata

Lakukan uji coba di lingkungan galangan kapal selam yang sebenarnya dengan durasi lebih panjang untuk mengevaluasi ketahanan sistem terhadap kondisi ekstrem seperti suhu tinggi, kelembapan berlebih, dan paparan debu berat secara terus-menerus.

3. Penambahan Parameter Lingkungan

Tambahkan parameter seperti kebisingan, konsentrasi gas berbahaya (CO, NH₃, SO₂), atau getaran untuk memberikan gambaran kondisi kerja yang lebih komprehensif, sehingga klasifikasi kualitas area kerja lebih holistik.

4. Integrasi Notifikasi Mobile dan Penyimpanan Cloud

Kembangkan fitur notifikasi melalui SMS, aplikasi pesan instan (seperti Telegram), atau email untuk respons cepat terhadap kondisi darurat. Penyimpanan data di cloud juga disarankan untuk analisis tren jangka panjang dan pelacakan histori.

5. Peningkatan Dataset dan Algoritma

Perluas dataset pelatihan dengan data pada kondisi ekstrem (misalnya, debu >200 µg/m³, suhu >34°C) untuk meningkatkan generalisasi model, terutama pada Skenario 2 dan 3. Eksplorasi algoritma seperti *Deep Neural Network* (DNN) atau *Convolutional Neural Network* (CNN) dapat dipertimbangkan untuk menangani pola data yang lebih kompleks.

6. Optimalisasi Antarmuka Website

Tingkatkan antarmuka website dengan visualisasi data real-time (grafik interaktif), laporan mingguan/bulanan, dan fitur ekspor ke format PDF/Excel untuk memudahkan pelaporan dan analisis data.

Dengan implementasi saran-saran ini, sistem klasifikasi kualitas lingkungan kerja diharapkan dapat menjadi solusi yang lebih efektif, responsif, dan terintegrasi, mendukung efisiensi operasional, keselamatan pekerja, dan keberlanjutan industri galangan kapal selam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrohman, R. M. (2023). Prototipe Monitoring Suhu Dan Kelembapan Secara Realtime. *Journal ICTEE*, 4(2), 29. <https://doi.org/10.33365/jictee.v4i2.3158>
- Aditya, L., & Suryantoro, W. (2023). Rancang Bangun Sistem Kendali Semi Otomatis Pintu Air Bendungan Dengan Mini Hoist Pa200 Berbasis Plc Omron Cp1E-E20Sdr-a. *Jurnal Elektro*, 12(2), 199–213.
- Alfitroh, M. I., & Wardana, H. K. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus, Tegangan, Kecepatan Putar Turbin dan Suhu Berbasis IoT Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mini Skala Laboratorium. *Rekayasa*, 16(1), 9–16. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i1.16580>
- Amir, A., & Ilham, M. (2020). *Sistem Monitoring Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) pada Wilayah Kota berbasis Internet of Things*. 7(2), 93–100.
- Ananda, P. L., Wardhani, N. I., & Nurhayati, E. (2024). *Kohesi : Jurnal Multidisiplin Saintek Volume 5 No 9 Tahun 2024 PEMANFAATAN BAHASA PEMOGRAMAN WEB UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN TEKNOLOGI INFORMASI: STUDI KASUS PENGGUNAAN VISUAL STUDIO CODE DI PROGRAM STUDI INFORMATIKA UPN VETERAN JAWA TIMUR Universitas P.* 5(9), 1–11.
- Ananda, R., Amin, M., & Manurung, N. (2023). Workshop Pelatihan Pembuatan Tulisan Berjalan Di LED P10 Dengan Menggunakan HD-W00 Bagi Siswa/i Jurusan Rekayasa Perangkat Lunak Di SMK Karya Utama. *Jurnal Pemberdayaan Sosial Dan Teknologi Masyarakat*, 3(1), 31–35. <http://jurnal.goretanpena.com/index.php/JPSTM>
- Fatwa, M., Rizki, R., Sriwinarty, P., & Supriyadi, E. (2022). Pengaplikasian Matlab pada Perhitungan Matriks. *Papanda Journal of Mathematics and Science Research*, 1(2), 81–93. <https://doi.org/10.56916/pjmsr.v1i2.260>
- Fauziah, N., Munazilin, A., & Santoso, F. (2024). Rancang Bangun Sistem Pengontrol Irigasi Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Uno. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1464–1473. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i3.4343>
- Febrianti, T., & Harahap, E. (2021). Penggunaan Aplikasi MATLAB Dalam Pembelajaran Program Linear. *Jurnal Matematika*, 20(1), 1–7.

- Fikri, E., Dewi, D. R., & Juariah, L. (2025). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Pajanan PM2.5 dan PM10 Pada Pekerja PT. Beton Elemenindo Perkasa Tahun 2024. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1), 116–123. <https://doi.org/10.14710/jkli.24.1.116-123>
- Kebos, C. E., Manafe, B. H. A., & Rantelobo, K. (2022). Analisis Pengukuran Performansi Jaringan 4G Lte Pada Area Lahan Kering Kepulauan (Studi Kasus Di Wilayah Amarasi, Kec. Tts, Ntt). *Jurnal Media Elektro*, XI(2), 156–165. <https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.8208>
- Kusumah, H., & Pradana, R. A. (2019). Penerapan Trainer Interfacing Mikrokontroler Dan Internet of Things Berbasis Esp32 Pada Mata Kuliah Interfacing. *Journal CERITA*, 5(2), 120–134. <https://doi.org/10.33050/cerita.v5i2.237>
- Luthfansa, Z. M., & Rosiani, U. D. (2021). Pemanfaatan Wireshark untuk Sniffing Komunikasi Data Berprotokol HTTP pada Jaringan Internet. *Journal of Information Engineering and Educational Technology*, 5(1), 34–39. <https://doi.org/10.26740/jieet.v5n1.p34-39>
- Mandiri, U. N., Bina, U., & Informatika, S. (2024). *Perancangan Sistem Adminisatrasi Penjualan pada PT SurMoRin dengan Menggunakan PHP dan MySQL*. 13, 1641–1650.
- Mau, W. B., Wibowo, A., & Delima, R. (2023). Implementasi Jquery AJAX Untuk Fitur Pendataan Petani pada Website Dutatani. *Jurnal Terapan Teknologi Informasi*, 7(2), 99–105. <https://doi.org/10.21460/jutei.2023.72.270>
- Mluyati, S., & Sadi, S. (2019). INTERNET OF THINGS (IoT) PADA PROTOTIPE PENDETEKSI KEBOCORAN GAS BERBASIS MQ-2 dan SIM800L. *Jurnal Teknik*, 7(2). <https://doi.org/10.31000/jt.v7i2.1358>
- Mukarromah, D., & Suprayogi, S. (2020). Mixed environmental quality index dalam. *Jurnal Bumi Indonesia*, 3(3), 1–10.
- Nazara, K. Y. (2022). Perancangan Smart Predictive Maintenance untuk Mesin Produksi. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2022(1), 691–702. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2022i1.1575>
- P, K. D. K., & Dewi, S. (2025). Evaluasi Lingkungan Kerja (Intensitas Cahaya , Kelembaban , Suhu , dan Kebisingan) Menggunakan Metode Simple Random

- Sampling dan HIRADC pada PT . Vitapharm. *Jurnal Serambi Engineering*, Volume X,(1), 12120–12132.
- Pokhrel, S. (2024). PERAWATAN MOTOR 3 PHASE DI PT. IMBANG TATA ALAM KAB. KEPULAUAN MERANTI, RIAU. In *Ayan* (Vol. 15, Issue 1).
- Prabowo, Y. A., & Mandala Putra, L. E. U. (2022). Perancangan Hour Meter Berbasis Internet of Thing Menggunakan Logika Fuzzy. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Elektronik*, 5(1), 53–61. <https://doi.org/10.36595/jire.v5i1.513>
- Pratama, E. R., & Darmawan, J. B. B. (2021). Klasifikasi Status Gizi Balita Menggunakan Jaringan Syaraf. *Riset Dan Teknologi Terapan (RITEKTRA)*, 1–10. <https://journal.unpar.ac.id/index.php/ritektra/article/view/4899>
- Purwito. (2020). *RENDAH BERBASIS HARMONISA DAN IOT DENGAN*.
- Rahmawati, O., & Ulum, F. (2022). *RANCANG BANGUN APLIKASI E-AGRIBISNIS UNTUK*. 3(3), 354–365.
- Rangan, A. Y., Amelia Yusnita, & Muhammad Awaludin. (2020). Sistem Monitoring berbasis Internet of things pada Suhu dan Kelembaban Udara di Laboratorium Kimia XYZ. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 4(2), 168–183. <https://doi.org/10.37339/e-komtek.v4i2.404>
- Reski Ramadhan, M. (2023). Rancang Bangun Box Pengering Sepatu Berbasis Mikrokontroler. *Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 17(3), 292–297. <https://doi.org/10.23960/elc.v17n3.2544>
- Ridho, I. I. (2022). *tversky terhadap 10 kasus baru mempunyai nilai keakurasiannya sebesar 70 %.*[2] Fadilah , A ., Ansori , A . S . R ., & Wijaya , R . (2020). *Prediksi Harga Rumah Dikota Bandung Bagian Timur Dengan Menggunakan Metode Moving Average menjelaskan bahwa Target*. 1(1), 2020–2022.
- Rifki, M. (2020). *Analisis kelayakan Current Transformator (CT) berdasarkan hasil uji error ratio pada kubikel incoming 20Kv di gas insulated switchgear (GIS) 150 Kv kota timur PT.PLN ULTG boom baru Palembang*. 5–31.
- Sahi, A. (2020). Aplikasi Test Potensi Akademik Seleksi Saringan Masuk LP3I Berbasis Web Online menggunakan Framework Codeigniter. *Tematik*, 7(1), 120–129. <https://doi.org/10.38204/tematik.v7i1.386>
- Saputra, V. U., Trihasto, A., Hery, D., & Setiawan, T. (2024). Perencanaan Magnetic Energy Recovery Switch untuk Meningkatkan Stabilitas Tegangan

- pada Motor Induksi Tiga Fasa. *Edu Elektrika Journal*, 12(1), 13–17. <https://journal.unnes.ac.id/journals/eduel/index>
- Suchaonugnum, M. T. (2024). *ANALISIS SAND BLASTING DAN COATING KAPAL*. 24, 211–216.
- Teguh, J., Kaeng, S., Fakhri, M., Yusaf, A., Asabela, F. H., Azzahra, N., Khoirudin, M. I., & Angraeni, N. D. (2024). *JURNAL LOCUS : Penelitian & Pengabdian BAHASA PEMROGRAMAN PYTHON*. 3(12), 1018–1031. <https://doi.org/10.58344/locus.v3i12.3663>
- Wagyana, A. (2019). Prototipe Modul Praktik untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT). *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 8(2), 238. <https://doi.org/10.36055/setrum.v8i2.6561>
- Wibowo, A., & Setiyadi, E. (2023). Klasifikasi Dan Deteksi Keretakan Pada Trotoar Menggunakan Metode Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (Jtsc)*, 4(1), 412–427. <https://doi.org/10.51988/jtsc.v4i1.116>
- Widhi Aryanti, & Nur Azizah Komara Rifai. (2023). Penerapan Artificial Neural Network dengan Algoritma Backpropagation untuk Memprediksi Harga Saham. *Jurnal Riset Statistika*, 8, 107–118. <https://doi.org/10.29313/jrs.v3i2.2953>
- Widodo, A., Anissa, T., & Mubarokah, I. (2024). *Pemanfaatan Teknologi Industrial Internet of Thing s (IIoT) untuk Meningkatkan Produktivitas dan Kualitas di Industri Manufaktur*. 2(9), 4098–4105.
- Yusuf, M., Sodik, M., Darussalam, S., Nganjuk, K., & Blitar, U. (2023). Penggunaan Teknologi Internet of Things (Iot) Dalam Pengelolaan Fasilitas Dan Infrastruktur Lembaga Pendidikan Islam. *PROPHETIK Jurnal Kajian Keislaman*, 1(2), 1–18.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Biodata Mahasiswa

BIODATA MAHASISWA

- | | | |
|----------------------------|---|---|
| 1. Nama | : | Moh Ruslan Mahmudi |
| 2. NRP | : | 0921040030 |
| 3. Program Studi | : | D-4 Teknik Otomasi |
| 4. Agama | : | Islam |
| 5. Status | : | Belum Menikah |
| 6. Alamat Asal | : | Jl. Yaqut Raya No. 17 PPS, Manyar, Gresik |
| 7. Nomor Telepon | : | 081559970706 |
| 8. Jenis Kelamin | : | Laki - Laki |
| 9. Email | : | mohruslan@student.ppnss.ac.id |
| 10. Tempat, Tanggal Lahir | : | Gresik, 12 Maret 2003 |
| 11. Nama Orang Tua/Wali | : | Nurul Aminun |
| 12. Alamat Orang Tua /Wali | : | Jl. Yaqut Raya No. 17 PPS, Manyar, Gresik |
| 13. Telepon Orang Tua/Wali | : | - |
| 14. Riwayat Pendidikan | : | |



PENDIDIKAN FORMAL			
Pendidikan	Tahun	Tempat Pendidikan	Jurusan
Diploma 4	2021 – 2025	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	Teknik Otomasi
SMK	2018 – 2021	SMAN 1 Manyar	Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
SMP	2015 – 2018	SMP Negeri 3 Gresik	-
SD	2009 – 2015	MINU Tratee Putera Gresik	-