



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (AE43250)

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING SUB DISTRIBUTION*
PANEL DAN PREDIKSI DAYA MENGGUNAKAN METODE *LONG*
*SHORT-TERM MEMORY (LSTM)***

Alfianto Taufiqul Malik
NRP. 0921040028

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Eng. MOHAMMAD ABU JAMI'IN, S.T., M.T.
AGUS KHUMAIDI, S.ST., M.T.

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR (AE43250)

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING SUB DISTRIBUTION*
PANEL DAN PREDIKSI DAYA MENGGUNAKAN METODE *LONG*
SHORT-TERM MEMORY (LSTM)**

Alfianto Taufiqul Malik
NRP. 0921040028

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Eng. MOHAMMAD ABU JAMI'IN, S.T., M.T.
AGUS KHUMAIIDI, S.ST., M.T.

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING SUB DISTRIBUTION* *PANEL* DAN PREDIKSI DAYA MENGGUNAKAN METODE *LONG* *SHORT-TERM MEMORY (LSTM)*

Disusun Oleh:
Alfianto Taufiqul Malik
0921040028

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 : 23 Juli 2025
Periode Wisuda : Oktober 2025

Menyetujui,

Dosen Penguji

	NUPTK	Tanda Tangan
1. Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T.	(9948769670130352)	(.....)
2. Dr. Eng. Mohammad Abu Jami'in, S.T., M.T.	(7862753654130072)	(.....)
3. H Munadhif, S.ST., M.T.	(7042769670130383)	(.....)
4. Zindhu Maulana Ahmad Putra S.ST., M.Tr.T.	(7255772673130273)	(.....)

Dosen Pembimbing

	NUPTK	Tanda Tangan
1. Dr. Eng. Mohammad Abu Jami'in, 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)

LEMBAR BEBAS PLAGIAT

 PPNS PENGERTIAN PENYANGKUTAN NUSANTARA	<u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u>	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
--	--	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Alfianto Taufiqul Malik

NRP. : 0921040028

Jurusan/Prodi : Teknik Kelistrikan Kapal/D4 Teknik Otomasi

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING SUB DISTRIBUTION PANEL* DAN
PREDIKSI DAYA MENGGUNAKAN METODE *LONG SHORT-TERM MEMORY*
(LSTM)**

Adalah 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 jawab.

Surabaya, 23 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,




(Alfianto Taufiqul Malik)

NRP. 0921040028

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur yang sedalam-dalamnya, penulis menyampaikan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem *Monitoring Sub Distribution Panel* dan Prediksi Daya Menggunakan Metode *Long Short-Term Memory (LSTM)*”. Tugas Akhir berikut ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi D4 Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Sepanjang proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan ini bukan hanya berkat usaha pribadi, tetapi juga berkat dukungan, arahan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu.

1. Allah SWT, yang sudah memberikan rahmat, karunia, serta pertolongan-Nya yang tak henti-henti sampai penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini hingga tahap akhir.
2. Kedua orang tua serta adik, terima kasih atas doa-doa yang tak pernah pudar, dukungan yang tak tergoyahkan, pengorbanan yang luar biasa, dan cinta yang tulus. Terima kasih karena selalu menyemangati dan menemani dalam perjalanan hingga ke titik ini.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Isa Rachman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Agus Khumaidi, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Otomasi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
6. Bapak Dr. Eng. Mohammad Abu Jami'in, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing satu, yang telah memberikan saran, masukan, dan evaluasi berharga dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

7. Bapak Agus Khumaidi, S.ST., M.T., selaku dosen pembimbing dua yang telah memberikan bimbingan, arahan, waktu, energi, dan pemikiran demi kelancaran dan keberhasilan penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Bapak Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir, atas segala bantuan dan bimbingan selama proses penyusunan dan pelaksanaan Tugas Akhir.
9. Seluruh dosen dan staf pengajar Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, yang telah mendampingi perjalanan akademik penulis selama empat tahun dengan memberikan ilmu, bimbingan, fasilitas, serta bantuan dalam menyelesaikan pendidikan dan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman mahasiswa Teknik Otomasi angkatan 2021, yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan serta bantuan dalam bentuk apa pun selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki beberapa kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat menghargai masukan serta saran yang membangun dari para pembaca, yang dapat penulis gunakan untuk mengevaluasi dan memperbaiki di masa mendatang. Penulis sangat berharap agar karya ini bermanfaat, terutama bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta sebagai referensi untuk penelitian di masa mendatang.

Penulis,

Alfianto Taufiqul Malik

Rancang Bangun Sistem *Monitoring Sub Distribution Panel* dan Prediksi Daya Menggunakan Metode *Long Short-Term Memory* (LSTM)

Alfianto Taufiqul Malik

ABSTRAK

Penggunaan energi listrik telah meningkat dari tahun ke tahun sehingga penggunaan sumber daya alam yakni batu bara juga ikut meningkat. Dalam hal itu pemerintah sudah mencoba berbagai cara untuk menggantikan PLTU yang menggunakan batu bara, sebagai contoh PLTS, PLTA, dan juga PLTB. Dengan begitu dapat mengurangi polusi udara yang disebabkan pembakaran batu bara pada PLTU. Rencana Strategi (RESENTRA) di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yakni bertujuan untuk menjadi kampus hijau (*green campus*) juga sesuai dengan program pemerintah tersebut. Dengan memantau penggunaan energi pada panel listrik dapat menjadi faktor pendukung rencana tersebut. Penelitian ini menciptakan *website* yang dapat memantau dan memprediksi penggunaan daya menggunakan LSTM pada panel SDP (*Sub Distribution Panel*). Dengan menggunakan PLC *Haiwell* sebagai pengendalinya dan juga HMI *Haiwell* yang berfungsi untuk menampilkan data sensor serta memiliki fitur untuk mengirim data penggunaan listrik ke *website*. Penelitian ini menggunakan sensor Power Meter, SHT20, MQ-2 dan GP2Y101AU0F sebagai pendukungnya. Berdasarkan penggunaan metode LSTM pada penelitian ini didapatkan hasil prediksi dengan rata-rata tingkat akurasi sebesar 0.006078% dan selisih rata-rata prediksi dengan nilai asli yaitu 0.000958 kWh selama 7 kali percobaan.

Kata kunci: LSTM, PLC, Power Meter, SHT20, MQ-2

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Design of a Sub Distribution Panel Monitoring System and Power Prediction Using the Long Short-Term Memory (LSTM) Method

Alfianto Taufiqul Malik

ABSTRACT

The use of electrical energy has increased yearly, so the use of natural resources, namely coal, has also increased. In this case, the government has tried various ways to replace coal-fired power plants (PLTU), such as PLTS, PLTA, and PLTB. This can reduce air pollution caused by coal combustion in PLTU. The Strategic Plan (RESENTRA) at the Surabaya State Shipbuilding Polytechnic, which aims to become a green campus, is also following the government program. Monitoring energy usage on the electrical panel can be a supporting factor for the plan. This study created a website that can monitor and predict power usage using LSTM on the SDP (Sub Distribution Panel) panel, by using a Haiwell PLC as the controller, and also a Haiwell HMI, which functions to display sensor data and has a feature to send electricity usage data to the website. This study uses Power Meter, SHT20, MQ-2, and GP2Y101AU0F sensors as its support. Based on the use of the LSTM method in this study, prediction results were obtained with an average accuracy level of 0.006078% and an average difference between the prediction and the original value of 0.000958 kWh during 7 trials.

Keywords: *LSTM, PLC, Power Meter, SHT20, MQ-2*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR PERSAMAAN.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Jurnal Penelitian Terkait	7
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 <i>Sub Distribution Panel</i> (SDP)	10
2.2.2 Daya Listrik	11
2.2.3 <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM).....	12
2.3 <i>Hardware</i> Yang Digunakan	17
2.3.1 PLC (<i>Programmable Logic Controller</i>) Haiwell	17
2.3.2 HMI (<i>Human Machine Interface</i>) Haiwell.....	18

2.3.3	Power Supply 24 Volt.....	19
2.3.4	Power Meter.....	20
2.3.5	Sensor SHT 20.....	21
2.3.6	Sensor MQ-2.....	23
2.3.7	Sensor Debu (GP2Y101AU0F)	23
2.3.8	Kipas DC.....	25
2.3.9	Elemen Pemanas	25
2.3.10	Alarm	26
2.3.11	Lampu Indikator.....	27
2.3.12	MCB.....	27
2.4	<i>Software Yang Digunakan</i>	28
2.4.1	<i>Haiwell Happy</i>	28
2.4.2	<i>Haiwell Cloud Scada</i>	29
2.4.3	Visual Studio Code	30
2.4.4	<i>Database My SQL</i>	31
2.5	Standar Acuan Parameter	31
BAB 3 METODE PENELITIAN		33
3.1	Tahap Identifikasi Awal	34
3.1.1	Identifikasi Masalah.....	34
3.1.2	Penetapan Tujuan dan Rumusan Manfaat Penelitian.....	35
3.2	Studi Literatur.....	35
3.3	Analisa Kebutuhan Sistem	35
3.4	Desain dan Perancangan Sistem.....	37
3.4.1	Diagram Blok Sistem.....	37
3.4.2	<i>Flowchart</i> Sistem.....	38
3.5	Perancangan <i>Hardware, Software</i> , dan Mekanik.....	40

3.5.1	Perancangan <i>Hardware</i>	41
3.5.2	Perancangan <i>Software</i>	41
3.5.3	Perancangan Mekanik	42
3.6	Implementasi dan Pengujian	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Tampilan Panel	45
4.2	Pengujian Power Meter	48
4.3	Pengujian HMI	55
4.4	Pengujian Sensor SHT20	56
4.5	Pengujian Sensor MQ-2	70
4.6	Pengujian Sensor Debu (GP2Y1010AU0F)	74
4.7	Pengujian Kipas Pemanas	80
4.8	Pengujian Kipas Pendingin	83
4.9	Pengujian Alarm	85
4.10	Pengujian Metode LSTM	88
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		105
5.1	Kesimpulan	105
5.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA		107
LAMPIRAN PROGRAM LSTM		111
BIODATA MAHASISWA		119

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi PLC Haiwell tipe AC12MOR	18
Tabel 2.2 Spesifikasi HMI Haiwell tipe B7H-W	19
Tabel 2.3 Spesifikasi Power Meter	21
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor SHT20.....	22
Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor MQ-2	23
Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor Debu	24
Tabel 3.1 Komponen Sistem	36
Tabel 4.1 Hasil Pembacaan Tegangan Power Meter	52
Tabel 4.2 Hasil Pembacaan Arus Power Meter	53
Tabel 4.3 Hasil Pembacaan Daya Power Meter	54
Tabel 4.4 Datasheet SHT20	59
Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Suhu.	62
Tabel 4.6 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Kelembapan	66
Tabel 4.7 Hasil Pembacaan Sensor MQ-2	74
Tabel 4.8 Hasil Pembacaan Sensor Debu	80
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Metode LSTM.	97
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Metode LSTM.	97

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perancangan Elektronika (Sahar et al., 2024)	9
Gambar 2.2 Sub Distribution Panel (Dokumentasi Pribadi)	11
Gambar 2.3 Arsitektur LSTM (Fikriaziz et al., 2024)	13
Gambar 2.4 Grafik metode LSTM (www.mathworks.com)	16
Gambar 2.5 PLC Haiwell tipe AC12MOR (www.haiwell.com)	17
Gambar 2.6 HMI Haiwell tipe B7H-W (www.haiwell.com)	18
Gambar 2.7 Power Supplay 24VDC (www.ete.co.uk)	20
Gambar 2.8 Power Meter (www.se.com)	21
Gambar 2.9 Sensor SHT20 (www.id.gnscomponent.com)	22
Gambar 2.10 sensor MQ-2 (Nuryadin et al., 2024)	23
Gambar 2.11 Sensor Debu GP2Y1010AU0F (www.id.gnscomponent.com)	24
Gambar 2.12 Kipas 24VDC (www.orbit.co.id)	25
Gambar 2.13 Elemen Pemanas (www. id.top-heaterchina.com)	26
Gambar 2.14 Alarm (www. atstekno.com)	26
Gambar 2.15 Lampu Indikator (www. atstekno.com)	27
Gambar 2.16 MCB (www.siplahtelkom.com)	28
Gambar 2.17 Haiwell Happy (www.haiwell.com)	29
Gambar 2.18 Haiwell Cloud Scada (www.haiwell.com)	30
Gambar 2.19 Visual Studio Code (www. code.visualstudio.com)	30
Gambar 2.20 Database My SQL (www. tecnicas.com)	31
Gambar 3.1 Diagram Alur (Dokumentasi Pribadi)	33
Gambar 3.2 Diagram Sistem (Dokumentasi Pribadi)	38
Gambar 3.3 Flowchart Sistem (Dokumentasi Pribadi)	39
Gambar 3.4 Perancangan <i>Hardware</i> (Dokumentasi Pribadi)	41
Gambar 3.5 Rencana Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)	42
Gambar 3.6 Desain Panel (Dokumentasi Pribadi)	43
Gambar 4.1 Tampilan Dalam Panel (Dokumentasi Pribadi)	45
Gambar 4.2 Tampilan Depan Panel (Dokumentasi Pribadi)	46
Gambar 4.3 Tampilan Dalam Panel Utama (Dokumentasi Pribadi)	46
Gambar 4.4 Kondisi Wiring Panel Utama (Dokumentasi Pribadi)	47

Gambar 4.5 Lokasi Pemasangan Panel (Dokumentasi Pribadi)	47
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Power Meter (Dokumentasi Pribadi).....	48
Gambar 4.7 Wiring Diagram Power Meter (Dokumentasi Pribadi).....	49
Gambar 4.8 Tampilan Pembacaan Power Meter HMI (Dokumentasi Pribadi).....	49
Gambar 4.9 Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)	50
Gambar 4.10 Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)	50
Gambar 4.11 Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)	51
Gambar 4.12 Pengujian Tegangan (Dokumentasi Pribadi)	51
Gambar 4.13 Pengujian Arus (Dokumentasi Pribadi)	52
Gambar 4.14 Pengujian Daya (Dokumentasi Pribadi)	54
Gambar 4.15 Tampilan Pertama HMI (Dokumentasi Pribadi).....	55
Gambar 4.16 Tampilan Kedua HMI (Dokumentasi Pribadi)	56
Gambar 4.17 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 (Dokumentasi Pribadi).....	57
Gambar 4.18 Tampilan Pengaturan Program PLC modbus (Dokumentasi Pribadi)	57
Gambar 4.19 Program Pengaturan Komunikasi Modbus (Dokumentasi Pribadi)	58
Gambar 4.20 Datasheet SHT20 (datasheet sht20 modbus register number).....	59
Gambar 4.21 Program PLC SHT20 (Dokumentasi Pribadi)	60
Gambar 4.22 Wiring Diagram Sensor SHT20 (Dokumentasi Pribadi)	60
Gambar 4.23 Letak Sensor SHT20 (Dokumentasi Pribadi)	61
Gambar 4.24 Program PLC MQ-2 (Dokumentasi Pribadi).....	70
Gambar 4.25 Program Compare Sensor MQ-2 (Dokumentasi Pribadi).....	70
Gambar 4.26 Wiring Diagram Sensor MQ-2 (Dokumentasi Pribadi).....	71
Gambar 4.27 Wiring PLC Sinyal Analog (Manual Book)	72
Gambar 4.28 Datasheet MQ-2 (Datasheet Sensor Gas MQ-2)	72
Gambar 4.29 Skematik Sensor MQ-2 (Datasheet Sensor Gas MQ-2)	73
Gambar 4.30 Letak Sensor MQ-2 (Dokumentasi Pribadi)	73
Gambar 4.31 Pengujian Sensor MQ-2 (Dokumentasi Pribadi)	74
Gambar 4.32 Program Sensor Debu (Dokumentasi Pribadi)	75
Gambar 4.33 Program Compare Sensor Debu (Dokumentasi Pribadi).....	75
Gambar 4.34 Datasheet Sensor Debu (Datasheet GP2Y1010AU0F).....	76
Gambar 4.35 Wiring Diagram Sensor Debu (Dokumentasi Pribadi).....	76

Gambar 4.36 Schematic Diagram Optocoupler (Dokumentasi Pribadi).....	77
Gambar 4.37 Schematic Diagram Sensor Debu (Datasheet GP2Y1010AU0F) ..	77
Gambar 4.38 Datasheet IC PC817 (Datasheet PC817).....	78
Gambar 4.39 Letak Sensor Debu (Dokumentasi Pribadi).....	78
Gambar 4.40 Percobaan Sensor Debu di Dalam Panel (Dokumentasi Pribadi) ...	79
Gambar 4.41 Percobaan Sensor Debu di Luar Panel (Dokumentasi Pribadi).....	79
Gambar 4.42 Percobaan Sensor Debu Dengan Partikel Debu (Dokumentasi Pribadi)	79
Gambar 4.43 Program PLC Kipas Pemanas (Dokumentasi Pribadi).....	81
Gambar 4.44 Hasil Pengujian Kipas Pemanas (Dokumentasi Pribadi)	81
Gambar 4.45 Wiring Diagram Kipas Pemanas (Dokumentasi Pribadi)	82
Gambar 4.46 Rangkaian Digital Output PLC (Manual Book).....	82
Gambar 4.47 Letak Kipas Pemanas (Dokumentasi Pribadi).....	83
Gambar 4.48 Program PLC Kipas Pendingin (Dokumentasi Pribadi).....	83
Gambar 4.49 Hasil Pengujian Kipas Pendingin (Dokumentasi Pribadi)	84
Gambar 4.50 Wiring Diagram Kipas Pendingin (Dokumentasi Pribadi)	85
Gambar 4.51 Lokasi Kipas Pendingin (Dokumentasi Pribadi).....	85
Gambar 4.52 Program PLC Alarm (Dokumentasi Pribadi).....	86
Gambar 4.53 Hasil Alarm Untuk Debu (Dokumentasi Pribadi)	86
Gambar 4.54 Hasil Alarm Untuk Gas (Dokumentasi Pribadi)	87
Gambar 4.55 Wiring Diagram Alarm (Dokumentasi Pribadi).....	87
Gambar 4.56 Tampilan Alarm Saat Menyala (Dokumentasi Pribadi).....	88
Gambar 4.57 Tabel Penggunaan Daya (https://bit.ly/Tabel_Penelitian_0921040028)	89
Gambar 4.58 Program LSTM Tanggal 1 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi).....	90
Gambar 4.59 Grafik LSTM Tanggal 1 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)	90
Gambar 4.60 Program LSTM Tanggal 2 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi).....	91
Gambar 4.61 Grafik LSTM Tanggal 2 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)	91
Gambar 4.62 Program LSTM Tanggal 3 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi).....	92
Gambar 4.63 Grafik LSTM Tanggal 3 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)	92
Gambar 4.64 Program LSTM Tanggal 4 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi).....	93
Gambar 4.65 Grafik LSTM Tanggal 4 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)	93

Gambar 4.66 Program LSTM Tanggal 5 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)	94
Gambar 4.67 Grafik LSTM Tanggal 5 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi).....	94
Gambar 4.68 Program LSTM Tanggal 6 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)	95
Gambar 4.69 Grafik LSTM Tanggal 6 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi).....	95
Gambar 4.70 Program LSTM Tanggal 7 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)	96
Gambar 4.71 Grafik LSTM Tanggal 7 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi).....	96
Gambar 4.72 Program HMI (Dokumentasi Pribadi)	98
Gambar 4.73 Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)	99
Gambar 4.74 Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)	99

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Daya Aktif.....	11
Persamaan 2.2 Daya Reakti	12
Persamaan 2.3 Daya Semu.....	12
Persamaan 2.4 Matriks Forget Gate	13
Persamaan 2.5 Matriks <i>Input Gate</i>	14
Persamaan 2.6 Matriks Candidate Memory	14
Persamaan 2.7 Matriks Memory Cell.....	15
Persamaan 2.8 Matriks Outpur Gate	15
Persamaan 2.9 Matriks Hidden State	16
Persamaan 4.1 Proses Prediksi Pertama.....	100
Persamaan 4.2 Proses Prediksi Kedua	101
Persamaan 4.3 Proses Prediksi Ketiga	102

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu isu paling mendesak dalam beberapa tahun terakhir adalah meningkatnya penggunaan energi listrik, yang sejalan dengan kemajuan peradaban manusia. Tidak terkecuali di Indonesia beberapa upaya telah dilakukan seperti menciptakan pembangkit listrik lain seperti PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), dan juga PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin) sebagai pengganti batu bara sebagai bahan pembangkit listrik dengan begitu emisi gas karbon yang berasal dari PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) akan berkurang. Pada tahun 2023, ESDM atau biasa dikenal Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menyebutkan bahwa batu bara masih menyumbang sebagian besar bauran energi primer Indonesia untuk pembangkit listrik, dengan 67,21% pada tahun 2022. (Putri, 2023). Akibatnya, polusi udara di Indonesia meningkat, karena sebagian besar energi dihasilkan dari batu bara yang kaya karbon. Proses ini melibatkan penggerak turbin raksasa menggunakan uap yang dihasilkan dari pemanasan air di dalam tungku. Selama tahap pemanasan, batu bara dibakar, melepaskan karbon dioksida ke atmosfer. CO₂ ini mencemari atmosfer dan berkontribusi terhadap pemanasan global.

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), penggunaan energi listrik mencapai 1.285 kWh/kapita di tahun 2023, naik 9,53% dari 1.173 kWh/kapita selama pada tahun 2022, sehingga diperkirakan mencapai 1.408 kWh/kapita pada tahun 2024. (ESDM, 2024). Berdasarkan data tersebut bisa dipastikan penggunaan energi listrik pada tahun ini juga meningkat. Dengan besarnya penggunaan energi listrik maka perlu dilakukan pengaturan dan pembatasan penggunaan energi listrik. Pengaturan dan pembatasan tersebut bisa mulai dilakukan dengan memantau penggunaan daya pada panel-panel distribusi.

Pada saat pembangkitan energi listrik yang dilakukan oleh pembangkit listrik (seperti PLTU, PLTA, PLTB, PLTS atau pembangkit listrik lainnya), energi tersebut diubah menjadi energi listrik melalui generator. Setelah listrik dihasilkan,

tegangan listrik itu biasanya rendah dan tidak cocok sebagai distribusi untuk jarak jauh, sehingga listrik tersebut diteruskan ke gardu induk atau *substation*, di mana proses yang terjadi adalah tegangan listrik dinaikkan menggunakan transformator. Proses ini disebut peningkatan tegangan (*step-up*). Tujuannya agar listrik yang didistribusikan dalam jarak jauh dengan efisiensi tinggi, karena tegangan tinggi mengurangi kerugian daya. Listrik dengan tegangan tinggi kemudian diteruskan melalui saluran transmisi berupa jaringan kabel udara yang panjang dan menjangkau wilayah luas. Tegangan tinggi ini memungkinkan listrik dapat dikirim dengan efisien melalui jarak jauh tanpa banyak kehilangan energi. Setelah sampai di dekat area yang akan didistribusikan, listrik memasuki gardu induk kecil atau *substation*, di mana tegangan akan diturunkan kembali melalui transformator *step-down*. Proses penurunan tegangan ini diperlukan agar listrik bisa digunakan dengan aman di rumah tangga, industri, dan gedung lainnya.

Di sepanjang jaringan distribusi, terdapat meteran listrik yang digunakan untuk mengukur penggunaan listrik. Meter ini mengirimkan informasi mengenai jumlah konsumsi listrik, yang kemudian digunakan oleh perusahaan listrik untuk penagihan. Dalam kehidupan sehari-hari, teknisi listrik sering kali mengukur atau mengumpulkan data besaran menggunakan alat ukur pada meteran. Di Indonesia, panel kontrol di Gardu Induk PLN (GI) umumnya masih tradisional, sehingga memerlukan pengawasan, pengendalian, dan pengoperasian oleh beberapa operator. Pemantauan yang dilakukan oleh operator atau teknisi lain biasanya dikerjakan menggunakan alat ukur sederhana dan melakukan pencatatan manual, dan tidak jarang teknisi dalam proses tersebut mendapatkan hasil pengukuran dengan membuka panel; namun, hal ini cukup berisiko karena data yang diperoleh tidak dapat diperoleh secara langsung (*real-time*).

Dalam proses distribusi energi listrik ke SDP (*Sub Distribution Panel*), diperlukan pendekatan yang terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan. SDP adalah komponen vital dalam distribusi energi listrik dari pembangkit hingga ke konsumen akhir. Pentingnya menjaga kestabilan dan keandalan SDP diperkuat dengan perlunya manajemen beban cerdas, *monitoring real-time*, serta perangkat otomatisasi yang dapat mendeteksi juga menangani gangguan dengan cepat. Peningkatan penggunaan teknologi digital dan Sistem

Informasi Geografis (GIS) juga berkontribusi terhadap manajemen SDP yang lebih baik. Selain itu, integrasi teknologi *smart grid* yang menggunakan sensor pintar, kontrol otomatis, dan analisis data dapat membantu mengoptimalkan aliran energi, mengurangi kehilangan daya, serta merespons dengan cepat terhadap fluktuasi beban juga masalah pada jaringan listrik. Dalam konteks ini, menciptakan SDP efisien, terkelola dengan baik, dan adaptif menjadi langkah strategis untuk memastikan penyaluran energi listrik yang optimal.

Selain itu, pelaksanaan pemeliharaan rutin pada panel *Sub Distribution Panel* (SDP) merupakan hal penting untuk mencegah kerusakan yang dapat menyebabkan terjadinya pemadaman listrik. Salah satu penyebab terjadinya pemadaman listrik tersebut disebabkan tingginya suhu dan kelembapan yang ada di dalam panel. Suhu normal pada panel yang cocok, tidak lebih dari 40⁰C sedangkan selama 24 jam, suhu dalam panel tidak boleh terus lebih dari 35⁰C. Begitu juga dengan kelembapan, kondisi yang normal pada panel selama 24 jam tidak lebih dari 95% sedangkan selama waktu satu bulan rata-rata kelembapan tidak boleh lebih dari 90% (Nugraha *et al*, 2022). Tidak hanya itu, kondisi lainnya di dalam panel yang juga sama penting, seperti memberikan peringatan berupa alarm tentang ketebalan debu dan juga peringatan mengenai korsleting listrik akibat kabel terbakar atau penyebab lainnya. Pemeliharaan terjadwal dapat memperpanjang usia pakai peralatan, mengidentifikasi komponen yang perlu diganti, dan mengurangi risiko terjadinya gangguan tiba-tiba. Kesadaran akan pentingnya pemantauan dan pemeliharaan perlu ditingkatkan tidak hanya pada sepanjang jalur distribusi listrik tetapi di seluruh instansi untuk membangun lingkungan yang lebih berkelanjutan dan dapat diandalkan dalam menyediakan pasokan energi listrik bagi kebutuhan. Dengan begitu tujuan peningkatan bisa dimulai pada SDP di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Sesuai dengan Rencana Strategis (RENSTRA) Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya tahun 2015-2034 mempunyai target agar kampus PPNS menjadi kampus hijau atau *green campus* sebagai Rujukan Nasional Produk Ramah Lingkungan Penunjang Teknologi Perkapalan dan Kemaritiman. Penerapan pemantauan penggunaan listrik pada panel distribusi kampus PPNS dapat membantu terwujudnya Rencana Strategis (RENSTRA). Dalam rangka

mengembangkan panel *monitoring* distribusi listrik yang dapat memantau dan memprediksi penggunaan listrik di Politeknik Pelayaran Negeri Surabaya, maka dilakukan penelitian ini. Panel tersebut menggunakan beberapa sensor untuk mendukung penelitian yang dilakukan. Pertama sensor SHT20 berfungsi sebagai pendeteksi nilai suhu dan kelembapan. Kedua ada sensor MQ-2 yang berfungsi sebagai alat yang mendeteksi adanya asap apabila terjadinya korsleting listrik. Ketiga ada sensor Debu yang berfungsi untuk mendeteksi ketebalan debu di dalam panel. Kemudian ada juga sensor Power meter yang berfungsi untuk mendeteksi Arus, Tegangan, serta Daya yang sedang digunakan. Semua data yang diambil sensor Power Meter tersebut dikirim ke *database mysql* dan juga dapat dilihat pada HMI yang ada di panel. Dengan menggunakan PLC *Haiwell* sebagai pengontrolnya untuk mengolah data sensor tersebut, sehingga dapat membuat kipas, elemen pemanas serta alarm bekerja secara otomatis.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan di atas, rumusan masalah yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang sebuah sub distribusi panel agar dapat memantau serta memprediksi penggunaan arus, tegangan, dan daya pada sebuah gedung di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya?
2. Bagaimana rancangan sistem kerja agar sensor SHT20 pada panel agar dapat mendeteksi suhu dan kelembapan, sehingga dapat mengaktifkan kipas serta elemen pemanas secara otomatis?
3. Bagaimana rancangan sistem kerja agar sensor Debu dapat mendeteksi ketebalan debu di dalam panel, kemudian memberikan peringatan berupa alarm?
4. Bagaimana rancangan sistem kerja agar sensor MQ-2 dapat mendeteksi asap di dalam panel, kemudian memberikan peringatan berupa alarm?

5. Bagaimana cara merancang sebuah *website* agar data yang dikirim dari panel serta prediksi penggunaan daya dapat dipantau oleh pengguna secara *real-time*?
6. Bagaimana cara merancang sebuah program PLC agar dapat memproses sistem kerja sensor?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui serta memprediksi penggunaan daya yang dihasilkan pada gedung Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya secara *real-time*.
2. Mampu mengoptimalkan sistem kerja pada PLC *Haiwell* agar data yang dipantau dapat ditampilkan pada sebuah HMI.
3. Mampu mengoptimalkan sensor SHT20 agar kipas dan elemen pemanas pada panel dapat berfungsi secara otomatis.
4. Mampu mengoptimalkan sensor MQ-2 agar alarm pada panel dapat berfungsi secara otomatis.
5. Mampu mengoptimalkan sensor Debu agar alarm pada panel dapat berfungsi secara otomatis.
6. Mampu mengoptimalkan HMI *Haiwell* agar dapat mengirimkan data penggunaan daya ke sebuah *website*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mempermudah *monitoring* dan memprediksi penggunaan daya yang dihasilkan di gedung Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Membantu memantau kondisi di dalam panel yaitu suhu dan kelembapan yang dideteksi oleh sensor SHT20, sehingga

pendingin serta pemanas di dalam panel dapat berfungsi secara otomatis.

3. Membantu memantau kondisi asap di dalam panel yang dideteksi oleh sensor MQ-2, sehingga dapat memberikan peringatan berupa alarm.
4. Membantu memantau kondisi debu di dalam panel yang dideteksi oleh sensor Debu, sehingga dapat memberikan peringatan berupa alarm.
5. Membantu mengetahui penggunaan daya listrik yang berlebih.
6. Dapat digunakan sebagai masukan inovasi untuk perkembangan *monitoring* penggunaan daya pada panel-panel distribusi lainnya.

1.5 Batasan Masalah

Supaya ruang lingkup permasalahan pada penelitian ini tidak semakin melebar, sehingga perlu adanya beberapa batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. *Monitoring* data yang dihasilkan dalam tugas akhir ini fokus pada *website*.
2. *Monitoring* dapat diakses ketika HMI *Haiwell* terhubung dengan koneksi internet.
3. Sistem *monitoring* dapat diakses ketika terdapat daya listrik yang ada pada *Sub Distribution Panel* (SDP).
4. Penelitian ini fokus pada kondisi di dalam satu SDP (*Sub Distribution Panel*) saja pada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Metode LSTM yang digunakan penelitian ini fokus pada implementasinya di *website* sebagai fitur saja dengan persentase MSE tidak lebih dari 5%.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jurnal Penelitian Terkait

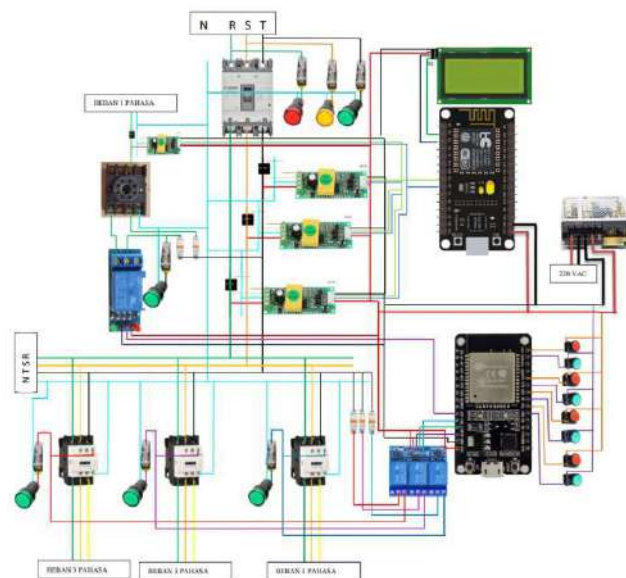
Berikut ini adalah jurnal penelitian yang berkaitan dengan tugas akhir ini yang mana dilakukan oleh berbagai peneliti:

Pada jurnal pertama, penelitian yang dilakukan oleh Agus Khumaidi, Muhammad Khoirul Hasin, Anggarjuna Puncak Pujiputra, Sholahuddin Muhammad Irsyad, Noorman Rinanto, Isa Rachman, Perdinan Setia Budi, Alfianto Taufiqul Malik, Nurissabiqoh Binta Bayu dengan judul “Prediksi Komsumsi Daya Listrik Pada Panel Listrik Menggunakan Metode *Neural Network*”. Pada penelitian ini mereka mengembangkan teknologi *monitoring* dan prediksi daya energi listrik pada panel distribusi SDP (*Sub Distribution Panel*) di gedung bertingkat menggunakan metode *Neural Network*. Prinsip kerja pada penelitian ini adalah dengan memantau data nilai dari hasil pembacaan Arus, Tegangan, dan juga Daya menggunakan sensor PM2100 di kirim ke aplikasi android memakai ESP32 sebagai *microcontroller* memanfaatkan teknologi IOT (*Internet Of Think*) dalam perantaranya. Analisis prediksi daya berdasarkan metode Jaringan Saraf Tiruan (*Neural Network*), dengan data hasil dari *monitoring*, diuji berdasarkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) yang mana semakin kecil nilai persentase *error* data hasil prediksi, dibandingkan kondisi nyata maka semakin akurat data tersebut (Khumaidi *et al*, 2024). Keakuratan data nilai Daya yang diterapkan pada panel distribusi di gedung bertingkat diprediksi dengan metode *Neural Network* sangat tinggi, dengan nilai *error* sebesar 3.5264e-06 menjadi keunggulan penelitian ini. Tidak hanya itu penelitian berikut bertujuan memantau data dari Arus, Tegangan, dan Daya secara *real-time* pada aplikasi android. Tetapi data hasil *monitoring* hanya sebatas pada aplikasi android, sehingga operator tidak bisa mengakses data tersebut melalui media lainnya seperti komputer, laptop ataupun pengguna perangkat lain dengan jenama Apple. Namun penelitian ini dapat memberikan sumbangan penting dalam pengembangan metode *Neural Network* seperti menggunakan metode *Long Short-Term Memory* sebagai metode prediksi Daya yang digunakan.

Pada jurnal kedua, penelitian yang dilakukan oleh Dedi Suhendro, Dinda Rizki Batu Bara dengan judul “PREDIKSI BEBAN TRAFO PADA PT PLN (PERSERO) UP3 SUMATERA UTARA MENGGUNAKAN ALGORITMA BACKPROPAGATION” membahas tentang prediksi beban pada trafo tiap penggunaan dalam satu bulan menggunakan algoritma *backpropagation*. Hasil akhir dari penelitian ini adalah membandingkan data aktual dengan prediksi, dan menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) untuk pengujian. Berdasarkan kesimpulan pada penelitian tersebut, menyatakan bahwa dalam mengantisipasi beban transformator daya, metode *backpropagation* cukup efektif. Metode pelatihan dan pengujian ini dapat menghasilkan pemilihan model arsitektur terbaik, yaitu 4-15-1-1 dengan tingkat akurasi 63,63%, *epoch* 3478, *MSE Testing* 0,0039047, dan *MSE Training* 0,0009999. Penelitian tersebut bertujuan untuk menjaga trafo distribusi sehingga dapat memberikan pelayanan prima kepada konsumen PT PLN (Persero) UP3 Pematang Siantar supaya alat yang digunakan berhasil dan dapat diandalkan kontinuitasnya (Suhendro & Bara, 2024). Dalam penelitian yang dilakukan tersebut algoritma *backpropagation* dapat dijadikan sebagai bahan untuk pengembangan dalam memprediksi menggunakan metode *Neural Network*.

Kemudian pada jurnal ketiga, dalam penelitian yang dilakukan oleh Moch Bayu Aji Pamungkas, dan Denny Irawan dengan judul “*Monitoring and Control System for Temperature, Humidity, and Air Quality in LVMDP Panel Rooms to Improve the Reliability of LVMDP Panel Components Using Fuzzy Logic*”. Pada penelitian ini mereka menciptakan teknologi yang dapat mengatur suhu, kelembapan, serta kualitas udara yang ada di dalam panel distribusi dan data bisa dipantau secara *real-time* melalui *website*. Dengan menggunakan sensor DHT 11 berfungsi mendeteksi suhu dan kelembapan serta MQ-135 sebagai deteksi kualitas udara yang ada di dalam panel. Penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic* untuk mengatur kipas yang berfungsi menurunkan suhu di dalam panel distribusi (Pamungkas & Irawan, 2024). Penerapan metode *fuzzy logic* pada *microcontroller* esp32 menjadi poin penting kelebihan dari penelitian ini. Selain itu kelebihan yang lainnya terdapat pada hasil *monitoring* ditampilkan pada *website* sehingga pengguna dapat memantau nilai pembacaan sensor secara *real-time*.

Berikutnya pada jurnal ke empat dengan judul penelitian “Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan *Monitoring* Beban 1 dan 3 Fasa Pada Panel Distribusi Berbasis Internet of Things” yang diteliti oleh Muzni Sahar, Yoga Pangestu Hidayah, Arif Gunawan dan Hendri Novia Syamsir. Pada penelitian tersebut mereka menciptakan alat *monitoring* panel listrik tiga Fasa menggunakan dua *microcontroller* yaitu *NodeMCU*. *Microcontroller* pertama digunakan untuk *monitoring* tegangan dan arus dengan menggunakan sensor PZEM-004T, sedangkan *microcontroller* kedua berfungsi sebagai kontrol otomatis atau manual yang terhubung dengan *push button* sebagai *input* dan *relay* sebagai *output*. Hasil *monitoring* dan kontrol otomatis ditampilkan pada aplikasi *blynk*, selain itu data tersebut juga ditampilkan pada layar LCD yang ada di panel. Pada penelitian ini menggunakan 4 *output*, 3 *output* terhubung dengan MCB 3 Fasa. *Output* pertama dan kedua dihubungkan dengan motor 3 Fasa, kemudian *output* ketiga disambungkan ke kipas angin, monitor, *charger* laptop yang diletakan di masing-masing Fasa, terakhir *output* keempat difungsikan untuk menyalakan 2 buah lampu ayam. Berikut gambar 2.1 rancangan rangkaian penelitian tersebut (Sahar *et al.*, 2024)



Gambar 2.1 Perancangan Elektronika (Sahar *et al.*, 2024)

Selanjutnya pada jurnal kelima, penelitian yang dilakukan oleh Leonardy Fery Scorpionius, Yakub dengan judul “PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI ASAP OTOMATIS BERBASIS ARDUINO R3 DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC MAMDANI”. Penelitian ini mengembangkan teknologi yang dapat mendeteksi asap menggunakan sensor MQ-2 dan *Arduino R3* sebagai *microcontrollernya*. *Output* dari teknologi ini berupa bunyi alarm dan juga sinyal yang dikirim ke telegram menggunakan *NodeMCU ESP8266*. Tidak hanya itu nilai dari kadar asap juga ditampilkan pada layar LCD. Penelitian ini menggunakan metode *fuzzy* untuk mengontrol *output* dengan cara mendeteksi kadar asap, jika kadar asap kurang dari 200 ppm (*Part Per Million*) hanya *buzzer* saja yang berbunyi, sedangkan apabila kadar asap lebih dari 800 ppm maka ESP8266 akan memberikan sinyal ke telegram. Sistem ini memungkinkan penyampaian informasi kepada masyarakat dengan cepat dan mudah tentang polusi asap, yang sangat penting dalam meningkatkan kesadaran akan risiko terkait polusi udara. (Scorpionius & Yakub, 2024). Kekurangan dari penelitian ini terletak pada jarak deteksi asap rokok yang dibaca sensor, yaitu jika jarak lebih dari 40 cm sensor tidak dapat mendeteksi adanya asap.

2.2 Dasar Teori

Berdasarkan penelitian tugas akhir ini, diperlukan dasar teori yang mendukung topik permasalahan yang diambil. Berikut ini adalah dasar teori yang digunakan dalam pembuatan sistem.

2.2.1 Sub Distribution Panel (SDP)

Sub Distribution Panel (SDP) merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai pengaturan arus dan tegangan yang masuk ke dalam setiap ruang atau bangunan. Dengan menyalurkan energi listrik dari LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*) ke panel SDP untuk mendistribusikan tegangan 1 Fasa (220) atau tegangan 3 Fasa (380) (Firdauz & Latifa, 2023). *Sub Distribution Panel* (SDP) sangat penting di dalam proses penyaluran listrik yang ada di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya untuk keberlangsungan kegiatan pembelajaran di dalam ruangan

dan juga berperan penting dalam menyalakan berbagai alat elektronik. Berikut merupakan Gambar 2.2 contoh dari *Sub Distribution Panel* (SDP).



Gambar 2.2 *Sub Distribution Panel* (Dokumentasi Pribadi)

2.2.2 Daya Listrik

Daya listrik merupakan laju hantaran energi listrik dalam suatu rangkaian listrik, yakni jumlah energi yang dihasilkan atau diserap per satuan waktu. Satuan internasional pada satuan daya listrik adalah W (Watt) yang menunjukkan besarnya usaha pada sumber tegangan yang berfungsi mengalirkan arus listrik tiap satuan waktu J/s (Joule/detik).

Berdasarkan rumus matematis, daya listrik aktif pada tegangan AC (P) dapat dihitung dengan Persamaan 2.1 berikut ini:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.1)$$

di mana:

P adalah daya aktif yang benar-benar digunakan atau dikonversi menjadi energi dalam satuan watt (W).

V adalah tegangan listrik yaitu gaya dorong yang menyebabkan elektron bergerak dalam suatu rangkaian listrik dalam satuan volt (V).

I adalah arus listrik yaitu laju aliran muatan listrik dalam satuan ampere (A).

$\cos \varphi$ atau faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dan daya semu nilainya antara 0 sampai 1.

Selain itu, rumus daya listrik untuk daya reaktif dihitung berdasarkan Persamaan 2.2 berikut:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.2)$$

di mana:

Q adalah daya yang digunakan oleh medan magnet dan tidak dikonsumsi, satuannya VAR (Volt-Ampere Reaktif).

$\sin \varphi$ adalah nilai sinus dari sudut pergeseran fase antara tegangan dan arus dalam suatu rangkaian.

Selanjutnya rumus daya listrik untuk daya semu dihitung berdasarkan Persamaan 2.3 berikut:

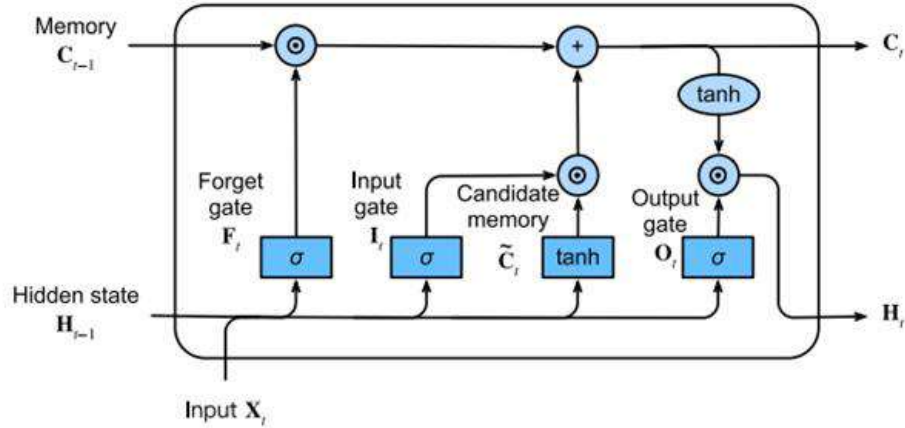
$$S = V \times I \quad (2.3)$$

di mana:

S adalah gabungan dari daya aktif dan daya reaktif, satuannya VA (Volt-Ampere).

2.2.3 Long Short-Term Memory (LSTM)

LSTM adalah jenis *Recurrent Neural Network* (RNN) yang bertujuan untuk mengatasi masalah *vanishing* dan *exploding gradient* pada RNN. *Vanishing gradient* yaitu gradien dari fungsi kehilangan (*Loss Function*) menjadi sangat kecil saat disebarkan ke lapisan-lapisan awal akibatnya Model gagal mempelajari hubungan jangka panjang dan Informasi penting dari waktu yang lama juga terlupakan. Sedangkan *exploding gradient* yaitu gradien yang menjadi sangat besar dan menyebabkan pembaruan bobot menjadi tidak stabil atau “meledak”. Ini menyebabkan. LSTM sendiri terdiri dari *memory cell*, *candidate memory cell*, dan *gate* LSTM. *Gate* LSTM berisi *forget gate*, *input gate*, dan *output gate*. *Forget gate* beroperasi sebagai penentuan *input* sel LSTM pada *time step* saat ini, bertujuan untuk disimpan atau dimusnahkan. Sementara itu fungsi *input gate* menentukan seberapa besar nilainya *input* yang harus dimasukkan ke dalam sel memori. Sedangkan untuk *output gate* berfungsi sebagai penentuan nilai sel yang akan digunakan untuk menghitung hasil dari *output* (Fikriaziz *et al*, 2024). Berikut adalah Gambar 2.3 dari arsitektur LSTM.



Gambar 2.3 Arsitektur LSTM (Fikriaziz *et al.*, 2024)

Hidden state dari sel sebelumnya serta *input* sekarang yang diterima oleh *forget gate* akan diproses untuk menentukan informasi, kemudian disimpan dalam *memory cell*. Pengolahan ini dilakukan dengan menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid*. Selanjutnya, *hidden state* dari sel sebelumnya dan *input* sekarang akan diterima oleh *input gate* dan *candidate memory cell*, bertujuan untuk memperbaharui informasi serta menyimpannya dalam *memory cell*. Fungsi aktivasi yang digunakan dalam proses ini adalah *sigmoid* dan *tanh*. Semua proses tersebut dapat digambarkan melalui persamaan berikut ini:

$$F_t = \sigma(X_t W_{xf} + H_{t-1} W_{hf} + B_f) \quad (2.4)$$

dengan:

$F_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *forget gate* pada time step t .

σ : fungsi aktivasi *sigmoid*.

$X_t \in \mathbb{R}^{n \times d}$: matriks *input* pada time step t .

$W_{xf} \in \mathbb{R}^{d \times p}$: matriks bobot yang menghubungkan *input node* (x) dengan *forget gate* (f) pada *time step* t .

$H_{t-1} \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *hidden state* pada time step $t - 1$.

$W_{hf} \in \mathbb{R}^{p \times p}$: matriks bobot yang menghubungkan *hidden node* (h) pada *time step* $t - 1$ dengan *forget gate* (f) pada *time step* t .

$B_f \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks parameter *bias* pada *forget gate time step* t dan $B_f = [b_{ij}]$ dengan $b_{ij} = [b_{kj}]$ untuk setiap i, k = 1,2, ... , n dan j = 1,2, ... , p.

$$I_t = \sigma(X_t W_{xu} + H_{t-1} W_{hu} + B_u) \quad (2.5)$$

dengan:

$I_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *input gate* pada *time step* t.

σ : fungsi aktivasi *sigmoid*.

$X_t \in \mathbb{R}^{n \times d}$: matriks *input* pada *time step* t.

$W_{xu} \in \mathbb{R}^{d \times p}$: matriks bobot yang menghubungkan *input node* (x) dengan *input gate* (u) pada *time step* t.

$H_{t-1} \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *hidden state* pada *time step* t – 1.

$W_{hu} \in \mathbb{R}^{p \times p}$: matriks bobot yang menghubungkan *hidden node* (h) pada *time step* t – 1 dengan *input gate* (u) pada *time step* t.

$B_u \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks parameter *bias* pada *input gate time step* t dan $B_u = [b_{ij}]$ dengan $b_{ij} = [b_{kj}]$ untuk setiap i, k = 1,2, ... , n dan j = 1,2, ... , p.

$$\tilde{C}_t = \tanh(X_t W_{xc} + H_{t-1} W_{hc} + B_c) \quad (2.6)$$

dengan:

$\tilde{C}_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *candidate memory* pada *time step* t.

σ : fungsi aktivasi *tanh*.

$X_t \in \mathbb{R}^{n \times d}$: matriks *input* pada *time step* t.

$W_{xc} \in \mathbb{R}^{d \times p}$: matriks bobot yang menghubungkan *input node* (x) dengan *candidate memory cell* (c) pada *time step* t.

$H_{t-1} \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *hidden state* pada *time step* t – 1.

$W_{hc} \in \mathbb{R}^{p \times p}$: matriks bobot yang menghubungkan *hidden node* (h) pada *time step* t – 1 dengan *candidate memory cell* (c) pada *time step* t.

$B_c \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks parameter bias pada *candidate memory cell* (c) pada *time step* t dan $B_c = [b_{ij}]$ dengan $b_{ij} = [b_{kj}]$ untuk setiap i, k = 1,2, ... , n dan j = 1,2, ... , p.

Dengan semua informasi dari rumus di atas, hasil yang diperoleh tersebut digabungkan dengan menggunakan *hadamard product* dan penjumlahan. Nilai dari sel sebelumnya yaitu *Output gate*, *hidden state* serta *input* sekarang diolah menggunakan fungsi *sigmoid*. *Memory cell* yang baru kemudian diproses melalui fungsi *tanh*. Hasil dari proses tersebut akan dikalikan dengan hasil dari fungsi *sigmoid* untuk mendapatkan informasi yang akan disimpan pada *hidden state* yang baru. *Hidden state* dan *memory cell* yang baru kemudian akan diteruskan ke sel selanjutnya. Berikut persamaan dari proses di atas:

$$C_t = F_t \odot C_{t-1} + I_t \odot \tilde{C}_t \quad (2.7)$$

dengan:

$C_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *memory cell* pada *time step* t.

$F_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *forget gate* pada *time step* t.

\odot : operasi *Hadamard product*.

$I_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *input gate* pada *time step* t.

$\tilde{C}_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *candidate memory cell* pada *time step* t.

$$O_t = \sigma(X_t W_{xo} + H_{t-1} W_{ho} + B_o) \quad (2.8)$$

dengan:

$O_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *output gate* pada *time step* t.

σ : fungsi aktivasi *sigmoid*.

$X_t \in \mathbb{R}^{n \times d}$: matriks *input* pada *time step* t.

$W_{xo} \in \mathbb{R}^{d \times p}$: matriks bobot yang menghubungkan *input node* (x) dengan *output gate* (o) pada *time step* t.

$H_{t-1} \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *hidden state* pada *time step* t – 1.

$W_{ho} \in \mathbb{R}^{p \times p}$: matriks bobot yang menghubungkan *hidden node* (h) pada *time step* t – 1 dengan *output gate* (u) pada *time step* t.

$B_o \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks parameter bias pada *input gate time step* t dan $B_u = [b_{ij}]$ dengan $b_{ij} = [b_{kj}]$ untuk setiap i, k = 1,2, ... , n dan j = 1,2, ... , p.

$$H_t = O_t \odot \tanh(C_t) \quad (2.9)$$

dengan:

$H_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *hidden state* pada *time step* t.

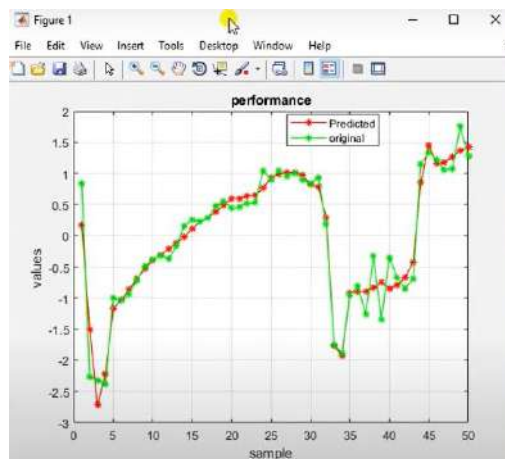
$O_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *output gate* pada *time step* t.

\odot : operasi *Hadamard product*.

\tanh : fungsi aktivasi *tanh*.

$C_t \in \mathbb{R}^{n \times p}$: matriks *memory cell* pada *time step* t.

Berikut ini disajikan contoh grafik yang menampilkan hasil pemodelan prediksi berdasarkan metode Long Short-Term Memory (LSTM) yang diimplementasikan melalui perangkat lunak MATLAB. Grafik tersebut dihasilkan dari data *dummy* yang digunakan sebagai simulasi untuk menguji kemampuan model LSTM dalam memprediksi pola data sequential. Visualisasi ini memberikan gambaran mengenai performa model dalam mempelajari tren historis dan memproyeksikan nilai prediksi ke depan. Grafik tersebut juga menjadi dasar evaluasi awal terhadap akurasi dan kestabilan model sebelum diterapkan pada data aktual.



Gambar 2.4 Grafik metode LSTM (www.mathworks.com)

2.3 Hardware Yang Digunakan

Pada sub bab berikut dalam penelitian ini terdapat beberapa *hardware* yang diperlukan di antaranya sebagai berikut:

2.3.1 PLC (*Programmable Logic Controller*) Haiwell

Programmable Logic Controller (PLC) adalah perangkat elektronik digital yang dapat diprogram untuk mengendalikan proses otomatisasi di industri, seperti lini perakitan, mesin, dan perangkat robotika. PLC dirancang untuk menggantikan sistem kontrol berbasis *relay* yang kompleks, sehingga meningkatkan fleksibilitas, keandalan, dan kemudahan pemrograman dalam proses industri. PLC bekerja dengan menggunakan *ladder* diagram saat membuat suatu sistem otomatis (Irawan *et al*, 2023). PLC dengan merek Haiwell yang dikembangkan oleh *Xiamen Haiwell Technology* memiliki beberapa fitur komunikasi untuk memprogram di antaranya menggunakan komunikasi *ethernet* memanfaatkan kabel LAN, ada juga *port* serial yaitu RS232/RS485 sehingga PLC ini cocok untuk digunakan sebagai controller pada penelitian ini. Berikut Gambar 2.5 dari PLC *Haiwell* yang akan digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.5 PLC *Haiwell* tipe AC12MOR (www.haiwell.com)

Di bawah ini merupakan Tabel 2.1 spesifikasi dari PLC *Haiwell* dengan tipe AC12MOR yang digunakan untuk penelitian.

Tabel 2.1 Spesifikasi PLC *Haiwell* tipe AC12MOR

Model	AC12MOR	
Spesifikasi	DI	6
	DO	6 Relay
	AI	2
	AO	2
	COM Port	TCP+485
	Power	<3.6W
	Exp.	3
Dimensi	40x95x65	

Sumber: haiwell.com

2.3.2 HMI (*Human Machine Interface*) *Haiwell*

Dalam hal pengendalian, HMI memberikan pengguna atau operator kemampuan untuk memantau dan mengelola sistem secara efektif. Pemantauan *real-time*, analisis data, dan reaksi cepat terhadap perubahan keadaan dimungkinkan oleh variabel tampilan visual. Selain itu, HMI dapat diatur untuk menampilkan data penting dengan cara yang paling sesuai dengan kebutuhan pengguna. Selain menampilkan data, HMI sering kali dilengkapi dengan kemampuan interaktif yang memungkinkan pengguna berkomunikasi dengan sistem secara langsung. Hal ini dapat melibatkan perubahan mode pengoperasian, penyesuaian parameter, atau bahkan proses debug langsung melalui antarmuka (Sulistiawati *et al*, 2023). Di bawah ini merupakan Gambar 2.6, HMI yang akan dipakai dalam penelitian ini.



Gambar 2.6 HMI *Haiwell* tipe B7H-W (www.haiwell.com)

Sama halnya dengan perangkat PLC yang telah dibahas sebelumnya, *Human Machine Interface* (HMI) yang digunakan dalam sistem ini juga merupakan produk yang dikembangkan oleh perusahaan *Xiamen Haiwell Technology*, yang dikenal sebagai salah satu produsen perangkat industri otomasi yang cukup kompeten. HMI ini dirancang untuk mendukung integrasi dengan sistem kendali dan memberikan kemudahan dalam visualisasi serta interaksi antara pengguna dan mesin, tidak hanya itu HMI ini juga terdapat fitur WIFI sehingga data yang ada pada HMI dapat dikirim ke *database* melalui koneksi internet sehingga HMI *Haiwell* dengan tipe B7H-W cocok untuk mengirim data. Adapun spesifikasi teknis dari perangkat HMI yang dimaksud dapat dilihat secara langsung pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Spesifikasi HMI *Haiwell* tipe B7H-W

Model	B7H-W	
Spesifikasi	TFT Screen	7" 1024*600 HD
	Storage	4GB + 512M
	LAN+COM	1+2
	USB	2
	Voice	Yes
	WiFi	Yes
	Cutout Size	193×139mm Chamfer: (R3.5mm)
Dimensi	200×146×37mm	

Sumber: haiwell.com

2.3.3 Power Supply 24 Volt

Catu daya (Power Supply) merupakan gadget atau komponen elektronik praktis yang berfungsi sebagai sumber listrik untuk perangkat. Fungsi utamanya sebagai perubahan arus listrik dari sumber utama berubah bentuk, tegangan, dan arus berdasarkan dengan kebutuhan perangkat elektronik yang dilayaninya. Pada dasarnya, Power Supply bukan sekedar alat yang menghasilkan listrik, melainkan ada juga yang dapat menghasilkan energi mekanik dan jenis energi lainnya. Mengenai Power Supply yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *Switch Mode Power Supply* (SMPS). SMPS adalah jenis Power Supply yang langsung mengarahkan (*Rectify*) dan menyaring tegangan *input* 220 Volt arus bolak balik

(AC) untuk mendapatkan tegangan *output* 24 Volt arus searah (DC) (Akbar *et al*, 2023). Pada penelitian ini menggunakan Power Supply dengan model DR-60-24 dengan *output* tegangan 24VDC, digunakan untuk *supply* tegangan pada perangkat seperti HMI dan PLC. Berikut ini merupakan Gambar 2.7 yang merupakan PSU 24VDC model DR-60-24.



Gambar 2.7 Power *Supplay* 24VDC (www.ete.co.uk)

2.3.4 Power Meter

Power Meter adalah perangkat pengukur energi listrik yang digunakan sebagai pemantau dan menganalisis penggunaan energi listrik. Perangkat ini mampu membaca bermacam-macam parameter listrik, seperti arus, tegangan, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya, sehingga memberikan informasi komprehensif mengenai energi listrik. Power Meter ini menawarkan pengukuran tiga fase yang komprehensif dan fasilitas manajemen beban dalam bentuk yang kompak dan tangguh. Fitur-fiturnya meliputi layar LED dengan navigasi intuitif menggunakan tiga tombol, tampilan tiga baris nilai secara bersamaan, dan indikator parameter yang ditampilkan. Selain itu, meter ini memenuhi standar akurasi Kelas 1 atau Kelas 0.5S, memastikan kualitas dan keandalan tinggi dalam aplikasi pemantauan energi dan manajemen biaya (Budi, 2024). Gambar 2.8 merupakan bentuk dari Power Meter.



Gambar 2.8 Power Meter (www.se.com)

Pada Tabel 2.3 menunjukkan spesifikasi serta fitur yang ada pada sensor Power Meter.

Tabel 2.3 Spesifikasi Power Meter

Parameter	Akurasi	Range
<i>Current, Phase</i>	$\pm 0.5\%$	
<i>Voltage L-N</i>	$\pm 0.5\%$	
<i>Power Factor</i>	$\pm 0.01 \text{ count}$	0.5 inductive to 0.8 capacitive
<i>Active power</i>	$\pm 1\%$	
<i>Apparent power</i>		
<i>Reactive power</i>		
<i>Frequency</i>	$\pm 0.5\%$	45 Hz to 65 Hz
<i>Active Energy</i>	Class 1 as per IEC 62053-21	$I_n = 5 \text{ A nominal CT}^2$
<i>Apparent Energy</i>	$\pm 0.5\%$	
<i>Reactive Energy</i>	Class 1 as per IEC 62053-24	
<i>THD and individual harmonics</i>	$\pm 5\% \text{ of full scale}$	Up to 15th harmonic (PM2120 only)

Sumber: manual book

2.3.5 Sensor SHT 20

Sensor SHT20 (XY-MD02) RS485 adalah perangkat canggih yang menggunakan *chip* SHT20 dirancang untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan presisi tinggi. Dilengkapi dengan antarmuka komunikasi RS485 yang mendukung protokol *Modbus* RTU, sensor ini mampu mengirim data jarak jauh dengan gangguan minimal, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi industri dan komersial. Fitur utamanya meliputi akurasi tinggi, keandalan, dan kemampuan

komunikasi jarak jauh (Purwenang *et al*, 2023). Pada penelitian ini Tabel 2.4 menunjukkan spesifikasi dari sensor yang akan digunakan yaitu SHT20.

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor SHT20

Parameter	Spesifikasi
Tegangan	5 – 30 VDC
Interface	RS-485
Protokol Komunikasi	MODBUS
Range Deteksi Suhu	-40°C – 60°C
Akurasi	±0.5 °C
Resolusi	0.1°C
Range Deteksi Kelembapan	0 – 80% RH
Akurasi	±3% RH
Resolusi	0.1% RH
Dimensi Box	65 X 46 X 28.5 Mm

Sumber: *datasheet* SHT20 (XY-MD02) RS485

Pada Gambar 2.9 ditampilkan visualisasi atau tampilan fisik dari sensor SHT20 yang akan digunakan dalam penelitian ini. Sensor ini dipilih karena kemampuannya dalam mengukur parameter suhu dan kelembapan dengan tingkat akurasi yang tinggi serta ukuran yang kompak, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan *monitoring* lingkungan secara real-time. Gambar tersebut memberikan gambaran jelas mengenai desain fisik sensor serta komponen-komponen utama yang ada di dalamnya, yang nantinya akan diintegrasikan ke dalam sistem pengukuran pada penelitian ini.



Gambar 2.9 Sensor SHT20 (www.id.gnscomponent.com)

2.3.6 Sensor MQ-2

MQ-2 merupakan salah satu sensor gas yang umum dipakai sebagai deteksi berbagai gas yang mudah terbakar, seperti LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), metana, butana, dan asap. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan resistansi internal saat terpapar gas target, menghasilkan sinyal analog yang dapat diolah oleh untuk mendeteksi keberadaan dan konsentrasi gas tersebut. MQ-2 sering digunakan dalam sistem deteksi kebocoran gas dan aplikasi keamanan lainnya karena sensitivitasnya yang tinggi dan biaya yang relatif rendah (Nuryadin *et al*, 2024). Berikut ini Gambar 2.10 merupakan jenis sensor MQ-2 yang dipakai pada penelitian ini.



Gambar 2.10 sensor MQ-2 (Nuryadin *et al.*, 2024)

Pada penelitian ini Tabel 2.5 menunjukkan spesifikasi dari sensor yang akan digunakan yaitu sensor MQ-2.

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor MQ-2

Parameter	Spesifikasi
Tegangan	5 Vdc
Konsumsi Daya	150 Ma
Range Deteksi Asap	100 - 10,000 Ppm

Sumber: *Datasheet* MQ-2

2.3.7 Sensor Debu (GP2Y101AU0F)

Sensor debu adalah perangkat yang dirancang untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi partikel debu di udara. Prinsip kerjanya umumnya berdasarkan pengindraan optik, di mana cahaya inframerah dipancarkan dan partikel debu yang melintas akan memantulkan atau mengaburkan cahaya tersebut.

Perubahan intensitas cahaya yang terdeteksi oleh foto detektor kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik yang merepresentasikan konsentrasi debu di udara. Sensor debu banyak digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas udara, sistem ventilasi, dan perangkat pembersih udara. Salah satu sensor debu yang sering digunakan adalah GP2Y1010AU0F, yang memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi partikel debu dengan ukuran lebih besar dari satu mikron. Sensor ini bekerja dengan prinsip pengindraan cahaya, di mana LED memancarkan cahaya inframerah yang dideteksi oleh foto *transistor*. Ketika partikel debu menghalangi pancaran cahaya, *output* sensor akan berubah, memungkinkan pengukuran konsentrasi debu secara *real-time* (Samsinar *et al*, 2021). Di bawah ini merupakan Gambar 2.11 yaitu sensor yang akan digunakan.



Gambar 2.11 Sensor Debu GP2Y1010AU0F (www.id.gnscomponent.com)

Tabel 2.6 menyajikan secara rinci spesifikasi teknis dari sensor debu GP2Y1010AU0F yang digunakan untuk penelitian ini. Informasi tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam proses pemilihan, perancangan rangkaian antarmuka, agar sistem yang dibangun mampu melakukan pengukuran konsentrasi debu pada lingkungan uji yang telah ditetapkan.

Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor Debu

Parameter	Spesifikasi
Tegangan	5 Vdc
Konsumsi daya	20 mA sampai 60 mA
Jangkauan deteksi	1 <i>mikron</i> hingga 10 <i>mikron</i>

Sumber: *Datasheet* GP2Y1010AU0F

2.3.8 Kipas DC

Kipas DC adalah perangkat yang digunakan sebagai mengalirkan udara guna mendinginkan komponen atau area tertentu, dengan menggunakan sumber tegangan arus (DC) sebesar 24 volt. Kipas ini umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan elektronik untuk menjaga suhu operasional yang optimal, mencegah *overheating*, dan memastikan kinerja yang stabil dari peralatan. Kipas pendingin 24VDC tersedia dalam berbagai ukuran dan spesifikasi, seperti model dengan ukuran 150x150x50mm yang dilengkapi dengan bantalan bola untuk meningkatkan ketahanan dan efisiensi pendinginan (Wirama *et al*, 2021). Pada Gambar 2.12 adalah kipas yang akan digunakan pada penelitian.



Gambar 2.12 Kipas 24VDC (www.orbit.co.id)

2.3.9 Elemen Pemanas

Elemen pemanas adalah perangkat dengan menggunakan proses yang disebut pemanasan Joule untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas. Media seperti udara atau air dipanaskan oleh energi listrik yang diubah menjadi panas oleh hambatan listrik ketika arus listrik melewati elemen ini. Oven, pemanas air, dan peralatan pemanas lainnya hanyalah sedikit dari sekian banyak aplikasi komersial dan domestik untuk elemen pemanas. Oleh karena itu, elemen pemanas sangat penting dalam banyak aplikasi yang memerlukan transformasi energi listrik

menjadi panas, memastikan pengoperasian mesin yang dapat diandalkan dan efektif di berbagai bidang komersial (Kurnia & Pohan, 2024). Gambar 2.13 menunjukkan elemen pemanas yang akan digunakan.



Gambar 2.13 Elemen Pemanas (www.id.top-heaterchina.com)

2.3.10 Alarm

Alarm adalah perangkat elektronik yang merespons situasi atau peristiwa tertentu dengan menghasilkan suara dari sinyal listrik. Banyak aplikasi, termasuk pengatur waktu, alarm, dan perangkat listrik lainnya, sering menggunakan perangkat ini sebagai indikator peringatan. Ketika tegangan listrik disuplai, alarm dapat mengeluarkan suara pada frekuensi tertentu, memberikan umpan balik pendengaran kepada sekitarnya. Hasilnya, Alarm berguna dalam berbagai situasi, termasuk media sosial sebagai sarana berbagi informasi atau peringatan serta pengaturan teknologi sebagai indikator suara (Rahmawati & Hermansyah, 2024). Pada Gambar 2.14 menunjukkan jenis alarm yang akan digunakan.



Gambar 2.14 Alarm (www.atstekno.com)

2.3.11 Lampu Indikator

Lampu Indikator (*Pilot Lamp*) adalah lampu yang sering digungkan untuk tanda pemberitahuan pada panel listrik. Terdapat beberapa jenis lampu pilot. Terdapat berbagai jenis lampu pilot, termasuk lampu pilot 220/230 VAC dan lampu pilot 24 VDC. Lampu pilot juga tersedia dalam berbagai warna, masing-masing dengan fungsi spesifiknya sendiri, seperti merah (menunjukkan indikator Fasa R), kuning (menunjukkan indikator Fasa S), dan hijau (menunjukkan indikasi Fasa T) pada panel listrik 3 Fasa. (Syah, 2021). Bentuk dari lampu indikator dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut ini.



Gambar 2.15 Lampu Indikator ([www. atstekno.com](http://www.atstekno.com))

2.3.12 MCB

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) merupakan alat pengaman otomatis yang digunakan pada instalasi listrik untuk melindungi rangkaian dari kerusakan akibat arus lebih (*overload*) dan hubung singkat (*short circuit*). Ketika terjadi kelebihan beban atau hubungan singkat, MCB secara otomatis memutus arus listrik, sehingga membatasi kerusakan pada peralatan listrik dan risiko kebakaran. MCB bekerja dengan dua mekanisme, yaitu pemutusan secara termal menggunakan bimetal dan secara elektromagnetik melalui gaya medan magnet. MCB tersedia dalam berbagai tipe arus trip seperti tipe B, C, dan D, yang disesuaikan dengan karakteristik beban. Misalnya, tipe B digunakan untuk beban ringan seperti rumah tangga, tipe C untuk beban sedang seperti lampu dan motor kecil, dan tipe D untuk beban berat seperti mesin industri. MCB juga memiliki nilai arus yang bervariasi, seperti 6A, 10A, 16A, hingga 63A, yang dipilih sesuai kebutuhan proteksi sistem

kelistrikan (Budi, 2024). Bentuk dari MCB yang digunakan ditampilkan pada Gambar 2.16 berikut ini.



Gambar 2.16 MCB (www.siplahtelkom.com)

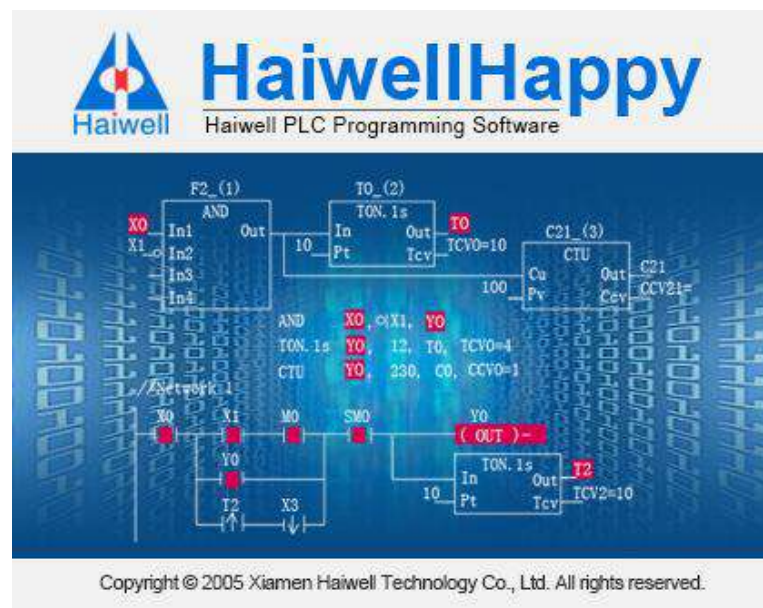
2.4 Software Yang Digunakan

Penelitian ini terdapat berbagai macam *software* yang difungsikan untuk membantu pengujian serta menjalankan perangkat di antaranya adalah sebagai berikut:

2.4.1 Haiwell Happy

Haiwell Happy merupakan *software* yang dikembangkan oleh *Xiamen Haiwell Technology* digunakan untuk memprogram dan mengonfigurasi PLC (*Programmable Logic Controller*). *Software* ini menyediakan *interface* yang memungkinkan untuk membuat logika kontrol industri, memantau proses secara *real-time*, dan mengelola sistem otomatisasi. *Software* ini juga mendukung tiga bahasa pemrograman: *Ladder Diagram* (LD), *Function Block Diagram* (FBD), dan *Instruction List* (IL). Fitur-fitur utamanya meliputi simulator bawaan untuk pengujian program tanpa perangkat keras fisik, serta kemampuan untuk melakukan pemrograman dan pemantauan jarak jauh melalui *platform cloud Haiwell*. Dengan begitu, *Haiwell Happy* berperan penting dalam pengembangan dan implementasi

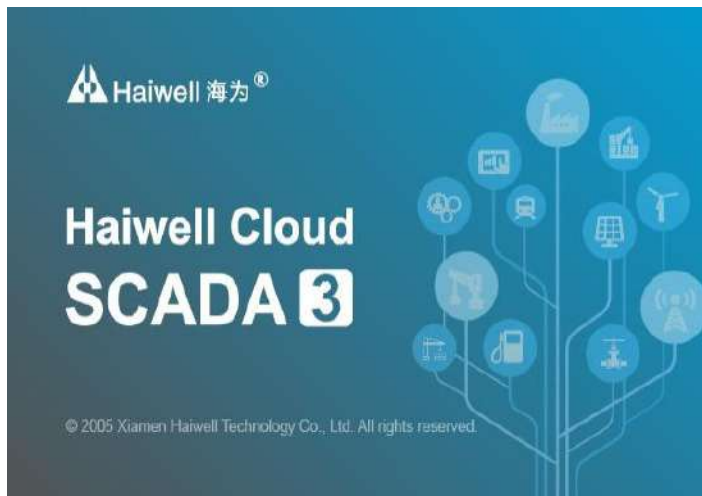
sistem kontrol industri, khususnya dalam aplikasi yang memerlukan pemantauan dan pengendalian proses secara *real-time* (Maulana & Marfin, 2023). Pada Gambar 2.17 adalah aplikasi yang digunakan untuk mengolah komunikasi data pada penelitian tugas akhir ini.



Gambar 2.17 *Haiwell Happy* (www.haiwell.com)

2.4.2 *Haiwell Cloud Scada*

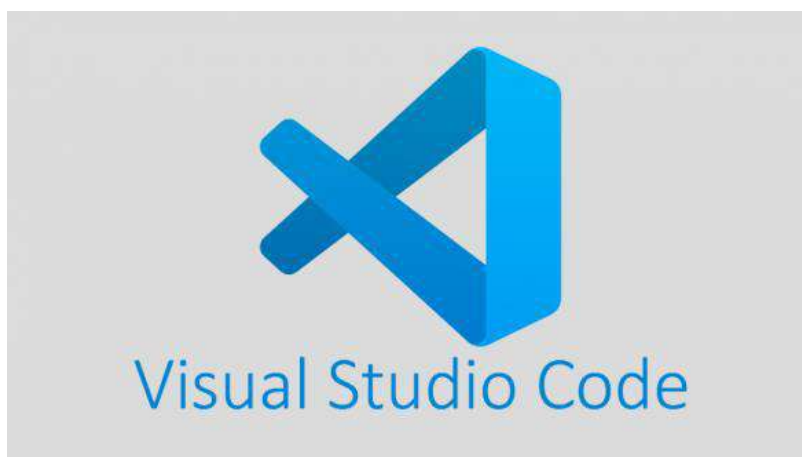
Haiwell Cloud Scada adalah perangkat lunak berdasarkan *.NET Framework* yang dirancang oleh *Xiamen Haiwell Technology* untuk pemantauan dan manajemen otomatisasi industri. *Software* ini bertujuan untuk pengguna sebagai pemantau dan mengontrol proses industri secara *real-time* melalui berbagai perangkat, termasuk PC, tablet, dan *smartphone*. Fitur utamanya mencakup kemampuan untuk melakukan pemrograman dan pemantauan jarak jauh, integrasi dengan berbagai perangkat keras seperti PLC dan HMI, serta antarmuka yang ramah pengguna untuk visualisasi data dan kontrol proses (Hasan *et al*, 2022). Pada penelitian ini, Gambar 2.18 merupakan *software* yang akan difungsikan.



Gambar 2.18 *Haiwell Cloud Scada* (www.haiwell.com)

2.4.3 Visual Studio Code

Visual Studio adalah sistem Integrated Development Environment (IDE) yang mendukung pengembangan aplikasi lintas platform, seperti aplikasi web, mobile, dan desktop. Platform ini menyediakan berbagai bahasa pemrograman serta alat bantu untuk pengelolaan kode, perancangan antarmuka, *debugging*, dan integrasi komponen aplikasi. Dengan fitur yang lengkap, Visual Studio menjadi lingkungan pengembangan yang komprehensif untuk membangun aplikasi dengan beragam kebutuhan dan tingkat kompleksitas (Budi, 2024). Berikut merupakan *software* Visual Studio Code yang ditampilkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Visual Studio Code (www.code.visualstudio.com)

2.4.4 Database My SQL

My SQL adalah sebuah program yang berfungsi sebagai server basis data, dengan peran utama dalam pembuatan dan pengelolaan basis data. Salah satu kelebihan utama My SQL merupakan kecepatannya untuk mengelola data, yang memastikan proses penerimaan dan pengiriman informasi berlangsung secara efisien. Selain itu, My SQL juga mendukung penggunaan *multi-user*, memungkinkan beberapa pengguna untuk mengakses dan menggunakan basis data secara bersamaan. Fitur ini menjadikan My SQL sangat cocok untuk lingkungan di mana akses basis data diperlukan oleh banyak pengguna secara simultan (Andhyni *et al*, 2024). Pada Gambar 2.20 yang ditunjukkan berikut merupakan *database* My SQL.



Gambar 2.20 Database My SQL (www.tecdicas.com)

2.5 Standar Acuan Parameter

Standarisasi merupakan pedoman yang menjadi acuan minimal untuk menjamin konsistensi. Standarisasi umumnya digunakan untuk mengukur objek yang mempunyai ciri dan kriteria tertentu yang dikenakan padanya. Konsep standar berasal dari satuan ukuran untuk membandingkan kualitas, kuantitas, nilai, dan hasil pekerjaan atau produk. Akibatnya, standar produk adalah keputusan kualitas yang berfungsi sebagai panduan untuk mencapai keselarasan kuantitas sekaligus memastikan kualitas produk. Standar pada penelitian ini berfungsi sebagai

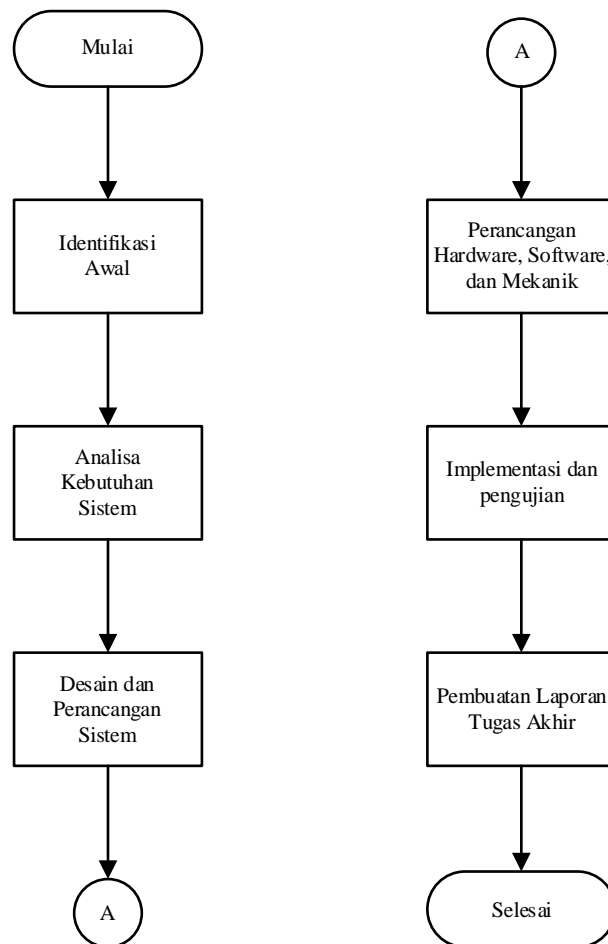
pedoman untuk mengukur kriteria tertentu. Standar referensi yang dipakai dalam penelitian ini ditunjukkan sebagai berikut:

1. Menurut jurnal penelitian dengan judul “Design And Fabrication of Temperature and Humidity Stabilizer on Low Voltage Distribution Panel with PLC-Based Fuzzy Method to Prevent Excessive Temperature and Humidity on The Panel” Suhu normal pada panel yang cocok, tidak lebih dari 40⁰C sedangkan selama 24 jam, suhu dalam panel tidak boleh terus lebih dari 35⁰C. Begitu juga dengan kelembapan, kondisi yang normal pada panel selama 24 jam tidak lebih dari 95% sedangkan selama waktu satu bulan rata-rata kelembapan tidak boleh lebih dari 90%.
2. Standarisasi debu yang ada pada panel menurut jurnal “Sistem Pembersih Debu Pada Panel Mesin Injection Preform PET BM500” adalah 400 µg/m³.
3. Standarisasi asap yang ada pada panel menurut jurnal “Perancangan Sistem Pendeteksi Asap Otomatis Berbasis Arduino R3 Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Mamdani” adalah 200 ppm (Part Per Million).

BAB 3

METODE PENELITIAN

Dalam bab berikut ini menguraikan urutan penelitian untuk Proyek Akhir. Alur penelitian meliputi identifikasi masalah, analisis kebutuhan sistem, perancangan dan perencanaan sistem, perancangan perangkat keras, perangkat lunak, dan mekanik, implementasi dan pengujian, serta penulisan laporan proyek akhir.



Gambar 3.1 Diagram Alur (Dokumentasi Pribadi)

Diagram alur yang ditunjukkan Gambar 3.1 menjelaskan tentang proses pengerjaan tugas akhir. Penelitian tugas akhir ini berawal dari perumusan masalah dari pemantauan penggunaan daya listrik di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Permasalahan yang diambil pada tugas akhir ini adalah sistem *monitoring* pada *sub distribution panel* untuk mewujudkan PPNS menjadi kampus

hijau (*green campus*) berdasarkan RENSTRA sesuai dengan kajian studi pustaka literatur yang telah dilakukan. Tahap selanjutnya yaitu pengumpulan data yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan tugas akhir. Dilanjutkan dengan menganalisis penggunaan sistem yang digunakan mulai dari pembuatan *hardware* dan *software*, selanjutnya dengan perancangan alat yang akan digunakan. Setelah perancangan alat selesai selanjutnya pembuatan *hardware* dan *software*, lalu perlu dilakukan pengujian antara komponen agar sistem bisa dijalankan. Setelah alat berfungsi sesuai prosedur yang diinginkan selanjutnya yaitu pengujian kinerja. Ketika seluruh alur terpenuhi sesuai yang diharapkan lanjut dengan menganalisis dan membuat kesimpulan serta tugas akhir dapat diselesaikan.

3.1 Tahap Identifikasi Awal

Tahap identifikasi adalah tahap pertama yang sangat krusial dalam rangkaian kegiatan penelitian. Pada fase ini, perhatian utama diarahkan pada pengenalan dan pemahaman mendalam mengenai permasalahan yang perlu diselesaikan, serta tujuan akhir yang hendak dicapai melalui penelitian ini. Proses identifikasi ini meliputi serangkaian langkah yang berfungsi sebagai panduan dalam keseluruhan riset, antara lain:

3.1.1 Identifikasi Masalah

Langkah pertama adalah mengidentifikasi permasalahan yang sedang dihadapi dalam konteks pengawasan pemakaian daya listrik di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Dalam penelitian yang berkaitan dengan sistem *monitoring* daya pada *sub distribution panel* di PPNS, fokus utamanya adalah mewujudkan PPNS menjadi kampus hijau (*green campus*) berdasarkan RENSTRA dan juga memantau penggunaan listrik di PPNS yang dapat menyebabkan meningkatnya konsumsi daya listrik. Di sini, penelitian berupaya untuk mengenali secara mendalam mengapa masalah ini muncul dan bagaimana dampaknya terhadap penggunaan energi.

3.1.2 Penetapan Tujuan dan Rumusan Manfaat Penelitian

Sesudah permasalahan diidentifikasi, langkah berikutnya adalah menetapkan hasil yang diharapkan melalui penelitian ini. Tujuan-tujuan ini mencakup arah utama dari penelitian dan menjelaskan hasil yang ingin dicapai dalam akhir penelitian. Dalam konteks penelitian *monitoring* daya pada *sub distribution panel* di PPNS, tujuan tersebut melibatkan pembuatan sistem yang mampu memberikan informasi tentang kondisi panel, mulai dari mengirim data tegangan, arus, serta daya listrik, kemudian kontrol suhu dan kelembapan pada panel listrik untuk mencegah korsleting listrik yang disebabkan pengkaratan, selanjutnya sistem yang dapat memberikan peringatan jika terjadi korsleting listrik. Selain itu, rumusan manfaat penelitian juga harus diidentifikasi untuk menjelaskan kontribusi yang mungkin diberikan oleh penelitian ini kepada pemahaman dan praktik dalam bidangnya.

3.2 Studi Literatur

Dalam proses studi literatur meliputi pencarian dan pemahaman menyeluruh atas solusi atas persoalan yang dibahas pada tugas akhir ini. Tinjauan pustaka dilaksanakan melalui membaca beragam sumber, termasuk buku, jurnal ilmiah, dan makalah berdasarkan dengan perkara yang dibahas. Selama proses tinjauan pustaka, penulis berupaya mengumpulkan informasi sebanyak mungkin tentang PLC *Haiwell*, HMI *Haiwell*, Power Meter, SHT 20, sensor debu, sensor MQ-2, dan komponen-komponen lain yang diperlukan. Referensi dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk internet, jurnal penelitian, makalah, dan sumber lainnya. Hal ini memungkinkan penulis untuk memperluas perspektif dan pemahamannya tentang solusi potensial untuk tugas akhir ini.

3.3 Analisa Kebutuhan Sistem

Analisa kebutuhan sistem adalah sebuah proses dengan tujuan mengetahui kebutuhan pada sistem yang diperlukan dalam penelitian. Berdasarkan analisa kebutuhan yang telah dilakukan, untuk menciptakan sistem *monitoring* daya pada *sub distribution panel* dibutuhkan beberapa peralatan. Adapun komponen yang digunakan antara lain:

Tabel 3.1 Komponen Sistem

<i>Hardware</i>	<i>Software</i>
PLC <i>Haiwell</i>	<i>Haiwell Happy</i>
HMI <i>Haiwell</i>	<i>Haiwell Cloud Scada</i>
Power Meter	Visual Studio Code
Sensor SHT20	MY Sql
Sensor Debu	
Sensor MQ-2	
<i>Power Supplay 24V</i>	
Alarm	
Kipas DC	
Elemen Pemanas	
Lampu Indikator	
MCB 5A	
Box Panel	
Terminal Blok	
Kabel <i>Spiral</i>	
Kabel	
<i>Emergency Switch</i>	
Kabel <i>ties</i>	
<i>Din Rail</i>	
Kabel <i>Duct</i>	
<i>Switch Ethernet</i>	
<i>Relay</i>	

Sumber: Dokumentasi Pribadi

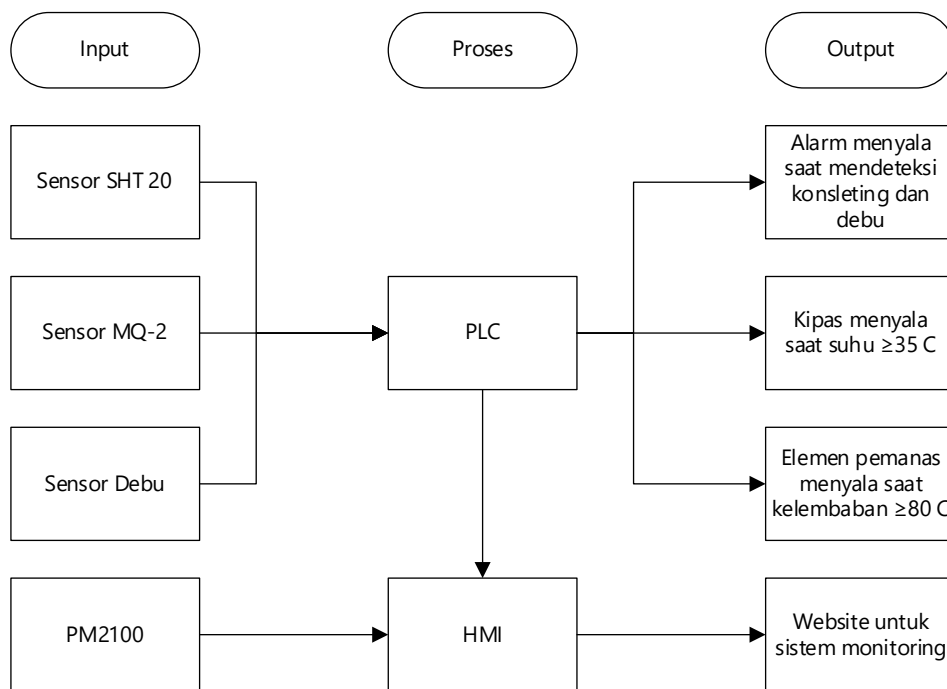
Berdasarkan Tabel 3.2, komponen yang menjadi prioritas dalam kebutuhan sistem adalah Box Panel yang berfungsi sebagai tempat untuk rangkaian, MCB 5A sebagai pengatur arus listrik dan pengaman saat terjadi beban berlebih, *Din Rail* sebagaiudukan untuk pemasangan komponen, PLC *Haiwell* yang berfungsi untuk kontrol, Power Supply 24 VDC yang memberikan arus listrik, Alarm untuk mengubah sinyal listrik menjadi suara, HMI *Haiwell* sebagai perangkat tambahan *interface* yang dapat terhubung dengan PLC menggunakan koneksi TCP/IP, untuk komunikasi antara HMI dan PLC dengan internet menggunakan *switch ethernet*, Power Meter sebagai sensor tegangan arus dan daya yang terhubung dengan *modbus* rs485 ke HMI, kemudian sensor SHT 20 yang terhubung dengan *modbus* rs485 ke PLC, selanjutnya sensor MQ-2 dan debu terhubung dengan *pin analog input* pada PLC, berikutnya kipas, elemen pemanas, alarm, tersambung dengan *pin digital output* pada PLC. Penelitian ini menggunakan aplikasi *Haiwell Happy* untuk memprogram PLC, *Haiwell Cloud Scada* untuk memprogram HMI, Visual Studio Code untuk program dalam pembuatan *website*, dan My SQL sebagai *database*.

3.4 Desain dan Perancangan Sistem

Setelah menyelesaikan analisis dan pemahaman menyeluruh terhadap persyaratan sistem yang akan dikembangkan, serta menguasai ilmu pengetahuan dan teknologi fundamental yang terkait dengan pelaksanaan proyek, langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan sistem yang komprehensif dan menyeluruh. Perancangan ini tidak hanya membahas isu-isu teknis seperti pemilihan komponen dan arsitektur sistem, tetapi juga mencakup strategi untuk mengendalikan kondisi panel secara otomatis dan manual, serta integrasi sistem pemantauan daya listrik yang dapat diakses secara *real-time* melalui platform situs web. Dengan teknik ini, sistem yang dirancang diyakini akan efisien, andal, dan mudah dipantau. Adapun beberapa tahap yang direncanakan untuk diproses dalam proses perancangan ini adalah sebagai berikut:

3.4.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang telah dirancang disusun berdasarkan alur logis dari tahapan-tahapan dalam penelitian ini, dan secara visual ditampilkan pada Gambar 3.2. Diagram tersebut tidak hanya berfungsi sebagai representasi grafis dari sistem secara keseluruhan, tetapi juga menyajikan rincian mengenai hubungan dan interaksi antar komponen utama yang telah dijelaskan sebelumnya, seperti sensor yaitu SHT20, MQ-2, Sensor debu dan Power Meter dengan komponen pengendali berupa PLC *Haiwell* serta antarmuka pengguna. Melalui penggambaran ini, dapat dilihat dengan jelas bagaimana aliran data dan sinyal mengalir dari satu bagian ke bagian lainnya, serta bagaimana setiap komponen memiliki peran dan fungsi tertentu dalam mendukung kinerja sistem secara terpadu. Dengan demikian, tahap perancangan diagram blok ini mempunyai fungsi yang sangat penting sebagai dasar awal dalam langkah pengembangan sistem kontrol, karena memberikan kerangka kerja yang sistematis, efisien, dan dapat digunakan sebagai acuan dalam implementasi perangkat keras ataupun pemrograman perangkat lunak yang mendukung sistem secara keseluruhan.

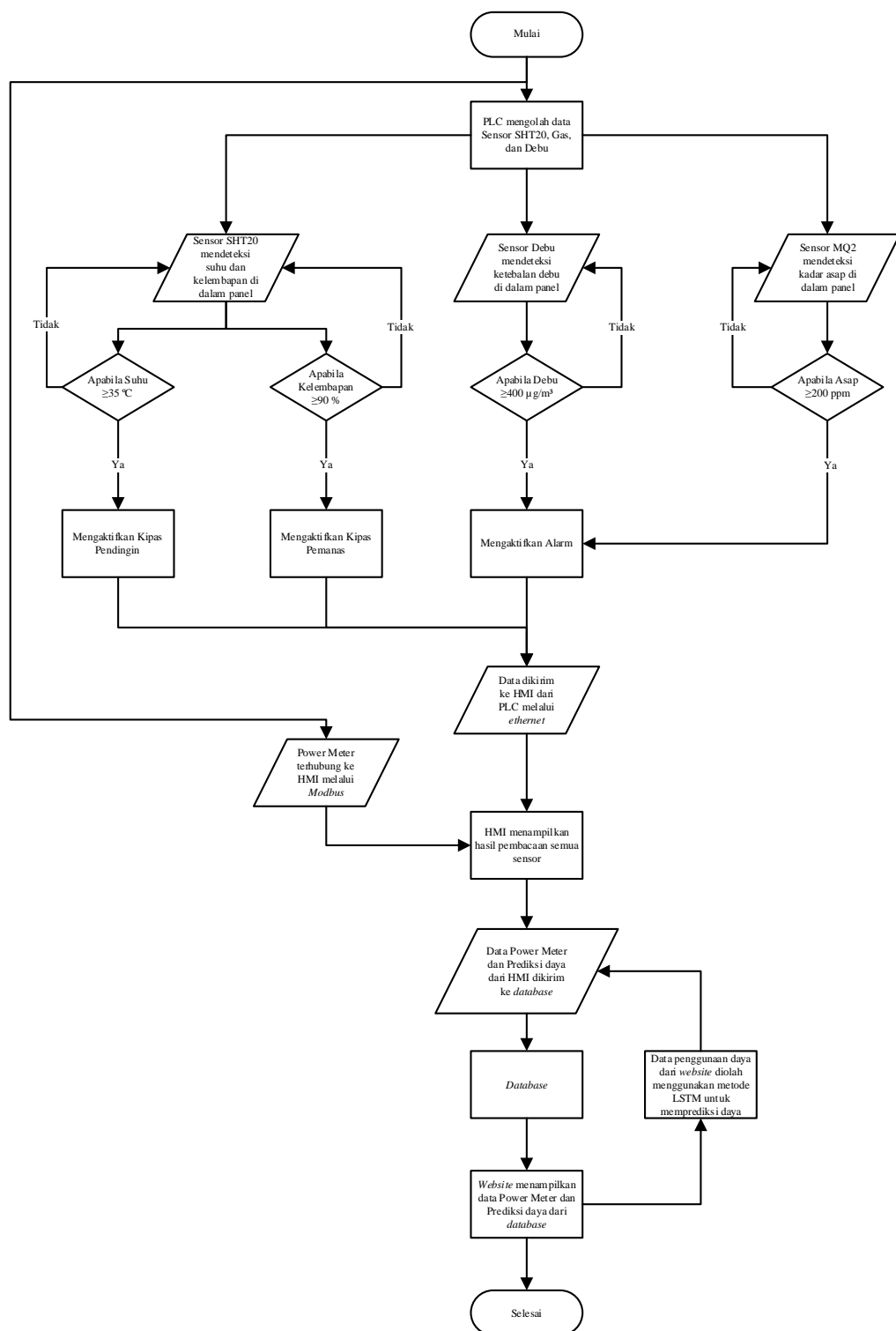


Gambar 3.2 Diagram Sistem (Dokumentasi Pribadi)

Sistem dirancang menggunakan data suhu, kelembapan, data debu, data asap sebagai variabel *input*, selanjutnya akan di olah. Kemudian untuk variabel *output* yaitu kipas, elemen pemanas, dan alarm. Ketika suhu , kelembapan, debu, serta asap mencapai batas yang telah ditentukan, maka data akan diterima PLC untuk mengatur *output* berupa kipas, elemen pemanas, dan alarm. Kemudian data tersebut ditransfer ke HMI yang juga terhubung dengan Power Meter, selanjutnya data tersebut dikirim ke *website* untuk *monitoring*.

3.4.2 Flowchart Sistem

Gambar 3.3 menampilkan alur kerja sistem yang akan dikembangkan berdasarkan penelitian literatur. Diagram ini memberikan rincian yang lebih mendalam dan juga menampilkan *setpoint* untuk mengatur *output* dari komponen.



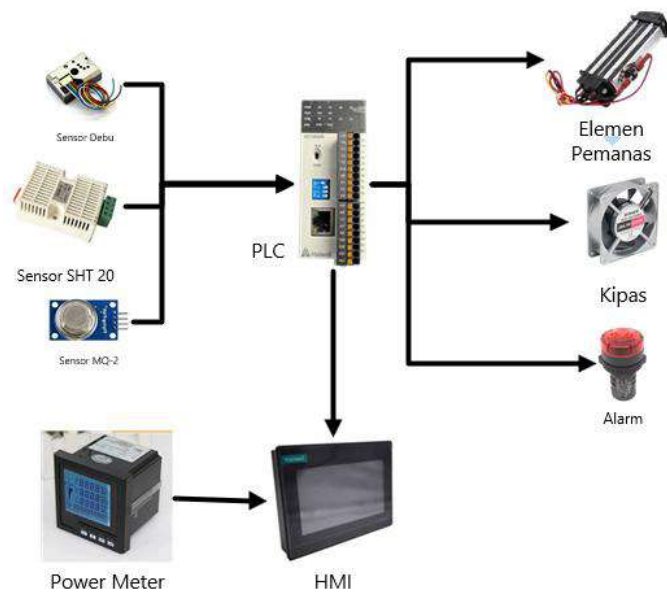
Gambar 3.3 *Flowchart* Sistem (Dokumentasi Pribadi)

Sistem diawali dengan pengambilan data suhu, kelembapan, jumlah debu, serta kualitas udara di dalam panel. selanjutnya data tersebut akan diolah oleh PLC untuk mendapatkan hasil yang optimal. Apabila data hasil pembacaan sensor sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan, seperti jika suhu pada panel $\geq 35^{\circ}\text{C}$ maka secara otomatis PLC segera melakukan tindakan berupa memberikan perintah untuk menyalakan kipas untuk menurunkan suhu di dalam panel. Begitu juga dengan kelembapan, jika sensor mendeteksi kelembapan $\geq 90\%$ maka secara otomatis elemen pemanas akan menyala. Selanjutnya jika pembacaan pada sensor debu dan MQ-2 berdasarkan *setpoint* yang telah ditentukan, sehingga PLC akan memberikan sinyal untuk menyalakan alarm sebagai bentuk peringatan dan juga alarm untuk masing-masing sensor baik sensor debu maupun sensor MQ-2 akan ditampilkan pada HMI. Semua data pembacaan sensor tersebut dikirim ke HMI menggunakan komunikasi *ethernet* yang tersedia pada PLC. Sedangkan untuk Power Meter sendiri terhubung secara langsung dengan HMI melalui komunikasi Modbus. Dengan fitur IOT pada HMI data dapat dikirim ke *database* untuk ditampilkan di *website*.

3.5 Perancangan *Hardware*, *Software*, dan Mekanik

Perancangan *hardware*, *software*, dan mekanik merupakan suatu rangkaian proses yang bersifat sistematis dan terstruktur, yang bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan mengintegrasikan berbagai elemen sistem yang terintegrasi dan mendukung antar sistem. Setiap komponen baik perangkat keras, perangkat lunak, maupun aspek mekanis memiliki peran penting dalam memastikan sistem bekerja secara optimal dan berdasarkan tujuan yang telah ditentukan sebelumnya. Oleh sebab itu, proses perancangan ini dilakukan dengan memperhatikan detail teknis, keterhubungan antar bagian, serta kemungkinan pengembangan dan pemeliharaan di masa mendatang. Rancangan sistem yang akan digunakan dalam proyek ini disajikan sebagai berikut.

3.5.1 Perancangan *Hardware*



Gambar 3.4 Perancangan *Hardware* (Dokumentasi Pribadi)

Gambar 3.4 di atas menunjukkan rencana *hardware*, terdiri atas komponen utama yang berupa *input*, proses dan *output*. Komponen *input* yang berupa sensor MQ-2, sensor Debu, dan sensor SHT20 nantinya akan mendeteksi kondisi di dalam panel, kemudian data pembacaan sensor tersebut diolah untuk menciptakan sistem otomatis menggunakan PLC yang terhubung dengan *output* seperti kipas, elemen pemanas, dan juga alarm. Ada juga Power Meter yang langsung terhubung dengan HMI. Semua data sensor tersebut akan ditampilkan di HMI.

3.5.2 Perancangan *Software*

Dalam perancangan *software* ini, memiliki tujuan utamanya yaitu menciptakan program yang berfungsi untuk mengontrol dan mengintegrasikan sistem *monitoring* yang telah dirancang tersebut. Dalam penelitian ini terdapat tiga jenis *software* yang digunakan, masing-masing memiliki peran penting untuk mewujudkan tujuan tersebut.

Haiwell Happy digunakan untuk membuat program yang akan dijalankan pada PLC. Dengan menggunakan *software Haiwell Happy*, program dikodekan untuk memungkinkan PLC mengambil data dari sensor, melakukan pengolahan data, dan mengendalikan peralatan yang ada di dalam panel seperti kipas, elemen

pemanas dan alarm. Program ini juga bertanggung jawab untuk menghubungkan PLC dengan HMI menggunakan komunikasi *ethernet*.

Haiwell Cloud Scada merupakan *software* yang digunakan untuk membuat tampilan dan juga dilengkapi fitur untuk memprogram menggunakan *java script*. Fitur tersebut dapat difungsikan untuk mentransfer data pembacaan semua sensor yang diperoleh seperti sensor Debu, sensor MQ-2, sensor SHT20, dan juga Power Meter. Semua data tersebut akan ditampilkan di HMI dan juga dikirim melalui API untuk disimpan di *database* My SQL.

Visual Studio Code digunakan untuk membuat program sebuah *website*, yang mana difungsikan sebagai *interface monitoring* bagi pengguna. Dengan adanya *website* tersebut pengguna dapat mengakses atau memantau penggunaan daya listrik melalui berbagai perangkat seperti android, *apple*, ataupun PC. Dengan adanya metode prediksi daya menggunakan LSTM diharapkan pengguna dapat mengetahui penggunaan daya yang berlebih, sehingga konsumsi energi listrik bisa berkurang dengan signifikan. Pada Gambar 3.5 merupakan perencanaan tampilan *website* yang akan dijadikan *monitoring* dan prediksi daya.

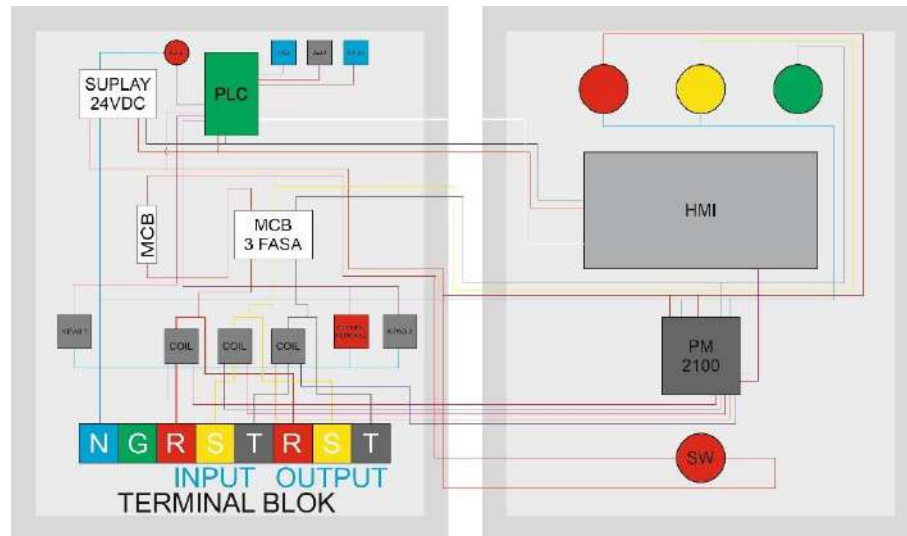


Gambar 3.5 Rencana Tampilan *Website* (Dokumentasi Pribadi)

3.5.3 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik merupakan tahap penting dalam pembuatan panel *monitoring* yang telah direncanakan. Tujuan utama dari perancangan mekanik ini adalah untuk menciptakan gambaran alat atau sistem yang terstruktur, efisien, dan dapat diimplementasikan dengan baik. Berikut adalah deskripsi perancangan

mekanik untuk panel *monitoring*. Panel kotak listrik menjadi tempat untuk menempatkan komponen-komponen yang direncanakan sebelumnya seperti PLC, HMI, sensor SHT20, sensor MQ-2, sensor Debu, Power Meter dan lain-lain. Desain perancangan juga menjadi perhitungan penempatan peralatan tersebut. Pada Gambar 3.6 merupakan desain perencanaan kotak panel yang akan digunakan.



Gambar 3.6 Desain Panel (Dokumentasi Pribadi)

3.6 Implementasi dan Pengujian

Implementasi dan pengujian merupakan tahapan penting dalam siklus pengembangan sistem yang dilaksanakan setelah seluruh proses perancangan sistem, termasuk program dan desain yang telah dirumuskan sebelumnya, disetujui atau disahkan untuk direalisasikan. Pada tahap ini, rancangan sistem mulai diterapkan secara nyata ke dalam bentuk fungsional, mulai dari sistem kerja perangkat keras dan juga perangkat lunak. Tujuannya adalah guna memastikan bahwa seluruh komponen dapat berfungsi berdasarkan dengan spesifikasi yang sudah ditetapkan dan mampu berjalan secara terintegrasi dalam kondisi operasional sebenarnya. Selain itu, pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, mengidentifikasi potensi kesalahan atau ketidaksesuaian, serta memastikan bahwa sistem siap untuk digunakan secara optimal di lingkungan operasional yang dituju.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai pengujian instrumen seperti sensor dan *aktuator*, serta analisa data berdasarkan topik subbab sebelumnya. Tujuan pengujian alat dan analisis data ini adalah untuk menentukan keberhasilan alat secara keseluruhan. Hasil dari pengujian ini mencakup uji sensor SHT20, sensor MQ-2, sensor Debu, sensor Power Meter. Kemudian uji coba untuk *aktuator* yaitu kipas pendingin, kipas pemanas, *relay*, *buzzer*, lampu indikator dan juga *emergency switch*.

4.1 Tampilan Panel

Pada sub bab ini membahas tentang hasil dari panel yang dirancang serta tampilan yang ada di dalam maupun di depan panel serta tempat peletakan panel tersebut untuk *memonitoring* penggunaan daya pada panel SDP. Berikut adalah Gambar 4.1 dan 4.2 yang menunjukkan tampilan dalam dan depan dari panel yang telah dibuat.

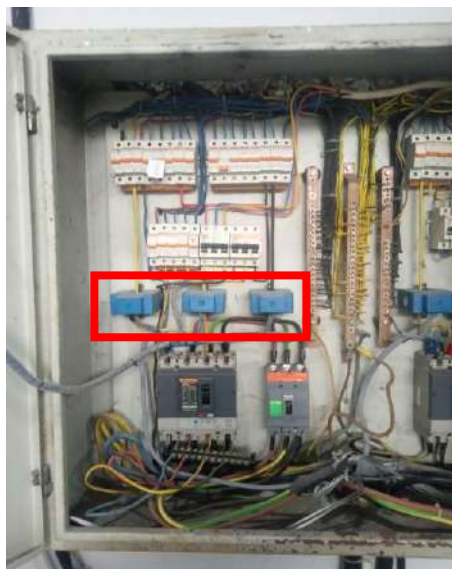


Gambar 4.1 Tampilan Dalam Panel (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.2 Tampilan Depan Panel (Dokumentasi Pribadi)

Pada tampilan dalam panel tidak terdapat CT (*Current Transformer*) berbeda dengan desain awal, dikarenakan penggunaan CT untuk membaca arus listrik pada gedung T dapat menggunakan pada panel utama yang ditunjukkan persegi panjang warna merah sehingga tidak perlu mematikan arus listrik di gedung T tersebut untuk memasang CT ke dalam panel *monitoring*. Berikut Gambar 4.3 yang menampilkan kondisi di dalam panel utama yang ada pada gedung T.



Gambar 4.3 Tampilan Dalam Panel Utama (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.3 yang ditunjukkan oleh persegi panjang berwarna merah merupakan CT pada panel utama yang digunakan untuk pembacaan arus. Untuk memperoleh nilai pembacaan arus perlu dihubungkan CT pada panel utama ke terminal yang ada di panel *monitoring*. Ditampilkan pada Gambar 4.4 berikut



Gambar 4.4 Kondisi *Wiring* Panel Utama (Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.5 di bawah ini menunjukkan hasil akhir dan lokasi pemasangan dari panel *monitoring* yang ada pada gedung T di PPNS:



Gambar 4.5 Lokasi Pemasangan Panel (Dokumentasi Pribadi)

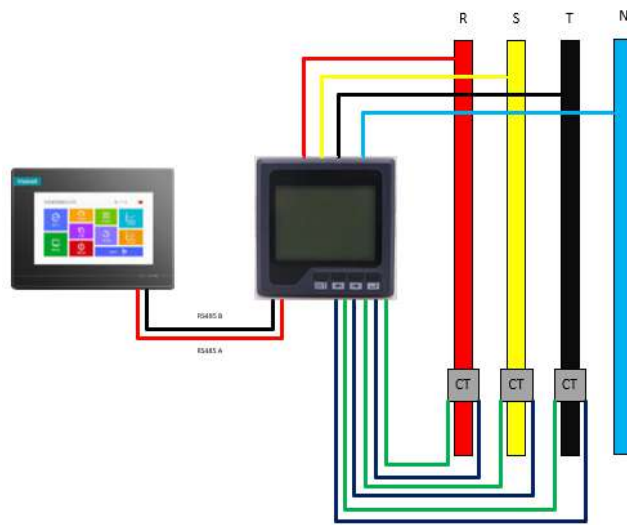
4.2 Pengujian Power Meter

Dalam sub bab ini menjelaskan tentang pengujian Power Meter. Power meter terhubung dengan perangkat keras HMI *Haiwell* melalui *modbus* RS485 untuk dilakukan pengujian. Setelah data masuk ke HMI *Haiwell* data tersebut dikirim ke *database* untuk ditampilkan ke *website*. Hasil pengujian power meter saat beroperasi ditampilkan pada Gambar 4.6 berikut.



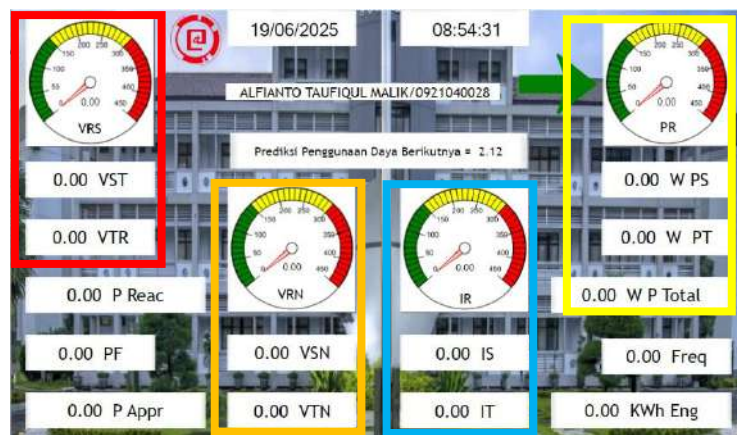
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Power Meter (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.7 menunjukkan *wiring* diagram dari perangkat *power meter* yang digunakan dalam sistem ini. Diagram tersebut memperlihatkan secara rinci bagaimana koneksi antar terminal dilakukan untuk memastikan fungsionalitas pengukuran daya berjalan dengan baik. Power meter ini dihubungkan secara langsung dengan perangkat *Human Machine Interface* (HMI) menggunakan protokol komunikasi *Modbus* RTU melalui antarmuka RS485. Koneksi ini memungkinkan pertukaran data secara efisien antara power meter dan HMI, sehingga informasi mengenai parameter daya listrik dapat dimonitor secara *real-time* melalui tampilan antarmuka pengguna.



Gambar 4.7 *Wiring Diagram Power Meter* (Dokumentasi Pribadi)

Berikutnya Gambar 4.8 adalah tampilan pada HMI yang menunjukkan hasil pembacaan power meter. Pada persegi panjang warna merah tersebut menunjukkan nilai tegangan 3 Fasa, pada persegi panjang warna oranye menunjukkan nilai tegangan 1 Fasa, kemudian pada persegi panjang warna biru menunjukkan nilai arus, terakhir persegi panjang warna kuning menunjukkan pembacaan daya sekaligus total daya. Pada nilai yang ditunjukkan oleh P Reac adalah Daya Reaktif (*Reactive Power*), berikutnya PF yaitu Faktor Daya (*Power Factor*), kemudian P Appr adalah Daya Semu (*Apparent Power*) sisanya adalah frekuensi dan juga energi.



Gambar 4.8 Tampilan Pembacaan Power Meter HMI (Dokumentasi Pribadi)

Selanjutnya, Gambar 4.9 sampai dengan Gambar 4.11 di bawah ini menampilkan antarmuka dari situs web *monitoring* yang berfungsi untuk menampilkan hasil pembacaan data dari power meter. Data tersebut dikirim secara langsung oleh perangkat *Human Machine Interface* (HMI) melalui protokol komunikasi yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Tampilan pada *website* ini dirancang untuk memberikan visualisasi data daya listrik secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memantau kondisi kelistrikan dengan lebih mudah, informatif, dan efisien.



Gambar 4.9 Tampilan *Website* (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.10 Tampilan *Website* (Dokumentasi Pribadi)

Tabel

Excel

Search:

verage	Volt R-S	Volt S-T	Volt T-R	Volt R-N	Volt S-N	Volt T-N	VAverage	PR	PS	PT	Total Power	Total Reactive
888.547	888.502	888	224.202	224.179	224.09	224.288	0	0	0	0	0	0
889.316	889.274	889	224.565	224.541	224.452	224.733	0	0	0	0	0	0
891.069	891.024	890	226.011	225.986	225.896	225.742	0	0	0	0	0	0
890.515	890.47	890	225.523	225.497	225.405	225.423	0	0	0	0	0	0
891.04	890.999	890	225.774	225.75	225.656	225.594	0	0	0	0	0	0
893.898	893.854	893	227.424	227.398	227.308	227.375	0	0	0	0	0	0
895.713	895.67	895	228.472	228.447	228.351	228.423	0	0	0	0	0	0
894.214	894.172	894	227.606	227.582	227.485	227.697	0	0	0	0	0	0
894.834	894.789	894	227.964	227.938	227.839	227.914	0	0	0	0	0	0
894.099	894.053	893	227.54	227.513	227.414	227.489	0	0	0	0	0	0

Showing 31 to 40 of 44 entries

Previous 1 2 3 4 5 Next

Gambar 4.11 Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)

Kemudian adalah pengujian power meter dibandingkan dengan alat ukur. Pada pengujian tegangan dijalankan melalui perbandingan nilai tegangan pada power meter dengan nilai pada alat ukur berupa avo meter digital yang ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Pengujian Tegangan (Dokumentasi Pribadi)

Pada Tabel 4.1 berikut menampilkan hasil pembacaan tegangan pada power meter ditunjukkan pada bagian baris atas yaitu pada tegangan fasa ke 1 (a) dibandingkan dengan hasil pembacaan pada avo meter digital.

Tabel 4.1 Hasil Pembacaan Tegangan Power Meter

Percobaan	Nilai Power Meter (V)	Nilai Avo Meter (V)	Persentase <i>Error</i> (%)
1	221.9 V	222.8 V	0.41 %
2	221.8 V	222.8 V	0.45 %
3	221.9 V	222.8 V	0.41 %
4	221.9 V	222.8 V	0.41 %
5	221.9 V	222.8 V	0.41 %
6	221.8 V	222.8 V	0.45 %
7	221.9 V	222.8 V	0.41 %
8	221.8 V	222.8 V	0.45 %
9	221.8 V	222.8 V	0.45 %
10	221.9 V	222.8 V	0.41 %
Rata-Rata			0.43%

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan Tabel 4.1 hasil dari pengukuran tegangan pada power meter dibandingkan dengan hasil pengukuran tegangan pada avo meter yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan menunjukkan nilai persentase rata-rata *error* sebesar 0.43%.

Pada proses pengujian arus dibuat dengan melakukan perbandingan nilai arus pada power meter serta alat ukur yang ditampilkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Pengujian Arus (Dokumentasi Pribadi)

Berikut adalah Tabel 4.13 menunjukkan hasil pembacaan arus pada power meter dibandingkan dengan alat ukur.

Tabel 4.2 Hasil Pembacaan Arus Power Meter

Percobaan	Nilai Watt Meter (A)	Nilai Power Meter (A)	Persentase Error (%)
1 (<i>warm</i>)	0.096 A	0.093 A	3.13%
2 (<i>warm</i>)	0.096 A	0.093 A	3.13%
3 (<i>warm</i>)	0.096 A	0.094 A	2.08%
4 (<i>warm</i>)	0.096 A	0.093 A	3.13%
5 (<i>warm</i>)	0.096 A	0.093 A	3.13%
6 (<i>cook</i>)	1.497 A	1.462 A	2.39%
7 (<i>cook</i>)	1.497 A	1.464 A	2.25%
8 (<i>cook</i>)	1.497 A	1.464 A	2.25%
9 (<i>cook</i>)	1.497 A	1.462 A	2.39%
10 (<i>cook</i>)	1.497 A	1.464 A	2.25%
Rata-Rata			2.61%

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan Gambar 4.13 dan Tabel 4.2 hasil dari pengukuran arus pada power meter dibandingkan dengan hasil pengukuran arus yang dilakukan sebanyak 10 kali. Percobaan menggunakan beban penanak nasi dengan spesifikasi untuk mode pemanas (*warm*) 30 watt serta mode masak (*cook*) 300 watt menunjukkan nilai persentase rata-rata *error* sebesar 2.61%.

Selanjutnya, pengujian terhadap parameter daya dilakukan dengan membandingkan nilai daya yang terukur pada alat power meter terhadap nilai daya yang tercatat pada alat ukur yang dikembangkan dalam penelitian ini. Pengujian ini menggunakan beban berupa perangkat penanak nasi yang memiliki dua mode operasi, yaitu mode pemanas (*warm*) dengan daya sebesar 30 watt dan mode memasak (*cook*) dengan daya sebesar 300 watt. Pengujian dilakukan untuk memastikan akurasi dan keandalan alat ukur dalam merekam konsumsi daya listrik sesuai dengan kondisi beban aktual. Ilustrasi pengujian tersebut dapat dilihat secara visual pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pengujian Daya (Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.3 menunjukkan nilai dari pengukuran daya pada power meter dibandingkan dengan hasil pengukuran daya yang diproses sebanyak 10 kali.

Tabel 4.3 Hasil Pembacaan Daya Power Meter

Percobaan	Nilai Watt Meter (A)	Nilai Power Meter (A)	Persentase <i>Error</i> (%)
1 (<i>warm</i>)	34.2 W	34.83 W	1.84%
2 (<i>warm</i>)	34.2 W	34.80 W	1.75%
3 (<i>warm</i>)	34.2 W	34.82 W	1.81%
4 (<i>warm</i>)	34.2 W	34.81 W	1.78%
5 (<i>warm</i>)	34.2 W	34.83 W	1.84%
6 (<i>cook</i>)	336.3 W	340,54 W	1.24%
7 (<i>cook</i>)	336.3 W	340,40 W	1.18%
8 (<i>cook</i>)	336.3 W	340,34 W	1.18%
9 (<i>cook</i>)	336.3 W	340,54 W	1.24%
10 (<i>cook</i>)	336.3 W	340,47 W	1.22%
Rata-Rata			1.40%

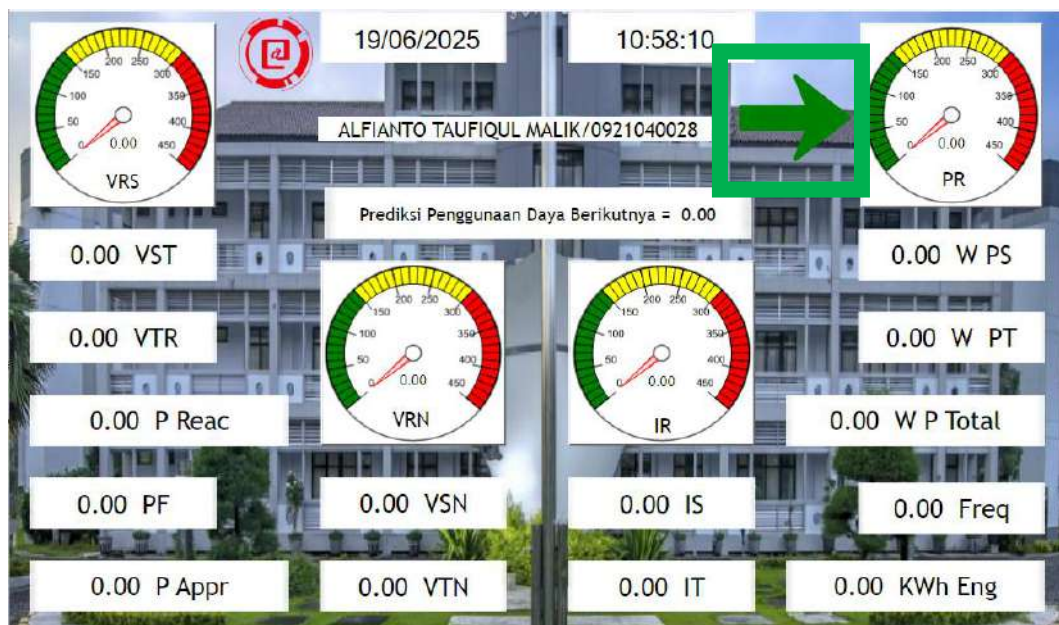
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan Tabel 4.3 hasil dari percobaan menggunakan beban pemanak nasi dengan spesifikasi untuk mode pemanas (*warm*) 30 watt serta mode masak (*cook*) 300 watt menunjukkan nilai persentase rata-rata *error* sebesar 1.40%.

4.3 Pengujian HMI

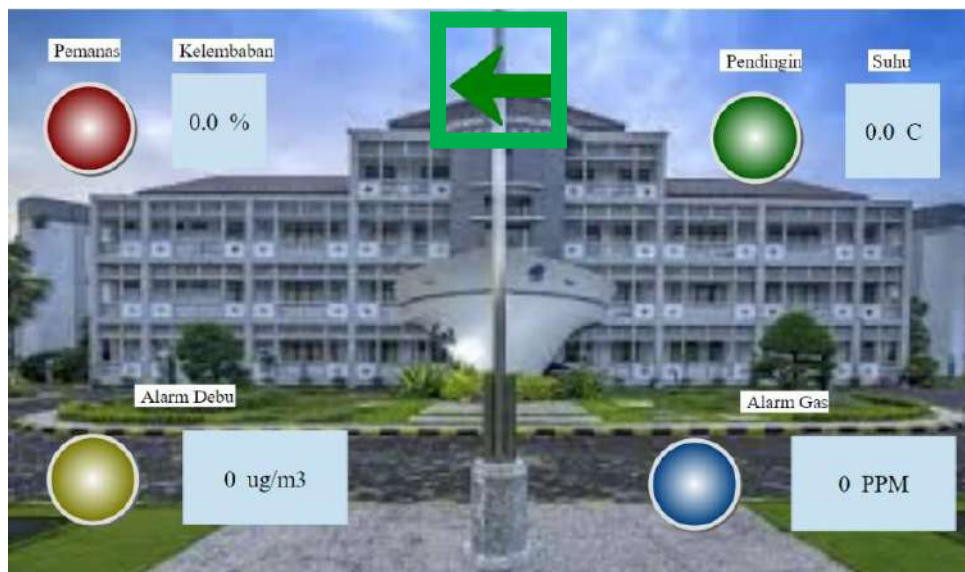
Pada subbab ini dibahas mengenai tampilan yang terdapat pada perangkat HMI (*Human Machine Interface*) Haiwell yang digunakan dalam sistem. HMI ini dirancang dengan dua tampilan utama yang masing-masing memiliki fungsi spesifik. Tampilan pertama akan muncul secara otomatis saat panel pertama kali diaktifkan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.15. Pada tampilan ini, HMI menampilkan nilai pembacaan dari Power Meter secara *real-time*, yang mencakup parameter-parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya aktif, dan sebagainya.

Sementara itu, tampilan kedua, yang ditunjukkan pada Gambar 4.16, berfungsi sebagai menunjukkan hasil pembacaan dari semua sensor yang digunakan pada panel, serta memberikan indikasi berupa alarm peringatan apabila terdeteksi kondisi tidak normal. Ketika sensor mendeteksi suatu gangguan atau nilai melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sistem akan mengaktifkan alarm, dan HMI akan secara otomatis beralih menampilkan informasi sesuai dengan kondisi tersebut, sehingga pengguna dapat mengetahui jenis gangguan yang terjadi.



Gambar 4.15 Tampilan Pertama HMI (Dokumentasi Pribadi)

Perpindahan tampilan pada HMI dari satu halaman ke halaman lainnya dapat dilakukan secara manual oleh pengguna. Hal ini dilakukan dengan menekan ikon berbentuk anak panah berwarna hijau yang terdapat pada layar HMI, sebagaimana ditunjukkan oleh persegi panjang berwarna hijau pada antarmuka. Fitur ini memberikan kemudahan navigasi bagi operator dalam memantau kondisi sistem secara menyeluruh.



Gambar 4.16 Tampilan Kedua HMI (Dokumentasi Pribadi)

4.4 Pengujian Sensor SHT20

Pengujian sensor SHT20 dibahas dalam subbab ini. Sensor SHT20 dihubungkan ke perangkat keras PLC *Haiwell* untuk pengujian. Sensor ini akan digunakan untuk mengukur kelembapan dan suhu. Suhu dan kelembapan ditampilkan secara langsung melalui antarmuka *modbus* RS485, saat sensor SHT20 beroperasi. Sensor SHT20 digunakan dalam penelitian ini sebagai detektor suhu dan kelembapan di dalam panel, yang akan diatur oleh PLC *Haiwell*. Program PLC yang digunakan untuk menampilkan data pembacaan sensor SHT20 ditampilkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 (Dokumentasi Pribadi)

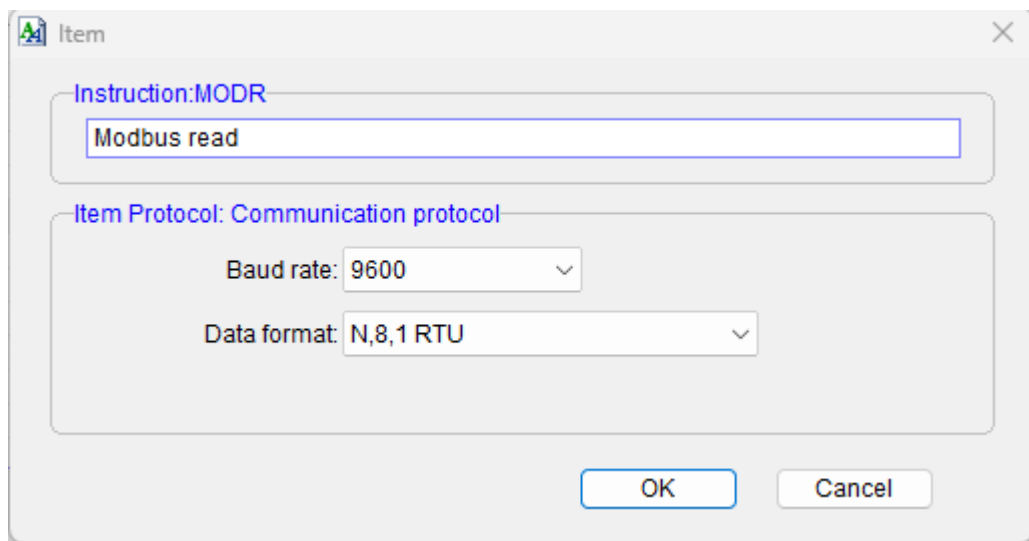
Pada Gambar 4.17 di atas menunjukkan program PLC *Haiwell* untuk memprogram komunikasi *modbus* RS485. Bagian *input* yang perlu dilakukan pengaturan adalah *Slave*, *Code*, *Read*, dan juga *Protocol* sedangkan pada bagian *output* yang perlu dilakukan pengaturan adalah menyimpan data sementara hasil pembacaan sensor SHT20 di dalam memori internal PLC *Haiwell* yaitu V1 sebagai pembacaan suhu dan V2 sebagai pembacaan kelembapan. Berikut Gambar 4.18 adalah tampilan menu pengaturan tersebut.

Item	Component	Description
Input		
Slave	1	Slave device address
Code	4	Function code
Read	1	Starting address of read data
N	1	Length of data
Protocol	38//9600,N,8,1 RTU	Communication protocol
Port	2	Communication port ID
Output		
Out	S0	Communicate complete
Rxd	V1//Suhu	Starting data address to be received

Gambar 4.18 Tampilan Pengaturan Program PLC *modbus* (Dokumentasi Pribadi)

Menurut Gambar 4.18 di atas pada baris *Slave* menunjukkan nomor alamat dari sensor SHT20 yang mana hanya ada 1, pada baris *Code* menunjukkan angka 4

yaitu *function code* digunakan untuk membaca *Input Registers* (area memori *read-only* atau hanya bisa dibaca) dari sensor SHT20. Selanjutnya pada baris *Read* adalah alamat dari *Input Register* yang mana nilai 1 untuk membaca suhu dan nilai 2 untuk membaca kelembapan berdasarkan *datasheet* dari SHT20 yang ditampilkan pada Tabel 4.4. Berikutnya Gambar 4.19 baris protokol yang berfungsi untuk *setting* komunikasi data *modbus* yaitu sebagai berikut.



Gambar 4.19 Program Pengaturan Komunikasi *Modbus* (Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan Gambar 4.19 pengaturan program di atas menunjukkan *baud rate* yang digunakan adalah 9600 dan data format N,8,1 RTU. Penjelasannya adalah sebagai berikut:

- *Baud rate* yaitu kecepatan komunikasi: 9600 bit (Bit adalah unit data terkecil yang merepresentasikan 0 dan 1) per detik.
- N atau *No check (no parity)* (*parity* adalah metode untuk mendeteksi kesalahan dalam sistem penyimpanan dan transmisi data) artinya tanpa pemeriksaan *parity*, atau tidak ada bit tambahan untuk mendeteksi *error* ringan.
- 8 yaitu Setiap karakter data terdiri dari 8 bit.
- 1 adalah bit stop digunakan untuk mengakhiri satu *frame* data.

- RTU (*Remote Terminal Unit*) adalah representasi data biner yang ringkas, membuatnya efisien dan cepat dalam komunikasi serial.

Pengaturan pada program *modbus* tersebut berdasarkan *datasheet* SHT20 yang ditampilkan pada Gambar 4.20.

Product Parameters:

Work voltage: DC4-30 v (highest do not exceed 33 v) .

Most powerful: 0.2 W .

Work environment: Temperature 20 °C - 60 °C, Humidity 0-100.

Control precision: Temperature $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, Humidity $\pm 3\%\text{RH}$.

Output interface: RS485 communication (standard MODBUS protocol and custom ordinary), see note agreement device.

Device address: 1-247 can be set, the default is 1.

Baud rate: 9600(the user can set), 8bits, one stop, no check;

Shape size:60*30*18(mm)

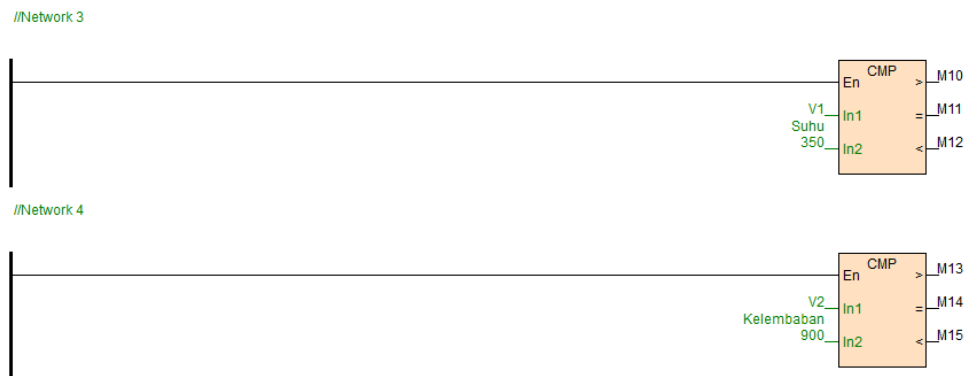
Gambar 4.20 Datasheet SHT20 (datasheet sht20 modbus register number)

Tabel 4.4 Datasheet SHT20

Register Type	Register Address	Register Contents	Number Of Bytes
Input Register	0x0001	Temperature	2
	0x0002	Humidity	2

Sumber: datasheet sht20 modbus register number

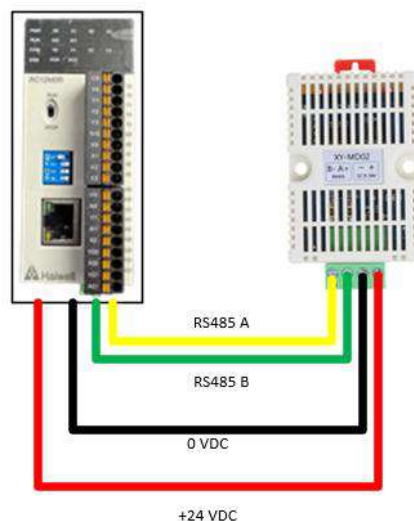
Dari hasil pembacaan sensor SHT20 yang telah disimpan pada memori internal PLC yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 yaitu V1 untuk suhu dan V2 untuk kelembapan akan diolah pada program berikut.



Gambar 4.21 Program PLC SHT20 (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.21 tersebut merupakan program *compare* (membandingkan) yaitu membandingkan nilai *input* V1 dengan nilai 350 dan nilai *input* V2 dengan nilai 900. Apabila nilai *input* V1 yaitu pembacaan suhu lebih besar dari 350 maka akan mengaktifkan memori internal PLC dengan register M10 dan jika nilai *input* V2 yang merupakan hasil pembacaan kelembapan lebih besar dari 900 maka akan mengaktifkan memori internal PLC dengan register M13.

Berikut ini Gambar 4.22 yang menunjukkan *wiring* diagram pada sensor SHT20 yang terhubung ke PLC *Haiwell* melalui komunikasi *modbus* RTU RS485.



Gambar 4.22 Wiring Diagram Sensor SHT20 (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.22 di atas menunjukkan *wiring* diagram yang menghubungkan sensor SHT20 ke PLC *Haiwell*. Garis warna merah dihubungkan

ke suplai daya dengan nilai 24VDC, sedangkan garis warna hitam dihubungkan ke suplai daya dengan nilai 0VDC. Kemudian untuk mengirim data dari sensor SHT20 ke PLC *Haiwell*, menggunakan komunikasi RS485 ditunjukkan pada garis warna kuning dan hijau dengan keterangan warna kuning untuk bagian komunikasi A dan warna hijau untuk bagian komunikasi B. Komunikasi ini biasa disebut *Differential pair* yaitu sepasang kabel atau jalur sinyal yang digunakan untuk mentransmisikan data secara diferensial, berdasarkan perbedaan tegangan antara dua kabel (bukan tegangan terhadap *ground*).




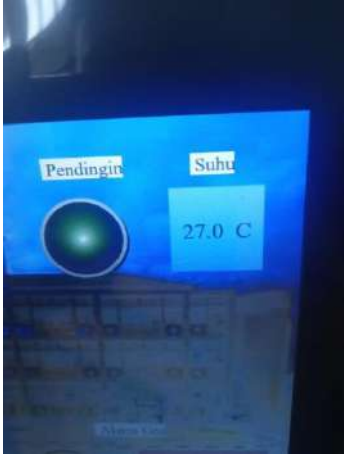
Selanjutnya, Gambar 4.23 pada persegi panjang berwarna merah menampilkan posisi penempatan sensor SHT20 di dalam panel serta kondisi lingkungan saat sensor tersebut sedang beroperasi. Sensor SHT20 yang digunakan berfungsi sebagai pembacaan suhu dan kelembapan udara di dalam panel, dan diletakkan pada lokasi strategis agar mampu merepresentasikan kondisi lingkungan secara akurat. Gambar ini juga memberikan gambaran visual mengenai orientasi pemasangan serta integrasi sensor dengan komponen lain dalam sistem. Informasi ini penting untuk memastikan bahwa sensor bekerja secara optimal dan tidak terpengaruh oleh gangguan eksternal yang dapat memengaruhi hasil pembacaan.









Gambar 4.23 Letak Sensor SHT20 (Dokumentasi Pribadi)

Selanjutnya pada Tabel 4.5 menunjukkan pengujian sensor terhadap alat ukur HTC1 dan hasil pembacaan SHT20 untuk parameter suhu oleh PLC *Haiwell*, pengujiannya dilakukan dengan cara mencatat hasil pembacaan sensor dan membandingkannya dengan alat ukur.






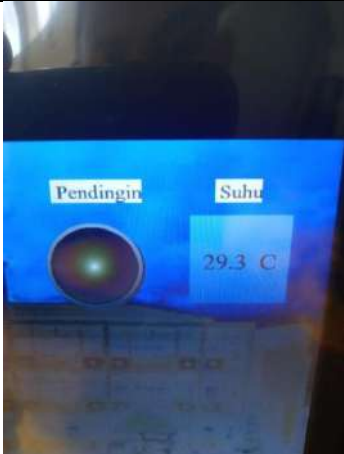
Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Suhu.

Percobaan	Hasil HTC1 ($^{\circ}\text{C}$)	Hasil Sensor ($^{\circ}\text{C}$)	Persentase Error (%)
1 (08.00)	 27.1 $^{\circ}\text{C}$	 27.1 $^{\circ}\text{C}$	0%
2 (08.15)	 27.0 $^{\circ}\text{C}$	 27.0 $^{\circ}\text{C}$	0%




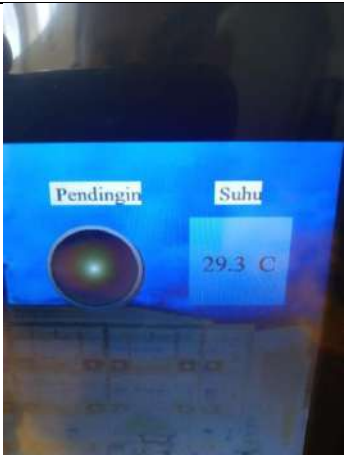
Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Suhu Lanjutan 1.

Percobaan	Hasil HTC1 (°C)	Hasil Sensor (°C)	Persentase Error (%)
3 (08.30)	 26.9 °C	 27.0 °C	0.37%
4 (12.00)	 28.3 °C	 28.6 °C	1.05%
5 (12.15)	 28.6 °C	 28.7 °C	0.35%

Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Suhu Lanjutan 2.

Percobaan	Hasil HTC1 (°C)	Hasil Sensor (°C)	Persentase Error (%)
6 (12.31)	 28.7 °C	 28.7 °C	0%
7 (12.45)	 28.7 °C	 28.7 °C	0%
8 (15.00)	 30.0 °C	 29.3 °C	2.39

Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Suhu Lanjutan 3.





Percobaan	Hasil HTC1 (°C)	Hasil Sensor (°C)	Persentase Error (%)
9 (15.15)	 29.6 °C	 29.3 °C	1.02%
10 (15.30)	 29.6 °C	 29.3 °C	1.02%
Rata-Rata			0.62%

Sumber: Dokumentasi Pribadi







Selanjutnya, pada Tabel 4.6 disajikan hasil pembacaan nilai kelembapan udara yang diperoleh dari sensor kelembapan yang terhubung dengan PLC *Haiwell*. Data tersebut kemudian dibandingkan secara langsung dengan hasil pengukuran dari alat ukur standar, yaitu HTC1, yang telah umum digunakan dalam pengukuran suhu dan kelembapan lingkungan. Perbandingan ini dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan konsistensi pembacaan sensor yang digunakan dalam sistem berbasis PLC. Melalui data pada tabel tersebut, dapat dilihat seberapa besar deviasi

atau selisih nilai yang terjadi antara kedua perangkat, sehingga dapat dijadikan dasar dalam menilai kinerja sensor dan keandalannya dalam pengaplikasian sistem *monitoring* lingkungan.







Tabel 4.6 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Kelembapan

Percobaan	Hasil HTC1 (%)	Hasil Sensor (%)	Persentase Error (%)
1 (08.00)	 62 %	 62.0 %	0%
2 (08.15)	 62 %	 62.0 %	0%





Tabel 4.6 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Kelembaban Lanjutan 1.

Percobaan	Hasil HTC1 (%)	Hasil Sensor (%)	Persentase Error (%)
3 (08.30)	 <p>62 %</p>	 <p>62.1 %</p>	0.16%
4 (12.00)	 <p>54 %</p>	 <p>53.8 %</p>	0.37%
5 (12.15)	 <p>54 %</p>	 <p>53.8 %</p>	0.37%

Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Kelembapan Lanjutan 2.

Percobaan	Hasil HTC1 (%)	Hasil Sensor (%)	Persentase Error (%)
6 (12.31)	 53 %	 53.3 %	0.56%
7 (12.45)	 53 %	 53.3 %	0.56%
8 (15.00)	 51 %	 52.3 %	2.49%

Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Sensor SHT20 Kelembapan Lanjutan 3.

Percobaan	Hasil HTC1 (%)	Hasil Sensor (%)	Persentase <i>Error</i> (%)
9 (15.15)	 <p>52 %</p>	 <p>52.3 %</p>	0.57%
10 (15.30)	 <p>52 %</p>	 <p>52.3 %</p>	0.57%
Rata-rata			0.57%

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan Tabel 4.5 untuk hasil pembacaan nilai suhu dan Tabel 4.6 untuk hasil pembacaan nilai kelembapan persentase rata-rata *error* sebesar 0.62% dan 0.57%.

4.5 Pengujian Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 pengujiannya dibahas secara mendetail dalam subbab ini. Dalam konteks pengujian ini, sensor tersebut diintegrasikan secara langsung dengan perangkat keras PLC *Haiwell* untuk mengevaluasi kinerjanya dalam sistem. *Output* dari sensor MQ-2 dihubungkan ke AI0 pada PLC, sehingga nilai tegangan analog yang dihasilkan dapat dibaca dan ditampilkan secara *real-time* oleh sistem. Fungsi utama sensor ini dalam penelitian adalah sebagai detektor asap yang dipasang pada panel, dengan seluruh proses pengendalian dan pemrosesan data dikendalikan oleh PLC *Haiwell*. Dengan demikian, sensor ini memiliki peran penting dalam mendukung sistem *monitoring* keamanan pada panel. Pada Gambar 4.24 menunjukkan program dari PLC *Haiwell* untuk sensor MQ-2.



Gambar 4.24 Program PLC MQ-2 (Dokumentasi Pribadi)

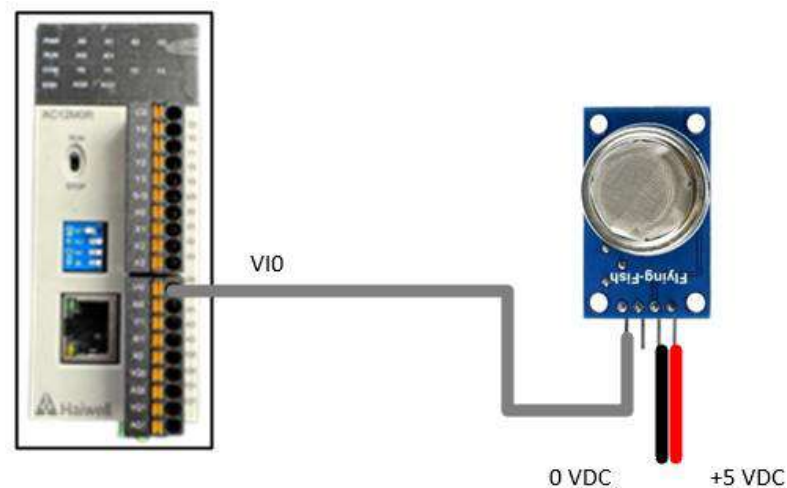
Pada Gambar 4.24 di atas merupakan program PLC *scaling* yaitu membuat rentang *input* data sensor MQ-2 dengan *Analog Input 0* (AI0) dari 100 sampai 10.000 menjadi *output* 0 sampai 99 agar nilai sesuai dengan pembacaan alat ukur. Selanjutnya pada bagian *output* hasil dari pembacaan sensor akan disimpan sementara pada memori internal PLC yaitu V10.



Gambar 4.25 Program *Compare* Sensor MQ-2 (Dokumentasi Pribadi)

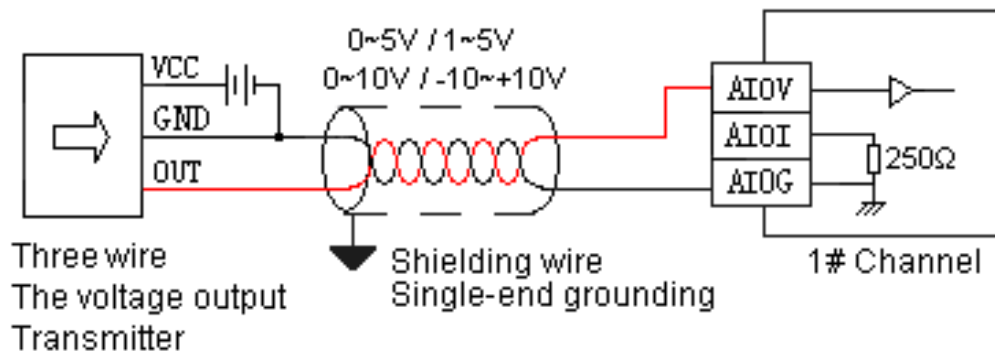
Kemudian pada Gambar 4.25 di atas merupakan program *compare* (membandingkan) dari *input* memori internal PLC yaitu hasil *output* program PLC yang ditunjukkan Gambar 4.24. Program PLC ini membandingkan *input* V10 dengan nilai 20 yang mana jika nilai V10 lebih dari 20 maka akan mengaktifkan memori internal PLC yaitu M40. Jika nilai V10 sama dengan 20 maka akan mengaktifkan memori internal PLC yaitu M41 dan jika nilai V10 kurang dari 20 maka akan mengaktifkan memori internal PLC yaitu M42.

Pada Gambar 4.26 ditunjukkan *wiring* diagram atau skema jalur kabel dari sensor MQ-2 yang difungsikan sebagai pendeteksi kadar gas, ke salah satu *input* analog pada perangkat PLC Haiwell.



Gambar 4.26 *Wiring* Diagram Sensor MQ-2 (Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.26 di atas menunjukkan *wiring* diagram dengan keterangan garis warna hitam dihubungkan dengan tegangan 0VDC dan garis warna merah dihubungkan ke tegangan 5VDC yang berasal dari *converter* DC yang ditunjukkan pada lingkaran merah di Gambar 4.30, sedangkan garis warna abu-abu dihubungkan pada PLC di jalur V10. *Wiring* diagram tersebut berdasarkan buku panduan yang ditunjukkan pada Gambar 4.27.



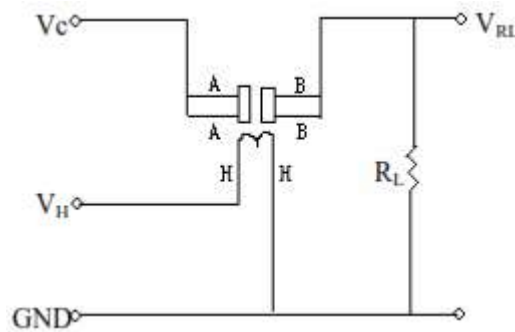
Gambar 4.27 Wiring PLC Sinyal Analog (Manual Book)

Pada prinsip kerja *output* sensor MQ-2 berupa tegangan yang mana apabila kadar gas naik maka tegangan *output* juga akan naik, berdasarkan datasheet pada Gambar 4.28.

Model No.		MQ-2	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Combustible gas and smoke	
Concentration		300-10000ppm (Combustible gas)	
Circuit	Loop Voltage	V_e	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$5.0V \pm 0.2V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R_H	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Room Tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	R_s	$2K\Omega - 20K\Omega$ (in 2000ppm C_2H_6)
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(1000ppm \text{ isobutane}) \geq 5$
	Slope	α	$\leq 0.6(R_{5000ppm}/R_{3000ppm} CH_4)$
Condition	Tem. Humidity	$20^\circ C \pm 2^\circ C$; $65\% \pm 5\% RH$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.0V \pm 0.1V$; $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

Gambar 4.28 Datasheet MQ-2 (Datasheet Sensor Gas MQ-2)

Berdasarkan Gambar 4.28 *datasheet* tersebut kadar gas mengendalikan nilai hambatan untuk mengatur tegangan *output* prinsip kerja dari sensor tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Skematik Sensor MQ-2 (Datasheet Sensor Gas MQ-2)

Selanjutnya, Gambar 4.30 pada lingkaran hijau memperlihatkan secara jelas posisi penempatan sensor MQ-2 di dalam panel.



Gambar 4.30 Letak Sensor MQ-2 (Dokumentasi Pribadi)

Selanjutnya pada Tabel 4.7 adalah hasil pembacaan sensor MQ-2 yang dibaca oleh PLC, pengujian sensor MQ-2 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur.



Gambar 4.31 Pengujian Sensor MQ-2 (Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.7 Hasil Pembacaan Sensor MQ-2

Percobaan	Hasil Alat Ukur (PPM)	Nilai Sensor (PPM)	Persentase Error (%)
1	10 PPM	10 PPM	0%
2	10 PPM	10 PPM	0%
3	9 PPM	10 PPM	11.11%
4	10 PPM	10 PPM	0%
5	10 PPM	10 PPM	0%
6	10 PPM	10 PPM	0%
7	10 PPM	10 PPM	0%
8	9 PPM	10 PPM	11.11%
9	10 PPM	10 PPM	0%
10	10 PPM	10 PPM	0%
Rata-rata			2.22%

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Hasil dari pengujian pada Tabel 4.7 tersebut yang dilakukan dengan membandingkan sensor MQ-2 dan alat ukur kualitas udara karbon monoksida (CO) menunjukkan nilai rata-rata 2.22%.

4.6 Pengujian Sensor Debu (GP2Y1010AU0F)

Pada sub bab ini membahas pengujian sensor debu. Sensor debu akan dihubungkan ke perangkat keras PLC *Haiwell* untuk pengujian.. Hasil pengukuran tersebut akan ditampilkan secara langsung pada HMI *Haiwell*, saat sensor debu

beroperasi. Sensor debu digunakan dalam penelitian ini sebagai detektor ketebalan debu pada panel, yang akan diatur oleh PLC *Haiwell*. Program PLC sensor debu ditampilkan dalam Gambar 4.32.



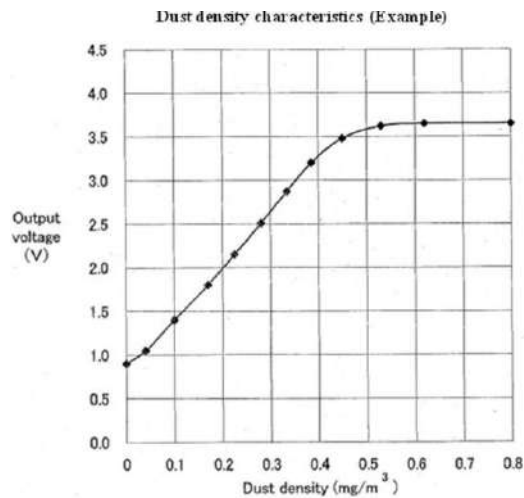
Gambar 4.32 Program Sensor Debu (Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan Gambar 4.32 di atas merupakan program PLC *scaling* yaitu membuat rentang *input* data sensor debu dengan *Analog Input 1* (AI1) dari 0 sampai 800 menjadi *output* 0 sampai 800 agar nilai sesuai dengan datasheet pada Gambar 4.34. Selanjutnya pada bagian *output* hasil dari pembacaan sensor akan disimpan sementara pada memori internal PLC yaitu V20.



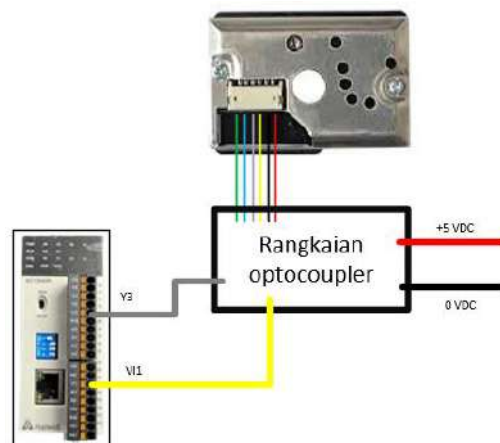
Gambar 4.33 Program *Compare* Sensor Debu (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.33 menunjukkan program *compare* (membandingkan) dari *input* memori internal PLC yaitu hasil *output* program PLC yang ditunjukkan Gambar 4.32. Program PLC ini membandingkan *input* V20 dengan nilai 400 yang mana jika nilai V20 lebih dari 400 maka akan mengaktifkan memori internal PLC yaitu M30. Jika nilai V20 sama dengan 400 maka akan mengaktifkan memori internal PLC yaitu M31 dan jika nilai V20 kurang dari 400 maka akan mengaktifkan memori internal PLC yaitu M32.



Gambar 4.34 Datasheet Sensor Debu (Datasheet GP2Y1010AU0F)

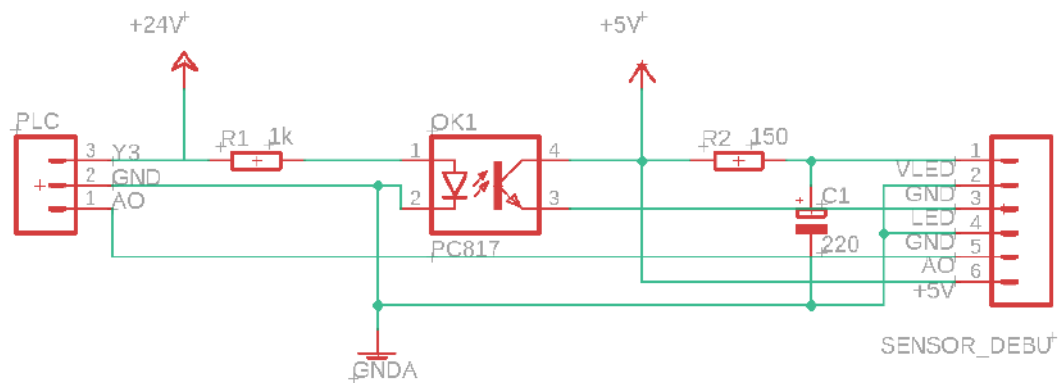
Berikut ini Gambar 4.35 yang menunjukkan *wiring* diagram pada sensor debu yang terhubung ke PLC *Haiwell* melalui pin analog VI1 dan pin digital Y3.



Gambar 4.35 *Wiring* Diagram Sensor Debu (Dokumentasi Pribadi)

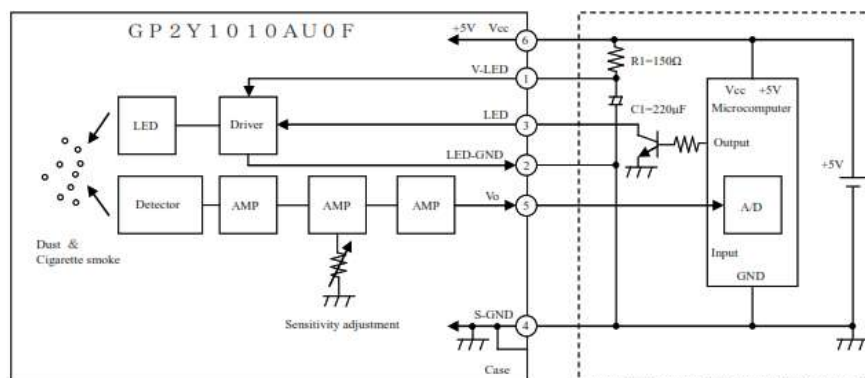
Berdasarkan Gambar 4.35 rangkaian analog ditandai dengan garis warna kuning tersebut terhubung ke pin VI1 dirangkai menurut Gambar 4.27. Sedangkan rangkaian digital yang ditunjukkan pada garis warna abu-abu terhubung dengan pin Y3 dengan tegangan 24VDC dirangkai berdasarkan Gambar 4.36. Sedangkan pada garis warna merah terhubung ke tegangan 5VDC dan garis warna hitam terhubung

ke tegangan 0VDC. Berikut Gambar 4.36 yang menunjukkan *schematic diagram* dari rangkaian *optocoupler*.



Gambar 4.36 Schematic Diagram Optocoupler (Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan Gambar 4.36 di atas *schematic diagram* tersebut bertujuan untuk mengendalikan lampu *infrared* yang ada pada sensor debu. *Schematic* tersebut dibuat berdasarkan *datasheet* sensor debu, ditampilkan dalam Gambar 4.37.



Gambar 4.37 Schematic Diagram Sensor Debu (Datasheet GP2Y1010AU0F)

Pada Gambar 4.36 menggunakan IC *optocoupler*, yang merupakan perangkat semi konduktor atau komponen yang terdiri dari LED (Ligh Emitting Diode) yang sensitif terhadap cahaya. Biasanya difungsikan sebagai isolasi rangkaian satu ke rangkaian yang lainnya. *Optocoupler* juga sering di kenal dengan nama *optical coupler* dan *opto isolator*. Disebut sebagai *opto isolator* karena LED dengan komponen sensitif cahaya terpisah oleh udara, namun dua komponen ini

biasanya di bungkus dalam satu tempat salah satu tipe *optocoupler* adalah PC817 untuk datasheet dari IC tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.38.

■ Absolute Maximum Ratings (T_a=25°C)				
	Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I _F	50	mA
	^{*1} Peak forward current	I _{FM}	1	A
	Reverse voltage	V _R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	V _{CEO}	^{*4} 80	V
	Emitter-collector voltage	V _{ECO}	6	V
	Collector current	I _C	50	mA
	Collector power dissipation	P _C	150	mW
	Total power dissipation	P _{tot}	200	mW
	^{*2} Isolation voltage	V _{iso (rms)}	5.0	kV
	Operating temperature	T _{opr}	-30 to +100	°C
	Storage temperature	T _{stg}	-55 to +125	°C
	^{*3} Soldering temperature	T _{sol}	260	°C

Gambar 4.38 Datasheet IC PC817 (Datasheet PC817)

Berdasarkan datasheet dari Gambar 4.38 jika tegangan *input* yang memasuki IC PC817 sebesar 24VDC dan arus yang dibutuhkan untuk mengaktifkan IC tersebut adalah maksimal sebesar 50 mA, Maka rentang paling aman untuk mengaktifkan IC tersebut adalah dengan menggunakan 1kΩ sehingga arus yang dikeluarkan sebesar 24 mA.

Kemudian pada Gambar 4.39 menunjukkan secara jelas posisi dan kondisi pada saat sensor debu bekerja di dalam panel dan rangkaian *optocoupler* ditandai dengan persegi panjang warna kuning terletak pada posisi bawah sebelah kiri di dalam panel. Gambar ini memberikan gambaran visual mengenai bagaimana sensor dipasang.



Gambar 4.39 Letak Sensor Debu (Dokumentasi Pribadi)

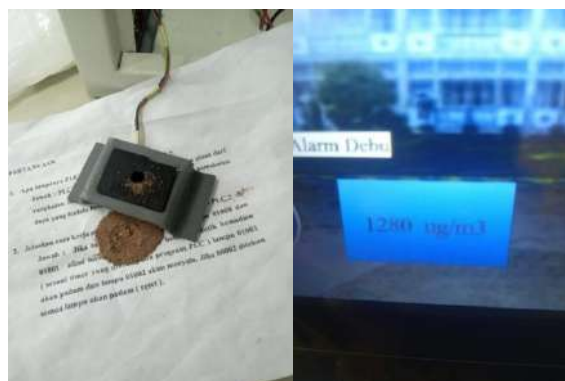
Pengujian sensor ini dilakukan dengan cara menyimulasikan keberadaan partikel halus di udara di tiga kondisi ditunjukkan pada Gambar 4.40, Gambar 4.41, dan Gambar 4.42. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati respons sensor terhadap perubahan kondisi lingkungan dan memastikan bahwa sensor berfungsi dengan baik serta mampu mengirimkan data ke PLC secara akurat.



Gambar 4.40 Percobaan Sensor Debu di Dalam Panel (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.41 Percobaan Sensor Debu di Luar Panel (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.42 Percobaan Sensor Debu Dengan Partikel Debu (Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.8 Hasil Pembacaan Sensor Debu

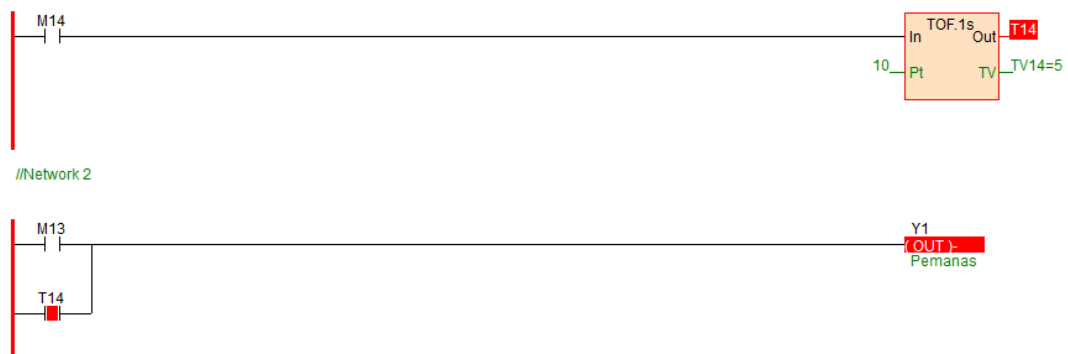
Percobaan	Kondisi Sensor	Nilai Sensor (ug/m ³)
1	Di dalam panel	35 ug/m ³
2	Di dalam panel	36 ug/m ³
3	Di dalam panel	37 ug/m ³
4	Di dalam panel	35 ug/m ³
5	Di dalam panel	37 ug/m ³
6	Di luar panel	35 ug/m ³
7	Di luar panel	37 ug/m ³
8	Di luar panel	36 ug/m ³
9	Di luar panel	37 ug/m ³
10	Di luar panel	35 ug/m ³
11	Dengan partikel debu	1280 ug/m ³
12	Dengan partikel debu	1350 ug/m ³
13	Dengan partikel debu	1280 ug/m ³
14	Dengan partikel debu	1345 ug/m ³
15	Dengan partikel debu	1350 ug/m ³

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan percobaan yang tertera pada Tabel 4.8 data pembacaan sensor pada saat dikondisi lingkungan yang bersih sama dengan kondisi di dalam panel yaitu menunjukkan nilai antara 35 ug/m³ sampai 37 ug/m³ sedangkan pada saat sensor debu berada di dekat partikel seperti bubuk nilai yang terbaca antara 1280 ug/m³ sampai 1350 ug/m³.

4.7 Pengujian Kipas Pemanas

Pada sub bab ini membahas pengujian kipas pemanas. Kipas pemanas yang terhubung dengan perangkat keras PLC *Haiwell* melalui *relay* pada pin digital. Kipas pemanas ini akan digunakan untuk menurunkan kelembapan yang dideteksi sensor SHT20. Berikut ini merupakan Gambar 4.43 yang menunjukkan program PLC untuk mengendalikan kipas pemanas.



Gambar 4.43 Program PLC Kipas Pemanas (Dokumentasi Pribadi)

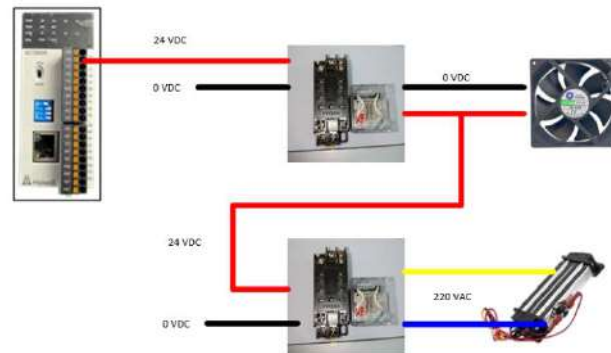
Pada Gambar 4.43 *input* memori internal dari PLC yaitu M14 berasal dari program *compare* dengan parameter kelembapan di sensor SHT20 pada Gambar 4.21 berfungsi sebagai *input* sinyal ON dan OFF. Maksud dari program tersebut adalah pada saat M14 aktif (ON) maka sinyal T14 juga akan aktif akan tetapi hitung maju 10 detik tidak berjalan, hitung maju tersebut akan berjalan jika sinyal M14 dari kondisi ON menjadi OFF yang ditampilkan di TV14. Pada saat nilai TV14 sudah mencapai 10 detik maka perhitungan tersebut akan reset dan nilai T14 akan mati (OFF). Fungsi program tersebut adalah sebagai pengunci jika nilai kelembapan sudah kurang dari 900 maka kipas pemanas tersebut akan tetap menyala selama 10 detik agar nilai kelembapan terus menurun.

Tampilan HMI *Haiwell* pada saat kipas pemanas aktif dengan indikator warna merah. Kipas pemanas tersebut digunakan dalam penelitian ini sebagai penurun kelembapan pada panel, yang akan diatur oleh PLC *Haiwell*. Hasil pengujian kipas pemanas saat beroperasi ditunjukkan oleh Gambar 4.44.



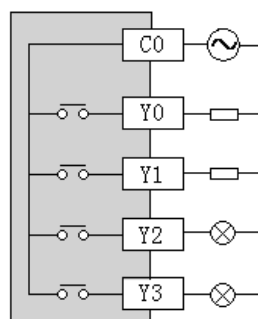
Gambar 4.44 Hasil Pengujian Kipas Pemanas (Dokumentasi Pribadi)

Selanjutnya pada Gambar 4.45 menunjukkan *wiring* diagram untuk kipas pemanas. Kipas pemanas tersebut terhubung melalui *relay* yang mengaktifkannya melalui pin digital *output* Y1 pada PLC Haiwell.



Gambar 4.45 *Wiring* Diagram Kipas Pemanas (Dokumentasi Pribadi)

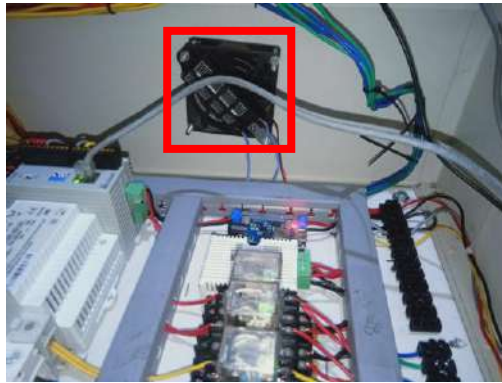
Menurut Gambar 4.45 *wiring* diagram tersebut yang terhubung ke pin digital *output* yaitu Y1 dirangkai berdasarkan buku panduan pada Gambar 4.46. Pada garis warna merah dihubungkan ke tegangan 24VDC, kemudian garis warna hitam dihubungkan ke tegangan 0VDC, selanjutnya pada bagian pemanas garis warna merah dihubungkan ke tegangan 1 Fasa yaitu 220VAC, terakhir pada garis warna biru dihubungkan ke Netral. Prinsip kerja dari rangkaian tersebut adalah pada saat PLC memberikan sinyal ke *relay* pertama sehingga *relay* tersebut aktif dan kipas serta *relay* kedua juga akan aktif. Pada saat *relay* kedua aktif maka pemanas yang ada pada kipas juga akan aktif.



AC/DC Relay output

Gambar 4.46 Rangkaian Digital *Output* PLC (Manual Book)

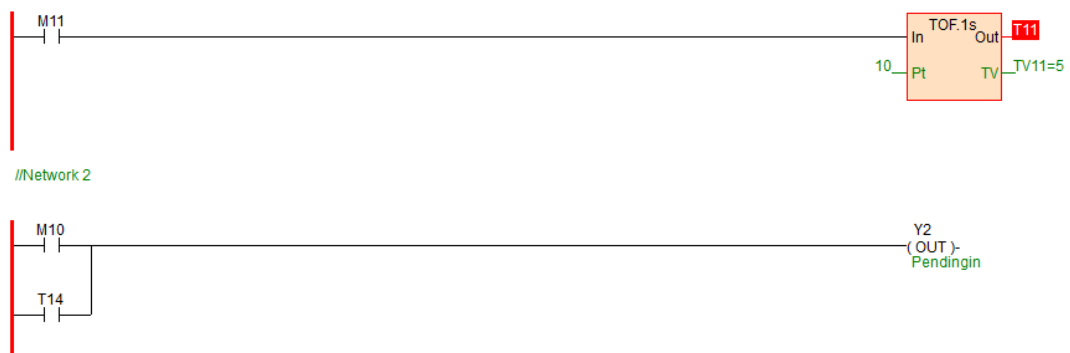
Kemudian pada gambar 4.47 menunjukkan lokasi serta kondisi pada saat kipas pemanas menyala di panel yang ditandai gambar persegi panjang warna merah.



Gambar 4.47 Letak Kipas Pemanas (Dokumentasi Pribadi)

4.8 Pengujian Kipas Pendingin

Pada sub bab ini membahas pengujian kipas pendingin. Kipas pendingin terhubung dengan perangkat keras PLC *Haiwell* melalui *relay* pada pin digital. Kipas pendingin ini akan digunakan untuk menurunkan suhu yang dideteksi sensor SHT20. Kipas pendingin tersebut digunakan dalam penelitian ini sebagai penurun suhu di dalam panel, yang akan diatur oleh PLC *Haiwell*. Gambar 4.48 menampilkan program kipas pendingin.



Gambar 4.48 Program PLC Kipas Pendingin (Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan Gambar 4.48 *input* memori internal dari PLC yaitu M11 berasal dari program *compare* dengan parameter suhu di sensor SHT20 pada

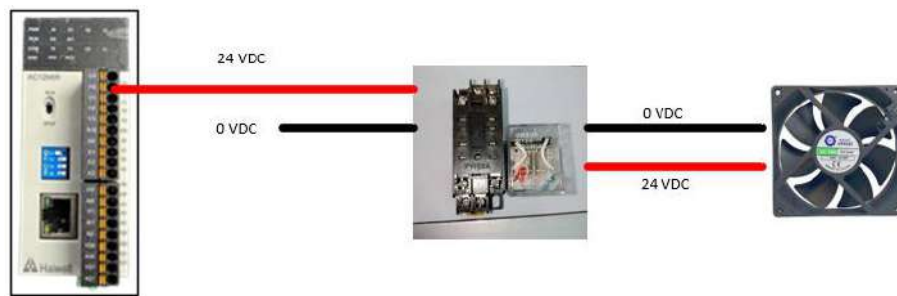
Gambar 4.21 berfungsi sebagai *input* sinyal ON dan OFF. Maksud dari program tersebut sama seperti pada penjelasan sebelumnya yaitu pada saat M11 aktif maka sinyal T11 juga akan aktif akan tetapi hitung maju 10 detik tidak berjalan, hitung maju tersebut akan berjalan jika sinyal M11 dari kondisi ON menjadi OFF yang ditampilkan di TV11. Pada saat nilai TV11 sudah mencapai 10 detik maka perhitungan tersebut akan reset dan nilai T11 akan mati. Fungsi program tersebut adalah sebagai pengunci jika nilai suhu sudah kurang dari 350 maka kipas pendingin tersebut akan tetap menyala selama 10 detik agar nilai suhu terus menurun.

Hasil uji coba tersebut akan ditampilkan secara langsung di HMI *Haiwell* pada saat kipas aktif dengan indikator warna hijau. Hasil pengujian kipas pendingin saat beroperasi ditampilkan dalam Gambar 4.49.



Gambar 4.49 Hasil Pengujian Kipas Pendingin (Dokumentasi Pribadi)

Selanjutnya pada Gambar 4.50 menunjukkan *wiring* diagram untuk kipas pemanas. Kipas pemanas tersebut terhubung melalui *relay* yang mengaktifkannya melalui pin digital *output* Y2 pada PLC *Haiwell*.



Gambar 4.50 *Wiring Diagram Kipas Pendingin (Dokumentasi Pribadi)*

Menurut Gambar 4.50 *wiring* tersebut yang terhubung ke PLC dirangkai berdasarkan Gambar 4.46. Pada saat sinyal dari PLC melalui pin digital *output* Y2 maka akan menjalankan relay tersebut untuk mengaktifkan kipas pendingin. Berdasarkan Gambar 4.50 garis yang berwarna merah menunjukkan *input* tegangan 24VDC dan garis yang berwarna hitam menunjukkan *input* tegangan 0VDC.

Kemudian pada Gambar 4.51 memperlihatkan secara jelas posisi penempatan kipas pendingin di dalam panel yang ditunjukkan oleh persegi panjang warna hijau. Gambar ini memberikan gambaran visual mengenai bagaimana kipas pendingin dipasang.



Gambar 4.51 Lokasi Kipas Pendingin (Dokumentasi Pribadi)

4.9 Pengujian Alarm

Pada sub bab ini membahas pengujian alarm. Alarm akan terhubung dengan perangkat keras PLC *Haiwell* melalui *relay* untuk dilakukan pengujian.

Alarm ini akan digunakan untuk peringatan yang dideteksi sensor MQ-2 dan sensor debu. Program PLC yang berfungsi untuk mengaktifkan alarm ditampilkan oleh Gambar 4.52.



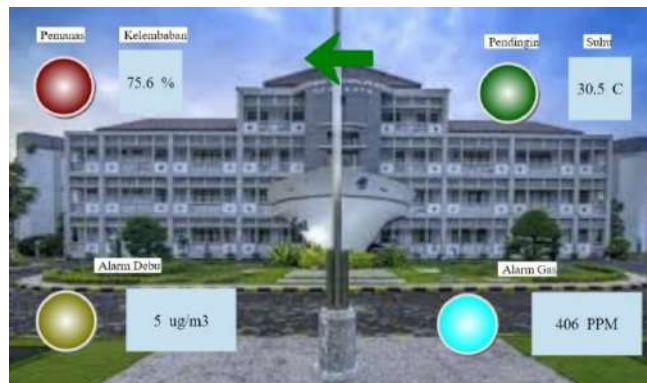
Gambar 4.52 Program PLC Alarm (Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan Gambar 4.52 yang menampilkan program alarm, parameter M30 merupakan sinyal dari sensor debu sedangkan M40 merupakan sinyal dari sensor MQ-2. Program tersebut bertujuan agar sinyal *input* dari M30 dan M40 pada saat aktif langsung menghitung maju selama 5 detik serta *output* T0 juga akan aktif kemudian akan reset saat nilai TV0 menunjukkan angka 5. Pada saat aktif T0 terhubung ke *output* digital Y0 untuk mengaktifkan alarmnya.

Hasil uji coba tersebut akan ditampilkan secara langsung di HMI *Haiwell* pada saat aktif dengan indikator warna kuning untuk deteksi debu dan biru untuk deteksi asap. Alarm tersebut digunakan dalam penelitian ini sebagai peringatan pada panel, yang diatur oleh PLC *Haiwell*. Hasil pengujian alarm saat beroperasi ditunjukkan pada Gambar berikut.

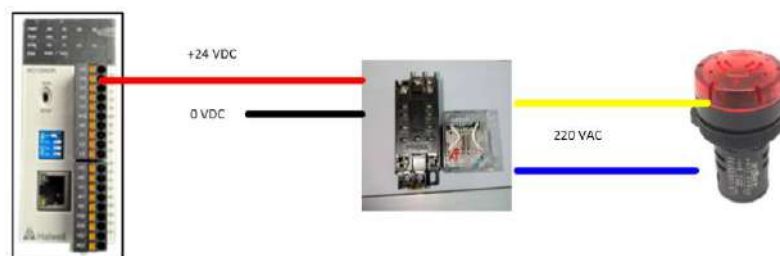


Gambar 4.53 Hasil Alarm Untuk Debu (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.54 Hasil Alarm Untuk Gas (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.55 menunjukkan *wiring* diagram untuk alarm. Alarm tersebut terhubung melalui *relay* yang mengaktifkannya melalui pin digital *output* Y0 pada PLC *Haiwell*.



Gambar 4.55 Wiring Diagram Alarm (Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan Gambar 4.55 tersebut *input* sinyal dari pin Y0 pada PLC memiliki tegangan 24 VDC yang ditunjukkan pada garis warna merah, sedangkan untuk garis warna hitam terhubung dengan tegangan 0 VDC. *Output* dari relay yang terhubung dengan alarm memiliki tegangan 220 VAC ditandai dengan garis warna kuning sedangkan garis warna biru terhubung dengan Netral.

Selanjutnya, Gambar 4.56 memperlihatkan lokasi serta kondisi pada saat alarm aktif di pintu panel. Aktivasi alarm ini ditandai dengan menyala-nya indikator lampu berwarna merah, yang berfungsi sebagai penanda visual bahwa telah terjadi kondisi abnormal atau situasi tertentu yang memerlukan perhatian atau tindakan segera. Penempatan indikator ini dirancang sedemikian rupa agar mudah terlihat oleh operator, sehingga sistem peringatan dapat bekerja secara efektif dalam

mendukung aspek keselamatan dan respons cepat terhadap gangguan yang terdeteksi.



Gambar 4.56 Tampilan Alarm Saat Menyala (Dokumentasi Pribadi)

4.10 Pengujian Metode LSTM

Pengujian terhadap metode ini dilakukan dengan memanfaatkan sampel data yang telah diambil dari *website monitoring* yang ada. Data yang digunakan berupa data rekaman daya listrik (dalam satuan Watt) dikumpulkan secara berkala. Dalam tahap pemrosesan data ini, diadakan pembagian dataset ke dalam tiga bagian utama, yaitu data pelatihan (*training*), validasi (*validation*), serta pengujian (*testing*). Sebanyak 70% dari total data digunakan sebagai data pelatihan untuk melatih model, sedangkan 15% lainnya digunakan untuk proses validasi guna mengevaluasi performa model selama pelatihan, dan sisanya, yaitu 15% terakhir, dialokasikan untuk tahap pengujian guna mengukur kemampuan generalisasi model terhadap data baru. Data hasil penggunaan listrik yang dibaca oleh power meter tersebut visualisasi datanya diperlihatkan pada Gambar 4.57 berikut.

No	IR	IS	IT	Iaverage	Volt R-S	Volt S-T	Volt T-R	Volt R-N	Volt S-N	Volt T-N	Vaverage PR	PS	PT	Total Pow	Total Res	Total Appr	Power Fai	Frequency	Energ
1	9.05	16.98	2.39	9.47	232	231	233	220	220	220	232.42	2.02	3.8	0.51	2.11	342.1	865.8	344.69	0
2	8.99	16.96	2.39	9.45	232	231	233	220	220	220	232.42	2.02	3.8	0.51	2.11	342.1	865.8	298.78	0
3	8.99	16.96	2.39	9.45	232	231	233	220	220	220	232.42	2.01	3.83	0.51	2.12	342.1	865.8	292.43	0
4	8.99	16.96	2.39	9.45	232	232	233	220	220	220	232.74	2.01	3.83	0.51	2.12	342.1	865.8	319.78	0
5	8.99	16.96	2.39	9.45	232	232	233	220	220	220	232.74	2.01	3.83	0.51	2.12	342.1	865.8	345.42	0
6	8.99	16.96	2.39	9.45	232	232	233	220	220	220	232.74	2.01	3.83	0.51	2.12	342.1	865.8	345.42	0
7	8.99	16.96	2.39	9.45	232	232	233	220	220	220	232.74	2.01	3.83	0.51	2.12	342.1	865.8	311.57	0
8	9.05	17.09	2.39	9.51	232	232	233	220	220	220	232.74	2	3.87	0.51	2.13	342.1	865.8	290.96	0
9	9.05	17.09	2.39	9.51	230	230	231	220	220	220	230.93	2	3.87	0.51	2.13	342.1	865.8	329.32	0
10	9.02	17.13	2.4	9.52	230	230	231	220	220	220	230.93	2	3.87	0.51	2.13	342.1	865.8	322.47	0
11	9.02	17.13	2.4	9.52	230	230	231	220	220	220	230.93	2	3.85	0.51	2.12	342.1	865.8	307.08	0
12	9.02	17.13	2.4	9.52	232	231	233	220	220	220	232.38	2	3.85	0.51	2.12	342.1	865.8	323.69	0
13	9.04	17.08	2.4	9.5	232	231	233	220	220	220	232.38	2	3.85	0.51	2.12	342.1	865.8	312.7	0
14	9.04	17.08	2.4	9.5	232	231	233	220	220	220	232.38	2	3.85	0.51	2.12	342.1	865.8	325.89	0
15	9.06	17.09	2.38	9.51	232	231	233	220	220	220	232.38	2	3.85	0.51	2.12	342.1	865.8	352.75	0
16	9.06	17.09	2.38	9.51	232	231	233	220	220	220	232.38	2.02	3.86	0.51	2.13	342.1	865.8	312.45	0
17	9.06	17.09	2.38	9.51	231	231	233	220	220	220	232.27	2.02	3.86	0.51	2.13	342.1	865.8	335.16	0
18	9.04	17.08	2.39	9.5	231	231	233	220	220	220	232.27	2.02	3.86	0.51	2.13	342.1	865.8	284.37	0
19	9.04	17.08	2.39	9.5	231	231	233	220	220	220	232.27	2.01	3.88	0.51	2.13	342.1	865.8	325.4	0
20	9.04	17.08	2.39	9.5	231	231	233	220	220	220	232.46	2.01	3.88	0.51	2.13	342.1	865.8	309.04	0
21	8.98	17.17	2.39	9.52	232	231	233	220	220	220	232.46	2.01	3.88	0.51	2.13	342.1	865.8	145.42	0
22	1.97	3.89	0.5	2.12	232	231	233	220	220	220	232.46	2.01	3.88	0.51	2.13	342.1	865.8	316.85	0
23	1.97	3.89	0.5	2.12	232	231	233	220	220	220	232.46	1.98	3.89	0.5	2.12	342.1	865.8	318.32	0
24	1.97	3.89	0.5	2.12	232	231	233	220	220	220	232.46	1.98	3.89	0.5	2.12	342.1	865.8	318.32	0

Gambar 4.57 Tabel Penggunaan Daya (https://bit.ly/Tabel_Penelitian_0921040028)

Kemudian, data yang tercantum pada tabel tersebut akan diolah lebih lanjut menggunakan perangkat lunak Visual Studio Code, yang diprogram untuk melakukan proses prediksi menggunakan metode *Long Short-Term Memory* (LSTM), salah satu jenis *Recurrent Neural Network* (RNN) yang efektif dalam mengolah data deret waktu. Dalam proses pelatihan model, hanya satu variabel yang digunakan sebagai *input*, yaitu Total Power (kWh), yang merepresentasikan total konsumsi daya listrik dalam satuan kilowatt-jam. Hasil dari proses pelatihan model LSTM tersebut divisualisasikan dalam bentuk grafik, di mana nilai prediksi untuk konsumsi daya berikutnya ditunjukkan menggunakan penanda berupa titik berwarna merah. Sementara itu, nilai terakhir dari data pelatihan (nilai asli terakhir sebelum prediksi dilakukan) ditandai dengan garis biru putus-putus sebagai referensi pembandingan antara data historis dan hasil prediksi model. Grafik dan visualisasi program ditampilkan dalam beberapa gambar berikut sebagai dokumentasi hasil pelatihan dan validasi model prediktif yang telah dibuat.

```

File Edit Selection View Go Run ... Search [Administrator]
Restricted Mode is intended for safe code browsing. Test this window to enable all features. Manage Learn More

main.py x
C:\Users\DELL\Desktop > main.py
class MonitorCallback(CallBack):
    def on_epoch_end(self, epoch, logs=None):

def main():
    # load data
    df = pd.read_excel('History Data Each Device PM Monitoring (1).xlsx', skiprows=1)
    df = df[1:] # Urutkan berturut-turut berdasarkan baris

    if 'Total Power (kwh)' not in df.columns:
        print('kolom "Total Power (kwh)" tidak ditemukan.')
        return

    power_raw = df['Total Power (kwh)'].dropna().values
    last_actual_value = power_raw[-1]
    power = power_raw[1:].reshape(-1, 1)

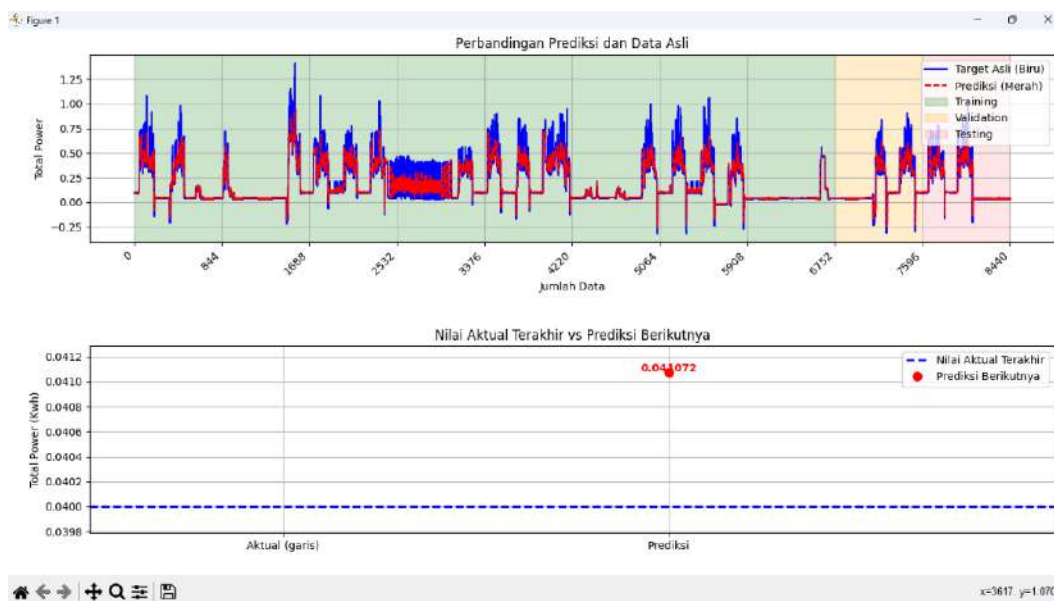
    scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS
Epoch 886 - Train MSE: 0.008359, RMSE: 0.004426 | Val MSE: 0.005575, RMSE: 0.074072
Epoch 887 - Train MSE: 0.008356, RMSE: 0.004426 | Val MSE: 0.005565, RMSE: 0.074072
212/221 [=====] - 1s 2ms/step
22/22 [=====] - 0s 2ms/step
22/22 [=====] - 0s 2ms/step
Training - MSE: 0.008356, RMSE: 0.004426
Validation - MSE: 0.005565, RMSE: 0.074072
Testing - MSE: 0.005341, RMSE: 0.074072
266/266 [=====] - 1s 2ms/step
1/1 [=====] - 0s 2ms/step

Prediksi total Power (kwh) berikutnya: 0.041072
Nilai aktual terakhir (sebelum prediksi): 0.040000
Selisih prediksi vs aktual: 0.001072
Ln 54, Col 67 Spaces 4 UTF-8 CRLF Python

```

Gambar 4.58 Program LSTM Tanggal 1 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.59 Grafik LSTM Tanggal 1 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.58 dan Gambar 4.59 menunjukkan program serta grafik hasil prediksi pada percobaan dengan rentang waktu mulai dari tanggal 1 Juni 2025 sampai 30 Juni 2025 untuk memprediksi daya pada tanggal 1 Juli 2025.

```

main.py
C:\Users> DELL > Desktop > main.py
28 class MseRMSECallback(Callback):
29     def on_epoch_end(self, epoch, logs=None):
30
31
32
33 def main():
34     # Load data
35     df = pd.read_excel('History Data Each Device PM Monitoring (2).xlsx', skiprows=1)
36     df = df[::-1] # Urutkan terbalik berdasarkan basis
37
38     if 'Total Power (Kwh)' not in df.columns:
39         print("Kolom 'Total Power (Kwh)' tidak ditemukan.")
40         return
41
42     power_raw = df['Total Power (Kwh)'].dropna().values
43     last_actual_value = power_raw[-1]
44     power = power_raw[:-1].reshape(-1, 1)
45
46     scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
2654
2655
2656
2657
2658
2659
2660
2661
2662
2663
2664
2665
2666
2667
2668
2669
2670
2671
2672
```



```

File Edit Selection View Go Run ... Search [Administrator]
Restricted Mode is intended for safe code browsing. Test this window to enable all features. Message Learn More

main.py
C:\Users\DELL\Desktop > main.py
class ModelLSTM(CallBack):
    def on_epoch_end(self, epoch, logs=None):

def main():
    # Load data
    df = pd.read_excel('History Data Each Device PM Monitoring (3).xlsx', skiprows=1)
    df = df[::-1] # Urutkan terbalik berdasarkan baris

    if 'Total Power (kWh)' not in df.columns:
        print("kolom 'Total Power (kWh)' tidak ditemukan.")
        return

    power_raw = df['Total Power (kWh)'].dropna().values
    last_actual_value = power_raw[-1]
    power = power_raw[:-1].reshape(-1, 1)

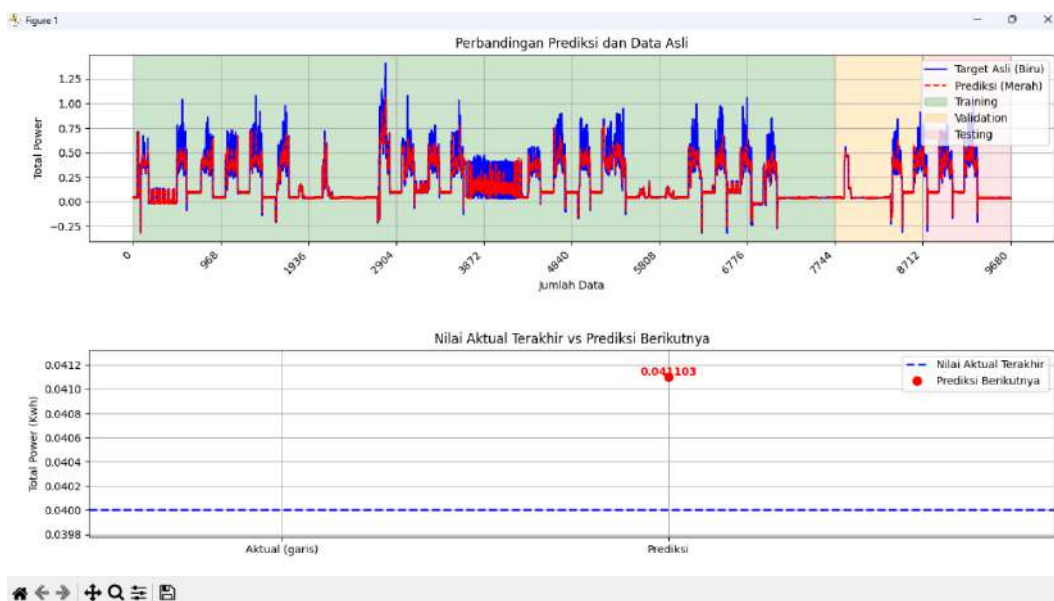
    scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS
Epoch 640 - Train MSE: 0.000053, RMSE: 0.000738 | Val MSE: 0.004201, RMSE: 0.005504
Epoch 650 - Train MSE: 0.000232, RMSE: 0.000730 | Val MSE: 0.004224, RMSE: 0.004955
242/242 [=====] - 0s 2ms/step
31/31 [=====] - 0s 2ms/step
31/31 [=====] - 0s 2ms/step
Training - MSE: 0.000232, RMSE: 0.000730
Validation - MSE: 0.004224, RMSE: 0.004955
Testing - MSE: 0.006183, RMSE: 0.078038
303/303 [=====] - 1s 2ms/step
1/1 [=====] - 0s 10ms/step

Prediksi Total Power (kWh) berikutnya: 0.041103
Nilai aktual terakhir (sebelum prediksi): 0.040000
Selisih prediksi vs aktual: 0.001103
Ln 54, Col 67 Spaces 4 UTF-8 CRLF Python

```

Gambar 4.62 Program LSTM Tanggal 3 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.63 Grafik LSTM Tanggal 3 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.62 dan Gambar 4.63 menunjukkan program serta grafik hasil prediksi pada percobaan dengan rentang waktu mulai dari tanggal 1 Juni 2025 sampai 2 Juli 2025 untuk memprediksi daya pada tanggal 3 Juli 2025.

```

def main():
    # Load data
    df = pd.read_excel('History Data Each Device PM Monitoring (4).xlsx', skiprows=1)
    df = df[::-1] # Urutkan terbalik berdasarkan baris

    if 'Total Power (Kwh)' not in df.columns:
        print("Kolom 'Total Power (Kwh)' tidak ditemukan.")
        return

    power_raw = df['Total Power (Kwh)'].dropna().values
    last_actual_value = power_raw[-1]
    power = power_raw[:-1].reshape(-1, 1)

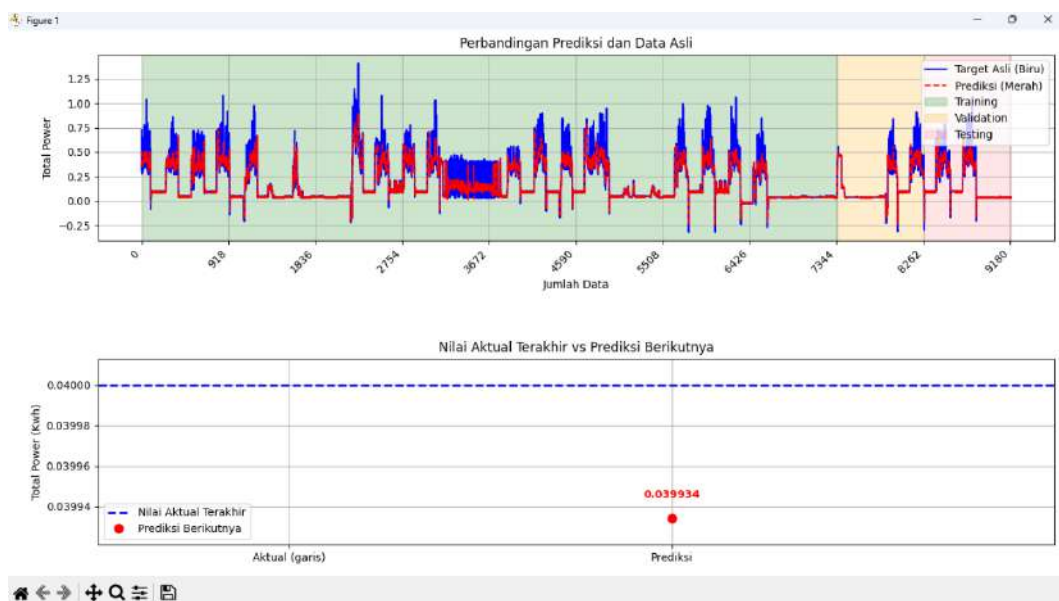
    scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
    power_scaled = scaler.fit_transform(power)

    SEQ_LENGTH = 10

    Epoch 091 - Train MSE: 0.000506, RMSE: 0.002228 | Val MSE: 0.005130, RMSE: 0.071627
    Epoch 092 - Train MSE: 0.000045, RMSE: 0.000699 | Val MSE: 0.004888, RMSE: 0.069913
    230/230 [=====] - 0s 1ms/step
    200/200 [=====] - 0s 1ms/step
    Training - MSE: 0.000045, RMSE: 0.000699
    Validation - MSE: 0.004888, RMSE: 0.069913
    Testing - MSE: 0.005893, RMSE: 0.076764
    200/200 [=====] - 0s 2ms/step
    1/1 [=====] - 0s 20ms/step

    Prediksi Total Power (Kwh) berikutnya: 0.039934
    Nilai aktual terakhir (sebelum prediksi): 0.040000
    Selisih prediksi vs aktual: 0.000066
  
```

Gambar 4.64 Program LSTM Tanggal 4 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.65 Grafik LSTM Tanggal 4 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.64 dan Gambar 4.65 menunjukkan program serta grafik hasil prediksi pada percobaan dengan rentang waktu mulai dari tanggal 1 Juni 2025 sampai 3 Juli 2025 untuk memprediksi daya pada tanggal 4 Juli 2025.

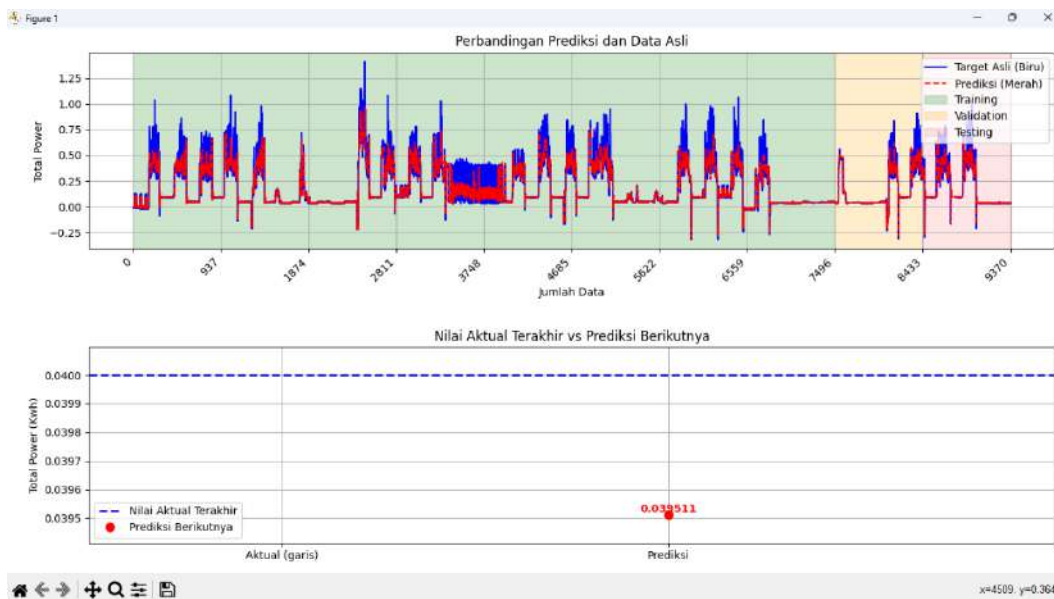

```

File Edit Selection View Go Run ... Search [Administrator]
Restricted Mode is intended for safe code browsing. Test this window to enable all features. Message Learn More

main.py x
C:\Users\DELL\Desktop > main.py
26 class MainCallback(Callback):
27     def on_epoch_end(self, epoch, logs=None):
51
52     def main():
53         # Load data
54         df = pd.read_excel('History Data Each Device PM Monitoring (5).xlsx', skiprows=1)
55         df = df[::-1] # Urutkan terbalik berdasarkan baris
56
57         if 'total Power (kwh)' not in df.columns:
58             print("kolom 'total Power (kwh)' tidak ditemukan.")
59             return
60
61         power_raw = df['total Power (kwh)'].dropna().values
62         last_actual_value = power_raw[-1]
63         power = power_raw[:-1].reshape(-1, 1)
64
65         scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
66
67 PROFILE OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS
Epoch 683 - Train MSE: 0.000810, RMSE: 0.009481 | Val MSE: 0.004720, RMSE: 0.006781
Epoch 684 - Train MSE: 0.007830, RMSE: 0.008888 | Val MSE: 0.004695, RMSE: 0.006521
235/235 [=====] - 0s 2ms/step
30/30 [=====] - 0s 2ms/step
30/30 [=====] - 0s 2ms/step
Training - MSE: 0.007830, RMSE: 0.008888
Validation - MSE: 0.004695, RMSE: 0.006521
Testing - MSE: 0.005888, RMSE: 0.007634
293/293 [=====] - 1s 2ms/step
1/1 [=====] - 0s 2ms/step
Prediksi Total Power (kwh) berikutnya: 0.039511
Nilai aktual terakhir (sebelum prediksi): 0.040000
Selisih prediksi vs aktual: 0.000489
Ln 54, Col 67 Spaces 4 UTF-8 CRLF Python

```

Gambar 4.66 Program LSTM Tanggal 5 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)

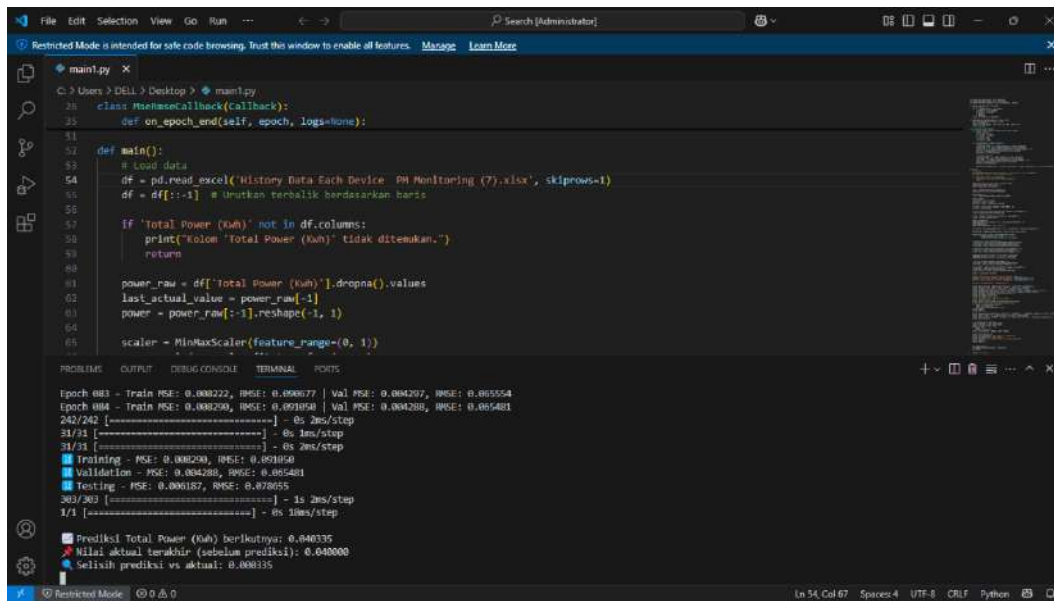


Gambar 4.67 Grafik LSTM Tanggal 5 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.66 dan Gambar 4.67 menunjukkan program serta grafik hasil prediksi pada percobaan dengan rentang waktu mulai dari tanggal 1 Juni 2025 sampai 4 Juli 2025 untuk memprediksi daya pada tanggal 5 Juli 2025.

```

main.py
C:\Users> DELL > Desktop > main.py
28 class LSTMModel(Callback):
29     def on_epoch_end(self, epoch, logs=None):
30
31
32
33 def main():
34     # Load data
35     df = pd.read_excel('History Data Each Device PM Monitoring (6).xlsx', skiprows=1)
36     df = df[::-1] # Urutkan terbalik berdasarkan basis
37
38     if 'Total Power (Kwh)' not in df.columns:
39         print("Kolom 'Total Power (Kwh)' tidak ditemukan.")
40         return
41
42     power_raw = df['Total Power (Kwh)'].dropna().values
43     last_actual_value = power_raw[-1]
44     power = power_raw[:-1].reshape(-1, 1)
45
46     scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
2654
2655
2656
2657
2658
2659
2660
2661
2662
2663
2664
2665
2666
2667
2668
2669
2670
2671
2672
26
```



```

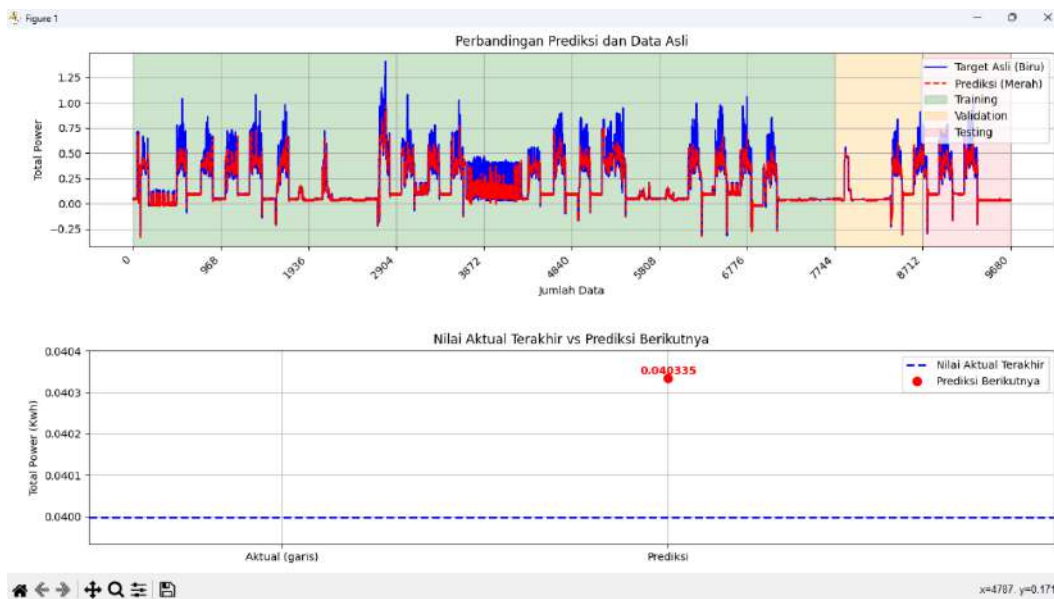
main.py
C:\Users\DELL\Desktop > main.py
class LSTM(CallBack):
    def on_epoch_end(self, epoch, logs=None):

def main():
    # Load data
    df = pd.read_excel('History Data Each Device PM Monitoring (7).xlsx', skiprows=1)
    df = df[::-1] # Urutkan terbalik berdasarkan baris
    if 'Total Power (Kwh)' not in df.columns:
        print("kolom 'Total Power (Kwh)' tidak ditemukan.")
        return
    power_raw = df['Total Power (Kwh)'].dropna().values
    last_actual_value = power_raw[-1]
    power = power_raw[:-1].reshape(-1, 1)
    scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))

Epoch 683 - Train MSE: 0.000222, RMSE: 0.000777 | Val MSE: 0.004207, RMSE: 0.005554
Epoch 684 - Train MSE: 0.000290, RMSE: 0.001950 | Val MSE: 0.004208, RMSE: 0.005481
242/242 [=====] - 0s 2ms/step
31/31 [=====] - 0s 3ms/step
31/31 [=====] - 0s 20s/step
Training - MSE: 0.000290, RMSE: 0.001950
Validation - MSE: 0.004208, RMSE: 0.005481
Testing - MSE: 0.006187, RMSE: 0.078055
303/303 [=====] - 1s 2ms/step
1/1 [=====] - 0s 13ms/step
Prediksi Total Power (Kwh) berikutnya: 0.040335
Nilai aktual terakhir (sebelum prediksi): 0.040000
Selisih prediksi vs aktual: 0.000335

```

Gambar 4.70 Program LSTM Tanggal 7 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.71 Grafik LSTM Tanggal 7 Juli 2025 (Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.70 dan Gambar 4.71 menunjukkan program serta grafik hasil prediksi pada percobaan dengan rentang waktu mulai dari tanggal 1 Juni 2025 sampai 6 Juli 2025 untuk memprediksi daya pada tanggal 7 Juli 2025.

Selanjutnya pada Tabel 4.9 tersebut menampilkan MSE serta RMSE hasil dari pelatihan (*training*), validasi (*validation*), dan pengujian (*testing*). Sedangkan

pada Tabel 4.10 menunjukkan nilai prediksi, nilai asli serta selisih dari nilai prediksi dengan nilai asli.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Metode LSTM.

Percobaan	Pelatihan		Validasi		Pengujian	
	MSE (%)	RMSE (%)	MSE (%)	RMSE (%)	MSE (%)	RMSE (%)
1 Juli 2025	0.008556	0.092498	0.005565	0.074596	0.006341	0.079633
2 Juli 2025	0.008020	0.089557	0.005503	0.074179	0.006059	0.077839
3 Juli 2025	0.008232	0.090730	0.004224	0.064995	0.006183	0.078630
4 Juli 2025	0.008046	0.089699	0.004888	0.069913	0.005893	0.076764
5 Juli 2025	0.007830	0.088488	0.004695	0.068521	0.005888	0.076734
6 Juli 2025	0.008066	0.089812	0.004584	0.067706	0.005989	0.077389
7 Juli 2025	0.008290	0.091050	0.004288	0.065481	0.006187	0.078655
Rata-rata	0.008148	0.090262	0.004821	0.069627	0.006078	0.077936

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Proses pengujian yang dilakukan pada Tabel 4.9 disebut *Time Series Split* (TSS) yaitu metode validasi silang (*cross-validation*) yang dirancang khusus untuk data deret waktu (*time series*). *Time Series Split* membagi dataset secara berurutan (tanpa acak) menjadi beberapa komponen (*fold*) sebagai pelatihan dan pengujian model. Tidak seperti *K-Fold* biasa yang mengacak data, *Time Series Split* selalu menjaga urutan waktu, oleh karena itu data masa depan tidak digunakan sebagai pelatihan dan pengujian data masa lalu.

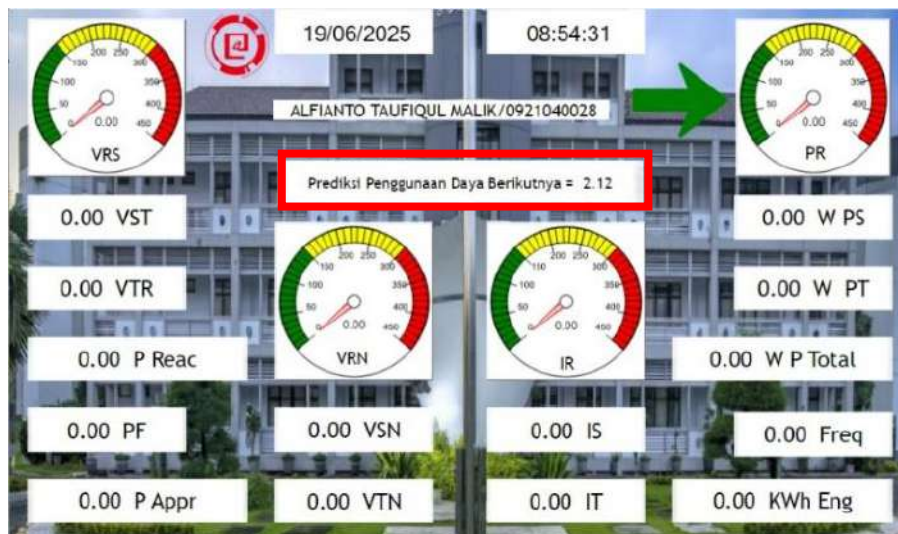
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Metode LSTM.

Percobaan	Nilai Prediksi (kWh)	Nilai Asli (kWh)	Selisih (kWh)
1 Juli 2025	0.041072	0.040000	0.001072
2 Juli 2025	0.041261	0.040000	0.001261
3 Juli 2025	0.041103	0.040000	0.001103
4 Juli 2025	0.039934	0.040000	0.000066
5 Juli 2025	0.039511	0.040000	0.000489
6 Juli 2025	0.039620	0.040000	0.000380
7 Juli 2025	0.040335	0.040000	0.000335
Rata-rata	0.040834	0.040000	0.000958

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan Tabel 4.9 pada kolom pelatihan didapatkan rata-rata nilai MSE sebesar 0.008148% dan rata-rata nilai RMSE yaitu 0.090262%. Kemudian pada kolom validasi didapatkan rata-rata nilai MSE sebesar 0.004821% dan rata-rata nilai RMSE yaitu 0.069627%. Berikutnya pada kolom pengujian didapatkan rata-rata nilai MSE sebesar 0.006078% dan rata-rata nilai RMSE yaitu 0.077936%. Pada Tabel 4.10 menunjukkan nilai prediksi, nilai asli, dan selisih dari keduanya dengan rata-rata nilai prediksi 0.040834 kWh dan selisih 0.000958 kWh.

Kemudian hasil prediksi penggunaan daya pada hari berikutnya berdasarkan hasil pelatihan metode LSTM tersebut selanjutnya dimasukkan pada HMI pada bagian yang tersedia untuk dikirim ke *website* dengan ditunjukkan persegi panjang warna merah di Gambar 4.72 berikut.



Gambar 4.72 Program HMI (Dokumentasi Pribadi)

Selanjutnya program yang telah di *upload* pada HMI dikirim ke *database* untuk ditampilkan pada *website* yang telah dibuat, berikut adalah Gambar 4.72 serta Gambar 4.73 yang menampilkan *website* setelah menerima data hasil prediksi.



Gambar 4.73 Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)

PT	Total Power	Total Reactive	Total Apparent Power	Power Factor	Frequency	Energy	Predicted Days	Time
0	0	0	0	0	0	0	2.12	29 June 2025 06:54:33
0	0	0	0	0	0	0	2.12	29 June 2025 06:55:33
0	0	0	0	0	0	0	2.12	29 June 2025 06:56:33
0	0	0	0	1	50	0	0	29 June 2025 10:03:30
0	0	0	0	1	50	0	0	29 June 2025 10:04:33
0	0	0	0	1	50	0	0	29 June 2025 10:05:33
0	0	0	0	1	50	0	0	29 June 2025 10:06:33
0	0	0	0	1	50	0	0	29 June 2025 10:07:33
0	0	0	0	1	50	0	2.12	29 June 2025 10:08:33
0	0	0	0	1	50	0	2.12	29 June 2025 10:09:33

Gambar 4.74 Tampilan Website (Dokumentasi Pribadi)

Berikut ini merupakan contoh perhitungan yang terjadi selama proses pengolahan data di metode LSTM. Misalkan data yang digunakan adalah sebagai berikut:

- *Input* [4.0; 4.1; 4.2].
- Ukuran *hidden layer* = 1 neuron (supaya sederhana).
- Semua bobot $W_0 = 1$.
- Bias $B_0 = 0$.
- *Hidden state* awal $H_0 = 0$.
- *Cell state* awal $C_0 = 0$.
- *learning rate* $n = 0.01$.

Time step $t = 1$ dengan:

$$X = 4.0$$

$$H_0 = 0$$

$$W_0 = 1$$

$$B_0 = 0$$

(4.1)

<p><i>Forget Gate</i></p> $F_t = \sigma(X_t W_{xf} + H_{t-1} W_{hf} + B_f)$ $F_1 = \sigma(4.0 \times 1 + 0 \times 1 + 0)$ $F_1 = \sigma(4.0)$ $F_1 = 0.9820$	<p><i>Input Gate</i></p> $I_t = \sigma(X_t W_{xu} + H_{t-1} W_{hu} + B_u)$ $I_1 = \sigma(4.0 \times 1 + 0 \times 1 + 0)$ $I_1 = \sigma(4.0)$ $I_1 = 0.9820$
<p><i>Candidate Memory</i></p> $\tilde{C}_t = \tanh(X_t W_{xc} + H_{t-1} W_{hc} + B_c)$ $\tilde{C}_1 = \tanh(4.0 \times 1 + 0 \times 1 + 0)$ $\tilde{C}_1 = \tanh(4.0)$ $\tilde{C}_1 = 0.9993$	<p><i>Memory Cell</i></p> $C_t = F_t \odot C_{t-1} + I_t \odot \tilde{C}_t$ $C_1 = 0.9820 \times 0 + 0.9820 \times 0.9993$ $C_1 = 0.9813$
<p><i>Output Gate</i></p> $O_t = \sigma(X_t W_{xo} + H_{t-1} W_{ho} + B_o)$ $O_1 = \sigma(4.0 \times 1 + 0 \times 1 + 0)$ $O_1 = \sigma(4.0)$ $O_1 = 0.9820$	<p><i>Hidden State</i></p> $H_t = O_t \odot \tanh(\tilde{C}_t)$ $H_1 = 0.9820 \times \tanh(0.9813)$ $H_1 = 0.9820 \times 0.7532$ $H_1 = 0.7398$
<p><i>Update Bobot</i></p> $\text{Loss} = \frac{1}{2} (y - \hat{y})^2$ $\text{Loss} = \frac{1}{2} (4.1 - 0.7398)^2$ $\text{Loss} = \frac{1}{2} (3.3602)^2$ $\text{Loss} = 5.6454$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (\hat{y} - y) H_t$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (0.7398 - 4.1) \times 0.7398$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (-3.3602) \times 0.7398$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = -2.4858$ $W_1 = W_0 - n \frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y}$	<p><i>Update Bias</i></p> $\hat{y} = H_t W_y + B_y$ $\hat{y} = 0.7398 \times 1 + 0$ $\hat{y} = 0.7398$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = (\hat{y} - y) \times 1$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = (0.7398 - 4.1) \times 1$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = -3.3602$ $B_1 = B_0 - n \frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y}$ $B_1 = 0 - 0.01 \times (-3.3602)$ $B_1 = 0.0331$

$W_1 = 1 - 0.01 \times (-2.4858)$ $W_1 = 1.0248$	
---	--

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Time step t = 2 dengan:

$$X = 4.1$$

$$H_1 = 0.7398$$

$$W_1 = 1.0248$$

$$B_1 = 0.0331 \quad (4.2)$$

<p><i>Forget Gate</i></p> $F_t = \sigma(X_t W_{xf} + H_{t-1} W_{hf} + B_f)$ $F_2 = \sigma \left(\frac{4.1 \times 1.0248 + 0.7398 \times 1.0248 + 0.0331}{0.0331} \right)$ $F_2 = \sigma(4.9937)$ $F_2 = 0.9932$	<p><i>Input Gate</i></p> $I_t = \sigma(X_t W_{xu} + H_{t-1} W_{hu} + B_u)$ $I_2 = \sigma \left(\frac{4.1 \times 1.0248 + 0.7398 \times 1.0248 + 0.0331}{0.0331} \right)$ $I_2 = \sigma(4.9937)$ $I_2 = 0.9932$
<p><i>Candidate Memory</i></p> $\tilde{C}_t = \tanh(X_t W_{xc} + H_{t-1} W_{hc} + B_c)$ $\tilde{C}_2 = \tanh \left(\frac{4.1 \times 1.0248 + 0.7398 \times 1.0248 + 0.0331}{0.0331} \right)$ $\tilde{C}_2 = \tanh(4.9937)$ $\tilde{C}_2 = 0.9999$	<p><i>Memory Cell</i></p> $C_t = F_t \odot C_{t-1} + I_t \odot \tilde{C}_t$ $C_2 = \begin{pmatrix} 0.9932 \times 0.9813 + 0.9932 \times 0.9999 \end{pmatrix}$ $C_2 = 1.968$
<p><i>Output Gate</i></p> $O_t = \sigma(X_t W_{xo} + H_{t-1} W_{ho} + B_o)$ $O_2 = \sigma \left(\frac{4.1 \times 1.0248 + 0.7398 \times 1.0248 + 0.0331}{0.0331} \right)$ $O_2 = \sigma(4.9937)$ $O_2 = 0.9932$	<p><i>Hidden State</i></p> $H_t = O_t \odot \tanh(\tilde{C}_t)$ $H_2 = 0.9932 \times \tanh(0.9999)$ $H_2 = 0.9932 \times 0.7615$ $H_2 = 0.7563$
<p><i>Update Bobot</i></p> $\text{Loss} = \frac{1}{2} (y - \hat{y})^2$ $\text{Loss} = \frac{1}{2} (4.2 - 0.8081)^2$ $\text{Loss} = \frac{1}{2} (3.3919)^2$ $\text{Loss} = 5.7510$	<p><i>Update Bias</i></p> $\hat{y} = H_t W_y + B_y$ $\hat{y} = 0.7563 \times 1.0248 + 0.0331$ $\hat{y} = 0.8081$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = (\hat{y} - y) \times 1$

$\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (\hat{y} - y)H_t$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (0.8081 - 4.2) \times 0.7563$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (-3.3919) \times 0.7563$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = -2.5650$ $W_2 = W_1 - n \frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y}$ $W_2 = 1.0248 - 0.01 \times (-2.5650)$ $W_2 = 1.0504$	$\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = (0.8081 - 4.2) \times 1$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = -3.3919$ $B_1 = B_0 - n \frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y}$ $B_1 = 0.0331 - 0.01 \times (-3.3919)$ $B_1 = 0.0670$
---	---

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Time step t = 3 dengan:

$$X = 4.2$$

$$H_2 = 0.7563$$

$$W_2 = 1.0504$$

$$B_1 = 0.0670 \quad (4.3)$$

<p><i>Forget Gate</i></p> $F_t = \sigma(X_t W_{xf} + H_{t-1} W_{hf} + B_f)$ $F_3 = \sigma \left(\frac{4.2 \times 1.0504 + 0.7563 \times 1.0504 + 0.0670}{0.0670} \right)$ $F_3 = \sigma(5.2734)$ $F_3 = 0.9949$	<p><i>Input Gate</i></p> $I_t = \sigma(X_t W_{xu} + H_{t-1} W_{hu} + B_u)$ $I_3 = \sigma \left(\frac{4.2 \times 1.0504 + 0.7563 \times 1.0504 + 0.0670}{0.0670} \right)$ $I_3 = \sigma(5.2734)$ $I_3 = 0.9949$
<p><i>Candidate Memory</i></p> $\tilde{C}_t = \tanh(X_t W_{xc} + H_{t-1} W_{hc} + B_c)$ $\tilde{C}_3 = \tanh \left(\frac{4.2 \times 1.0504 + 0.7563 \times 1.0504 + 0.0670}{0.0670} \right)$ $\tilde{C}_3 = \tanh(5.2734)$ $\tilde{C}_3 = 0.9999$	<p><i>Memory Cell</i></p> $C_t = F_t \odot C_{t-1} + I_t \odot \tilde{C}_t$ $C_3 = \begin{pmatrix} 0.9949 \times 1.968 + \\ 0.949 \times 0.9999 \end{pmatrix}$ $C_3 = 2.9078$
<p><i>Output Gate</i></p> $O_t = \sigma(X_t W_{xo} + H_{t-1} W_{ho} + B_o)$ $O_2 = \sigma \left(\frac{4.2 \times 1.0504 + 0.7563 \times 1.0504 + 0.0670}{0.0670} \right)$	<p><i>Hidden State</i></p> $H_t = O_t \odot \tanh(\tilde{C}_t)$ $H_2 = 0.9949 \times \tanh(0.9999)$ $H_2 = 0.9949 \times 0.7615$

$O_2 = \sigma(5.2734)$ $O_2 = 0.9949$	$H_2 = 0.7574$
<p><i>Update Bobot</i></p> $\text{Loss} = \frac{1}{2}(y - \hat{y})^2$ $\text{Loss} = \frac{1}{2}(4.3 - 0.8626)^2$ $\text{Loss} = \frac{1}{2}(3.4374)^2$ $\text{Loss} = 5.9103$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (\hat{y} - y)H_t$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (0.8626 - 4.3) \times 0.7574$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = (-3.4374) \times 0.7574$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y} = -2.6029$ $W_2 = W_1 - n \frac{\partial \text{Loss}}{\partial W_y}$ $W_2 = 1.0504 - 0.01 \times (-2.6029)$ $W_2 = 1.0764$	<p><i>Update Bias</i></p> $\hat{y} = H_t W_y + B_y$ $\hat{y} = 0.7574 \times 1.0504 + 0.0670$ $\hat{y} = 0.8626$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = (\hat{y} - y) \times 1$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = (0.8626 - 4.3) \times 1$ $\frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y} = -3.4374$ $B_1 = B_0 - n \frac{\partial \text{Loss}}{\partial B_y}$ $B_1 = 0.0670 - 0.01 \times (-3.4374)$ $B_1 = 0.1013$
<p>Nilai prediksi dari hasil perhitungan:</p> $y = \hat{y}(y_{\max} - y_{\min}) + y_{\min}$ $y = 0.8626 \times (4.2 - 4.0) + 4.0$ $y = 0.8626 \times 0.2 + 4.0$ $y = 4.1725$	

Hasil metode LSTM dengan menggunakan perhitungan manual berdasarkan nilai *input* [4.0; 4.1; 4.2] didapatkan nilai prediksi yaitu 4.1725. Hasil prediksi dari data *input* tersebut tidak akurat yang mana disebabkan karena dalam proses perhitungan manual itu dari *input* 4.0 sampai 4.2 dihitung sebagai satu *epoch*. Dalam konteks program LSTM *epoch* adalah istilah penting yang merujuk pada satu putaran penuh di mana seluruh *dataset* pelatihan digunakan sekali untuk memperbarui bobot model. Oleh karena itu proses tersebut tidak cukup hanya dilakukan sekali akan tetapi perlu dilakukan berulang sehingga perhitungan prediksi mendapatkan data *output* yang lebih akurat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Menurut hasil penelitian dan percobaan yang sudah dilaksanakan sebagaimana dijelaskan dalam Bab 4 secara keseluruhan, dapat disimpulkan beberapa poin penting yaitu:

1. Model prediksi daya listrik yang dibangun berdasarkan metode *Long Short-Term Memory* (LSTM) menunjukkan performa yang cukup baik dalam tahap pengujian (*testing*). Dari hasil evaluasi, diperoleh rata-rata nilai *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 0.006078% dan nilai *Root Mean Squared Error* (RMSE) sebesar 0.077936%, yang menyatakan bahwa tingkat kesalahan prediksi tergolong sangat kecil. Selain itu, selisih rata-rata antara nilai hasil prediksi dengan nilai aktual adalah 0.000958 kWh, yang mengindikasikan bahwa model mampu memberikan estimasi konsumsi daya dengan tingkat presisi yang tinggi.
2. Sistem kendali yang diimplementasikan pada perangkat PLC *Haiwell* terbukti mampu menjalankan fungsi kontrol berdasarkan data *input* dari berbagai sensor yang terpasang pada panel. *Output* sistem berupa pengendalian *aktuator* bekerja secara otomatis dan sesuai dengan kondisi lingkungan yang terdeteksi. Secara khusus, kipas pemanas akan menyala secara otomatis apabila sensor SHT20 mendeteksi kelembapan di dalam panel melebihi 90%, sedangkan kipas pendingin akan aktif ketika suhu yang terdeteksi melebihi 35°C. Selain itu, sistem juga telah dirancang untuk merespons pembacaan sensor debu dan sensor gas MQ-2, di mana jika nilai yang terukur masing-masing melebihi ambang batas 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 200 PPM, maka alarm peringatan akan diaktifkan untuk memberikan sinyal bahaya kepada pengguna.

3. Tampilan antarmuka HMI (*Human Machine Interface*) pada perangkat *Haiwell* telah berhasil menampilkan informasi pembacaan sensor secara *real-time*. Halaman pertama pada HMI digunakan untuk menampilkan nilai pembacaan dari Power Meter serta nilai prediksi daya, sementara halaman kedua menyajikan informasi dari sensor-sensor lainnya seperti suhu, kelembapan, debu, dan gas. Selain menampilkan data secara langsung, perangkat HMI ini juga mampu mengirimkan data hasil pembacaan Power Meter serta hasil prediksi daya dari model LSTM ke dalam sistem *database* yang telah dikonfigurasi. Data tersebut kemudian dapat diakses dan ditampilkan melalui antarmuka *website*, sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan jarak jauh secara efisien dan terpusat.

5.2 Saran

Berdasarkan uji coba dan kesimpulan, penelitian ini masih terdapat beberapa keterbatasan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut dalam penelitian selanjutnya. Selain itu, beberapa rekomendasi diberikan untuk menyempurnakan dan mengatasi keterbatasan penelitian ini, antara lain:

1. Mengoptimalkan sistem lampu *infrared* pada sensor debu dengan mengganti *output* digital pada PLC dengan perangkat lainnya seperti modul PWM untuk meningkatkan hasil pembacaan yang lebih stabil.
2. Mengembangkan sistem prediksi menggunakan metode LSTM menjadi otomatis sehingga data tersebut langsung diolah tanpa proses pengambilan data untuk melakukan *training* terlebih dahulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. F., Abdurrahman., & Rasyad, S (2023). *IMPLEMENTASI KONTROL SUHU AC (AIR CONDITIONER) PADA RUANGAN MEETING SECARA OTOMATIS MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC BERBASIS IOT*. **Jurnal Teliska**, Vol.16, No.3, pp.15-22, Politeknik Negeri Sriwijaya. URL:<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teliska/article/view/6898>
- Andhyni, C. P., Arifiyanti, A. A., & Wati, S. F. A (2024). *Sistem Informasi Monitoring Praktik Kerja Industri Berbasis Website Menggunakan Metode Waterfall dan User Acceptance Testing*. **Jurnal Penelitian Inovatif**, Vol.4, No.4, pp.1527-1538, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”. URL: <https://doi.org/10.54082/jupin.584>
- Budi, P. S (2024). *SISTEM MONITORING DAN PREDIKSI PENGGUNAAN DAYA LISTRIK PADA PANEL SSDP PPNS DENGAN METODE NEURAL NETWORK*. pp. 1-114.
- ESDM. (2024). *Konsumsi Listrik Masyarakat Meningkat, Tahun 2023 Capai 1.285 kWh/Kapita*. URL: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita>
- Firdauz, A. W., & Latifa, U (2023). *PERANCANGAN SUB DISTRIBUTION PANEL (SDP) DI ELECTRICAL DEPARTMENT PT TIGA PILAR ENERGI PROYEK RIAU ANDALAN PULP AND PAPER (RAPP)*. **Jurnal Teknika**, Vol.15, No.2, pp.1-6, Universitas Singaperbangsa Karawang. URL: <https://doi.org/10.30736/jt.v15i1.912>
- Fikriaziz, J., Estri, M. N., Maryani, S., & Sihwaningrum, I (2024). *Metode Long Short-Term Memory Untuk Memprediksi Konsumsi Energi Listrik Di Kabupaten Kebumen Tahun 2023*. **Seminar Nasional Sains Data**, Vol.4, No.1, Universitas Jenderal Soedirman. URL: <https://prosiding-senada.upnjatim.ac.id/index.php/senada/article/view/345>

- Hasan, Heyawan, W., Suharto, I., & Yuwono, M (2022). *Aplikasi Kontrol Dan Monitoring Pada Proses Pencucian Mobil Otomatis Berbasis PLC Outseal dan HMI Haiwell Untuk Modul Peraga Praktikum Otomasi Dasar*. **JurnalELIT**, Vol.3, No.2, Politeknik Negeri Pontianak. URL: <https://ejurnal.polnep.ac.id/index.php/ELIT/article/view/410>
- Irawan, D., Astutik, R. P., Prastya, E. P., & Hidayah, A (2023). *Pelatihan Outseal-Haiwell for PLC and SCADA di SMKN 1 Singosari, Malang*. **NUSANTARA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat**, Vol.3, No.2, Universitas Muhamamadiyah Gresik. URL: <https://doi.org/10.55606/nusantara.v3i2.1675>
- Khumaidi, A., Hasin, M. K., Pujiputra, A., P., Irsyad, S. M., Rinanto, N., Rachman, I., Budi, P. S., Malik, A. T., & Bayu, N. B (2024). *Prediksi Komsumsi Daya Listrik Pada Panel Listrik Menggunakan Metode Neural Network*. **Jurnal Elkolind**, Vol.11, No.2, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. URL: <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i2.5497>
- Kurnia AR, H., & Pohan, N (2024). *PERANCANGAN ALAT PENGERING IKAN OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA8535*. **JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)**, Vol.8, No.4, Universitas Putra Indonesia "YPTK" Padang. URL: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/view/10980>
- Maulana, M. S., & Marfin (2023). *SISTEM KONTROL SMART AHU MENGGUNAKAN PLC DAN HMI DI RUANG OPERASI RSUD SITI FATIMAH PALEMBANG*. **BINER: Jurnal Ilmu Komputer, Teknik dan Multimedia**, Vol.1, No.3, pp.731-744, Universitas Pamulang. URL: <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/Biner/issue/view/67>
- Nanggala, D. P., & Ahfas, A (2024). *Rancangan Desain Panel Sub Distribusi Rancangan Panel Sub Distribusi*. **Procedia of Engineering and Life Science**, Vol.7, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Indonesia. URL: <https://pels.umsida.ac.id/index.php/PELS/article/view/1484>
- Nugraha, A. T., As'ad, R. F., Adianto, & Abdullayev, V. H (2022). *Design And Fabrication of Temperature and Humidity Stabilizer on Low Voltage Distribution Panel with PLC-Based Fuzzy Method to Prevent Excessive Temperature and Humidity on The Panel*. **Journal of Electronics**,

Electromedical Engineering, and Medical Informatics, Vol.4, No.3, URL:
<https://doi.org/10.35882/jeeemi.v4i3.241>

Nuryadin, R. A., Yusuf, A. R., Reza, M., Alifian, N. F., & Dyah P. S (2024). *Prototype Sistem Deteksi Kebakaran Menggunakan Sensor Mq-2 dan Flame Sensor Berbasis IoT*. **Jurnal Riset dan Aplikasi Mahasiswa Informatika (JRAMI)**, Vol.5, No.4, Universitas Muhammadiyah Ponorogo. URL:
<https://jim.unindra.ac.id/index.php/jrami/article/view/11149>

Pamungkas, M. B. A., & Irawan D (2024). *Monitoring and Control System for Temperature, Humidity, and Air Quality in LVMDP Panel Rooms to Improve the Reliability of LVMDP Panel Components Using Fuzzy Logic*. **Jurnal Komputer, Informasi dan Teknologi**, Vol.4, No.2, pp.1-12, Universitas Muhammadiyah Gresik. URL: <https://doi.org/10.53697/jkomitek.v4i2.1958>

Purwenewang, R. P., Rahmawati, D., & Sukri, H (2023). *Penggunaan Cairan Anolyte Disinfectant Pada Automatic Humidifier Dengan Metode Logika Fuzzy Pada Ruangan*. **Nucleus Journal Jurnal Sains dan Teknologi**, Universitas Trunojoyo Madura. URL:
<https://ejournal.undar.or.id/index.php/Nucleus/article/view/239>

Putri, A. M. H. (2023). *EBT Jauh, Pembangkit Listrik RI Masih Didominasi Batu Bara*. **CNBC Indonesia** (Jakarta), 23 Mei. URL:
<https://www.cnbcindonesia.com/research/20230523113140-128-439740/ebt-jauh-pembangkit-listrik-ri-masih-didominasi-batu-bara>

Rahmawati, N. A., & Hermansyah (2024). *Arduino Uno-Based Fire Alarm System*. **Jurnal Sains dan Teknik Terapan**, Vol.2, No.2, pp.78-85, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng. URL: <https://journal.akom-bantaeng.ac.id/index.php/jstt/article/view/52>

Sahar, M., Hidayah, Y. P., Gunawan, A., & Syamsir, H. N (2024). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Monitoring Beban 1 dan 3 Phasa Pada Panel Distribusi Berbasis Internet of Things*. **Jurnal Elementer**, Vol.10, No.1, Politeknik Caltex Riau. URL:
<https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer/article/view/6235>

Samsinar, R., Fikri, I., & Fadlioni (2021). *Perancangan dan Implementasi Alat Pengukur Tingkat Polusi Udara Karbon Monoksida dan Debu Berbasis*

- Website Menggunakan Raspberry Pi. RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, Vol.4, No.1, pp.69-76, Universitas Muhammadiyah Jakarta. URL: <https://repository.umj.ac.id/7123/>
- Scorpionius, L. F., & Yakub (2024). *PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI ASAP OTOMATIS BERBASIS ARDUINO R3 DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC MAMDANI. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, Vol.8, No.6, Universitas Buddhi Dharma. URL: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/view/11992>
- Setiawan, B., Ronilaya, F., Aji, D. K. P., Setiawan, A., & Putra, E. S (2020). *Online monitoring and data logging power quality parameters of Low Voltage Distribution Panel (LVDP) on industrial system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol.830, No.3, Politeknik Negeri Malang. URL: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/830/3/032032>
- Suhendro, D., & Bara, D. R. B (2024). *PREDIKSI BEBAN TRAF0 PADA PT PLN (PERSERO) UP3 SUMATERA UTARA MENGGUNAKAN ALGORITMA BACKPROPAGATION. JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, Vol.12, No.3S1, STIKOM Tunas Bangsa. URL: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5173>
- Sulistiawati, I. B., Soetedjo, A., Putra, R. B., Sotyohadi, & Priyanto, S (2023). *Penggunaan PLC Outseal dan Haiwell Hmi Scada untuk Otomasi Pengontrolan Daya dan Beban di Gedung Laboratorium Teknik Elektro ITN Malang. Prosiding SENIATI*, Vol.7, No.2, Institut Teknologi Nasional Malang. URL: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/7959>
- Syah, I (2021). *Rancang Bangun Pengaturan Kecepatan Motor AC 1 Fasa Dengan Mengatur Tegangan Menggunakan Rangkaian Triac Dan Diac. Undergraduate Thesis of Politeknik Negeri Bengkalis*. URL: <http://eprints.polbeng.ac.id/id/eprint/2179>
- Wirama, A., Putra, A. D., Putra, W. M., Narottama, & Sapteka, (2021). *Kendali Kecepatan Motor Listrik Satu Fasa Berdasarkan Suhu Ruangan. TELKA - Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, Vol.7, No.1, Politeknik Negeri Bali.

LAMPIRAN PROGRAM LSTM

Program python metode LSTM

```
import pandas as pd

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

import matplotlib.ticker as ticker

from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler

from sklearn.metrics import mean_squared_error

from tensorflow.keras.models import Sequential

from tensorflow.keras.layers import LSTM, Dense

from tensorflow.keras.callbacks import EarlyStopping, Callback


def create_sequences(data, seq_length):

    xs, ys = [], []

    for i in range(len(data) - seq_length):

        x = data[i:(i + seq_length)]

        y = data[i + seq_length]

        xs.append(x)

        ys.append(y)

    return np.array(xs), np.array(ys)


def tampilkan_mse_rmse(nama_bagian, y_true, y_pred):
```

```

mse = mean_squared_error(y_true, y_pred)

rmse = np.sqrt(mse)

print(f" 🧮 {nama_bagian} - MSE: {mse:.6f}, RMSE: {rmse:.6f}")

return mse, rmse

```

```

class MseRmseCallback(Callback):

    def __init__(self, X_train, y_train, X_val, y_val, scaler):

        super().__init__()

        self.X_train = X_train

        self.y_train = y_train

        self.X_val = X_val

        self.y_val = y_val

        self.scaler = scaler

    def on_epoch_end(self, epoch, logs=None):

        # Prediksi training

        y_train_pred_scaled = self.model.predict(self.X_train, verbose=0)

        y_train_pred = self.scaler.inverse_transform(y_train_pred_scaled)

        y_train_true = self.scaler.inverse_transform(self.y_train.reshape(-1, 1))

        mse_train = mean_squared_error(y_train_true, y_train_pred)

        rmse_train = np.sqrt(mse_train)

        # Prediksi validation

```

```

y_val_pred_scaled = self.model.predict(self.X_val, verbose=0)

y_val_pred = self.scaler.inverse_transform(y_val_pred_scaled)

y_val_true = self.scaler.inverse_transform(self.y_val.reshape(-1, 1))

mse_val = mean_squared_error(y_val_true, y_val_pred)

rmse_val = np.sqrt(mse_val)


print(f"Epoch {epoch+1:03d} - Train MSE: {mse_train:.6f}, RMSE:
{rmse_train:.6f} | Val MSE: {mse_val:.6f}, RMSE: {rmse_val:.6f}")


def main():

    # Load data

    df = pd.read_excel('History Data Each Device PM Monitoring (7).xlsx',
skiprows=1)

    df = df[::-1] # Urutkan terbalik berdasarkan baris


    if 'Total Power (Kwh)' not in df.columns:

        print("Kolom 'Total Power (Kwh)' tidak ditemukan.")

        return


    power_raw = df['Total Power (Kwh)'].dropna().values

    last_actual_value = power_raw[-1]

    power = power_raw[:-1].reshape(-1, 1)

```

```

scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))

power_scaled = scaler.fit_transform(power)


SEQ_LENGTH = 10

X, y = create_sequences(power_scaled, SEQ_LENGTH)


total = len(X)

train_size = int(0.8 * total)

val_size = int(0.1 * total)

test_size = total - train_size - val_size


X_train = X[:train_size].reshape((-1, SEQ_LENGTH, 1))

y_train = y[:train_size]


X_val = X[train_size:train_size+val_size].reshape((-1, SEQ_LENGTH, 1))

y_val = y[train_size:train_size+val_size]


X_test = X[train_size+val_size:].reshape((-1, SEQ_LENGTH, 1))

y_test = y[train_size+val_size:]


model = Sequential()

model.add(LSTM(32, activation='relu', input_shape=(SEQ_LENGTH, 1)))

model.add(Dense(1))

```

```

model.compile(optimizer='adam', loss='mse')

early_stop = EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=10,
restore_best_weights=True)

mse_rmse_cb = MseRmseCallback(X_train, y_train, X_val, y_val, scaler)

model.fit(X_train, y_train, epochs=1000, batch_size=32,
        validation_data=(X_val, y_val),
        callbacks=[early_stop, mse_rmse_cb], verbose=0)

# Prediksi dan konversi ke skala asli
y_train_pred = scaler.inverse_transform(model.predict(X_train))
y_val_pred = scaler.inverse_transform(model.predict(X_val))
y_test_pred = scaler.inverse_transform(model.predict(X_test))

y_train_true = scaler.inverse_transform(y_train.reshape(-1, 1))
y_val_true = scaler.inverse_transform(y_val.reshape(-1, 1))
y_test_true = scaler.inverse_transform(y_test.reshape(-1, 1))

tampilkan_mse_rmse("Training", y_train_true, y_train_pred)
tampilkan_mse_rmse("Validation", y_val_true, y_val_pred)
tampilkan_mse_rmse("Testing", y_test_true, y_test_pred)

```

```

X_all = X.reshape((X.shape[0], SEQ_LENGTH, 1))

y_all_pred = scaler.inverse_transform(model.predict(X_all))

y_all_true = scaler.inverse_transform(y.reshape(-1, 1))


last_sequence = power_scaled[-SEQ_LENGTH:].reshape(1, SEQ_LENGTH, 1)

y_pred_next = model.predict(last_sequence)

y_pred_next_inv = scaler.inverse_transform(y_pred_next)


pred_y = y_pred_next_inv[0][0]


print(f"\n 📊 Prediksi Total Power (Kwh) berikutnya: {pred_y:.6f}")

print(f" 📌 Nilai aktual terakhir (sebelum prediksi): {last_actual_value:.6f}")

print(f" 🔍 Selisih prediksi vs aktual: {abs(pred_y - last_actual_value):.6f}")


fig, axs = plt.subplots(2, 1, figsize=(12, 8))


axs[0].plot(y_all_true, label='Target Asli (Biru)', color='blue', linestyle='-')
axs[0].plot(y_all_pred, label='Prediksi (Merah)', color='red', linestyle='--')
axs[0].axvspan(0, train_size-1, color='green', alpha=0.2, label='Training')

axs[0].axvspan(train_size, train_size+val_size-1, color='orange', alpha=0.2,
label='Validation')

```

```

    axs[0].axvspan(train_size+val_size, total-1, color='red', alpha=0.1,
label='Testing')

    axs[0].set_title('Perbandingan Prediksi dan Data Asli')

    axs[0].set_xlabel('Jumlah Data')

    axs[0].set_ylabel('Total Power')

    # Atur jarak antar label sumbu X secara otomatis

    step = max(500, total // 10)

    axs[0].xaxis.set_major_locator(ticker.MultipleLocator(step))

    # Putar label sumbu X agar tidak saling tumpang tindih

    for label in axs[0].get_xticklabels():

        label.set_rotation(45)

        label.set_horizontalalignment('right')

    axs[0].legend()

    axs[0].grid(True)


    axs[1].axhline(y=last_actual_value, color='blue', linestyle='--', linewidth=2,
label='Nilai Aktual Terakhir')

    axs[1].plot(1, pred_y, 'ro', label='Prediksi Berikutnya', markersize=8)

    axs[1].text(1, pred_y + 0.00001, f"{pred_y:.6f}", color='red', ha='center',
fontsize=10, weight='bold')

    axs[1].set_xlim(-0.5, 2)


    # ▼ Tambahan otomatis zoom out

    y_min = min(pred_y, last_actual_value)

```



```

y_max = max(pred_y, last_actual_value)

margin = (y_max - y_min) * 0.2

if margin == 0:

    margin = y_max * 0.1

axs[1].set_ylim(y_min - margin, y_max + margin)


axs[1].set_xticks([0, 1])

axs[1].set_xticklabels(['Aktual (garis)', 'Prediksi'])

axs[1].set_ylabel('Total Power (Kwh)')

axs[1].set_title('Nilai Aktual Terakhir vs Prediksi Berikutnya')

axs[1].legend()

axs[1].grid(True)


plt.tight_layout()

plt.subplots_adjust(bottom=0.2, hspace=0.4)

plt.show()


if __name__ == "__main__":

    main()

```

BIODATA MAHASISWA

- | | | |
|----------------------------|--|---|
| 1. Nama | : Alfianto Taufiqul Malik |  |
| 2. NRP | : 0921040028 | |
| 3. Program Studi | : D4 Teknik Otomasi | |
| 4. Agama | : Islam | |
| 5. Status | : Belum Menikah | |
| 6. Alamat Asal | : Dsn. Papar Selatan RT002 RW006 Ds. Papar
Kec. Papar Kab. Kediri | |
| 7. Nomor Telepon | : 085790768174 | |
| 8. Jenis Kelamin | : Laki-laki | |
| 9. Email | : alfianto.t.malik@gmail.com | |
| 10. Tempat, Tanggal Lahir | : Kalabahi, 13 Maret 2003 | |
| 11. Nama Orang Tua/Wali | : Wahjoe Diharto | |
| 12. Alamat Orang Tua/Wali | : Dsn. Papar Selatan RT002 RW006 Ds. Papar
Kec. Papar Kab. Kediri | |
| 13. Telepon Orang Tua/Wali | : 081555926437 | |
| 14. Riwayat Pendidikan | | |

PENDIDIKAN FORMAL			
Pendidikan	Tahun	Tempat Pendidikan	Jurusan
Diploma 4	2021- Sekarang	Politeknik Negeri Perkapalan Surabaya	Teknik Otomasi
MAN	2018-2021	Madrasah Aliyah Negeri 2 Kediri	MIPA
MTSN	2015-2018	Madrasah Tsanawiyah Negeri 3 Kediri	
SDN	2009-2015	Sekolah Dasar Negeri Papar 2	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)