



TUGAS AKHIR (EE33410)

**RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN DINI UNTUK
KUALITAS DAYA LISTRIK PADA PANEL PROTEKSI SHORE
CONNECTION MENGGUNAKAN NOTIFIKASI TELEGRAM**

**Febrian Kuncoro Putro
NRP. 0423030005**

**Dosen Pembimbing
Hendro Agus Widodo, S. ST. MT.**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK KELISTRKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
2026**



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (EE33410)

**RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN DINI UNTUK
KUALITAS DAYA LISTRIK PADA PANEL PROTEKSI SHORE
CONNECTION MENGGUNAKAN NOTIFIKASI TELEGRAM**

**Febrian Kuncoro Putro
NRP. 0423030005**

**Dosen Pembimbing
Hendro Agus Widodo, S. ST. MT.**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK KELISTRKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
2026**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN DINI UNTUK KUALITAS
DAYA LISTRIK PADA PANEL PROTEKSI SHORE CONNECTION
MEGGUNAKAN NOTIFIKASI TELEGRAM**

Disusun Oleh:
Febrian Kuncoro Putro
0423030005

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D3 Teknik Kelistrikan Kapal
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 8 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

NIDN/NUPTK

Tanda Tangan

1. Ir. Joessianto Eko Poetro, M.T.
2. Hendro Agus Widodo., S.ST., M.T
3. Evi Nafiatus Sholikhah, S.Tr.T., M.Tr.T.
4. Alief Nur Aisyi Maulidhia, S.T., M.T.

(0019116403)	(.....)
(0013076902)	(.....)
(0730069801)	(.....)
(8060775676230173)	(.....)

Dosen Pembimbing

NIDN/NUPTK

Tanda Tangan

1. Hendro Agus Widodo., S.ST., M.T

(0013076902)	(.....)
--------------	---------

**Menyetujui
Ketua Jurusan,**



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

NIP. 198008162008121001

**Mengetahui
Koordinator Program Studi,**

Ii Munadhif, S.ST., M.T.

NIP. 199107102018031001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Febrian Kuncoro Putro

NRP : 0423030005

Jurusan/Prodi : D3 Teknik Kelistrikan Kapal

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Pada Panel Proteksi Shore Connection

Menggunakan Notifikasi Telegram

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, 28 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Febrian Kuncoro Putro

NRP. 0423030005

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melindungi, memberikan pertolongan, serta memberi rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Untuk Kualitas Daya Listrik Pada Panel Proteksi Shore Connection Menggunakan Notifikasi Telegram ”.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai apresiasi, ucapan terima kasih yang tulus dan ikhlas disampaikan kepada:

1. Allah SWT yang memberikan segala kemudahan, kelancaran, kekuatan, serta kenikmatan yang luar biasa besarnya dalam proses pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Sutrisno dan Ibu Sri Badriyah selaku orang tua dari penulis yang sangat berpengaruh dalam pengerjaan Tugas Akhir ini baik dukungan secara materi, pemberian semangat serta kasih sayang dan doa tulus yang tiada hentinya dalam proses penyelesaian Tugas Akhir 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 di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Dimas Pristovani Riananda, S.ST.,M.T. Selaku koordinator Tugas Akhir Teknik Kelistrikan Kapal.
6. Bapak Hendro Agus Widodo, S.ST. MT. Selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan banyak masukan, mengarahkan dan membimbing kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Bapak dan Ibu dosen pengajar yang telah menemani dari awal masuk perkuliahan dan yang telah mendidik penulismemiliki banyak ilmu yang dapat diimplementasikan untuk kehidupan setelah lulus.
8. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada seluruh

teman – teman angkatan PE 2023 atas kebersamaan, semangat, dan dukungan moral yang tak ternilai selama menjalani masa perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini.

9. Diri saya sendiri (penulis) karena selalu berpikir positif dan selalu berusaha mempercayai diri sendiri, hingga akhirnya diri saya mampu membuktikan bahwa saya bisa bertahan sampai di titik ini dari awal hingga akhir.

Semoga dengan selesainya penyusunan dan pengerjaan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi civitas akademik Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Penulis menyadari dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran bagi pembaca yang bersifat membangun sehingga Laporan Tugas Akhir ini bisa menjadi lebih baik lagi untuk proses pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, 28 Juli 2026



Febrian Kuncoro Putro

Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini untuk Kualitas Daya Listrik pada Panel Proteksi Shore Connection Menggunakan Notifikasi Telegram

Febrian Kuncoro Putro

Abstrak

Selama fase berlabuh dan *cold ironing*, kapal sepenuhnya bergantung pada pasokan listrik darat (koneksi darat). Ketidakstabilan kualitas daya dan panas berlebih pada panel distribusi menimbulkan risiko kerusakan pada peralatan elektronik kapal. Penelitian ini merancang sistem peringatan dini berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk memantau sistem kelistrikan tiga fasa secara real time. Parameter listrik diukur menggunakan tiga sensor PZEM-004T dengan akurasi pengukuran tegangan sebesar 0,5% dan resolusi arus sebesar 0,001 A, sedangkan suhu dipantau menggunakan sensor DS18B20 dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Sesuai dengan Standar Instalasi Listrik Indonesia tahun 2011, sistem ini diprogram dengan ambang batas bahaya sebagai berikut: penurunan tegangan di bawah 198 V atau tegangan berlebih di atas 231 V, arus kelebihan beban melebihi 20 A, faktor daya di bawah 0,85, dan suhu kompartemen panel di atas 40°C . Hasil perancangan menunjukkan bahwa ketika sistem mendeteksi nilai parameter di luar batas toleransi tersebut, sistem secara otomatis memberikan respons waktu nyata (waktu respons relai kurang dari 10 ms) dengan mengaktifkan aktuator kipas untuk mendinginkan panel dan membunyikan buzzer sebagai alarm lokal. Secara bersamaan, data gangguan kuantitatif terperinci dikirim ke ponsel cerdas teknisi melalui notifikasi *Telegram Bot* untuk meminimalkan durasi anomali daya dan mencegah kerusakan pada peralatan vital di area galangan kapal.

Kata Kunci: *Cold Ironing*, *Internet of Things*, Kualitas Daya, Sistem Peringatan Dini, Mikrokontroler ESP32.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Design and Development of an Early Warning System for Electrical Power Quality on Shore Connection Protection Panels Using Telegram Notifications

Febrian Kuncoro Putro

ABSTRACT

During the berthing and cold ironing phases, ships are entirely dependent on shore power (shore connection). Fluctuations in power quality and overheating of distribution panels pose a risk of damage to the ship's electronic equipment. This study designed an Internet of Things (IoT)-based early warning system that uses an ESP32 microcontroller to monitor the three-phase electrical system in real time. Electrical parameters are measured using three PZEM-004T sensors with a voltage measurement accuracy of 0.5% and a current resolution of 0.001 A, while temperature is monitored using a DS18B20 sensor with an accuracy of $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. In accordance with the 2011 Indonesian Electrical Installation Standards, this system is programmed with the following danger thresholds: voltage drop below 198 V or overvoltage above 231 V, overload current exceeding 20 A, power factor below 0.85, and panel compartment temperature above 40°C . Design results show that when the system detects parameter values outside these tolerance limits, it automatically provides a real-time response (relay response time less than 10 ms) by activating the fan actuator to cool the panel and sounding a buzzer as a local alarm. Simultaneously, detailed quantitative fault data is sent to the technician's smartphone via a Telegram Bot notification to minimize the duration of power anomalies and prevent damage to critical equipment in the shipyard area

Keywords: *Cold Ironing, Internet of Things, Power Quality, Early Warning System, ESP32 Microcontroller.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

PROPOSAL TUGAS AKHIR	i
KATA PENGANTAR.....	viii
Abstrak.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR NOTASI	xxiii
BAB 1	xxiv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir	4
DASAR TEORI	5
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu.....	5
2.1.1 “Sistem Proteksi Main Panel Distribution Dengan Over Voltage Relay Dan Over Current Relay” (M. Eef Fajrul Azmy, 2021).....	5
2.1.2 “Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan, Arus, Daya, dan Faktor Daya Berbasis IoT” (Amar Ma’ruf et al. 2021)	6
2.1.3 “Real-Time Detection and Classification of Power Quality Disturbances” (Mozaffari et al., 2022).....	7
2.2 Kajian Pustaka.....	7
2.2.1 Kualitas Daya Listrik	8
2.2.2 Gangguan Kualitas Daya Listrik.....	10
2.2.3 Standar Kualitas Daya Listrik Berdasarkan (PUIL 2011).....	11
2.2.4 Panel Proteksi dan Distribusi (Electrical Protection Panel).....	13
2.2.5 Sistem Monitoring Kualitas Daya Listrik	14
2.2.6 Sistem Peringatan Dini (Early Warning System).....	14
2.2.7 ESP32.....	15
2.2.8 Sensor PZEM-004T.....	16

2.2.9	Sensor Suhu DS18B20	18
2.2.10	Liquid Crystal Display (LCD) 20x4 dengan Modul I2C	20
2.2.11	LED Buzzer 220V AC (Indikator Alarm Panel).....	21
2.2.12	Kipas/Fan	21
2.2.13	Relay 5 Volt	22
2.2.14	Power Supply 5V5A	24
2.2.15	Kabel Nya	25
2.2.16	Molded Case Circuit Breaker (MCCB) 20A	26
2.2.17	Terminal Koneksi	28
2.2.18	Led Indikator.....	28
2.2.19	Panel Box.....	29
2.2.20	Software Arduino IDE	30
2.2.21	Software Autocad	31
BAB 3.....		32
METODE PENELITIAN		33
3.1	Langkah Penelitian	33
3.2	Identifikasi Masalah.....	34
3.3	Analisa Kebutuhan Sistem.....	36
3.4	Perencanaan Sistem	36
3.4.1	Diagram Blok Sistem.....	37
3.4.2	Diagram Kerja Sistem.....	39
3.4.3	Alur Kerja Sensor PZEM-004T	41
3.4.4	Alur Kerja Sensor Suhu DS18B20	43
3.5	Perancangan Desain Hardware dan Software Sistem.....	44
3.5.1	Perancangan Desain Hardware	45
3.5.2	Perancangan Wiring Diagram Hardware.....	47
3.5.3	Wiring Diagram Sensor DS18B20	50
3.5.4	Wiring Diagram Sensor PZEM-004T.....	52
3.5.5	Wiring LCD 20x4 I2C	53
3.5.6	Wiring Diagram Buzzer.....	54
3.6	Perancangan Software	55
3.6.1	Software Arduino.....	56
3.7	Skema Pengujian Sistem.....	56
3.8	Skema Gangguan	58

4.6.1 Skenario Uji Gangguan Tegangan (Voltage Sag & Swell).....	58
4.6.2 Skenario Uji Beban Berlebih (<i>Overload</i>).....	59
4.6.3 Skenario Uji Suhu Berlebih (<i>Overheat</i>) dan Respon Pendingin	59
4.6.4 Pengujian Karakteristik Faktor Daya (<i>Power Factor</i>)	60
3.9 Perencanaan Pengujian Setiap Komponen	60
3.9.1 Pengujian Mikrokontroler ESP32	60
3.9.2 Pengujian sensor pzem-004T	61
3.9.3 Pengujian Sensor Suhu DS18B20	61
3.9.4 Pengujian LCD 20x4 dengan Modul I2C.....	62
3.9.5 Pengujian Aktuator (Relay, Fan, dan Buzzer	62
3.9.6 Pengujian notifikasi telegram bot.....	62
3.10 Teknik Analisa Data	62
3.10.1 Analisis Akurasi Pembacaan Sensor	63
3.10.2 Analisis Kualitas Daya Shore Connection	63
3.10.3 Analisis Respon Waktu Sistem (Latency)	63
BAB 4	64
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	65
4.1 Pengujian Parsial	65
4.1.1 Pengujian ESP32	65
4.1.2 Pengujian Tegangan Sensor PZEM-004T.....	66
4.1.3 Pengujian Frekuensi Sensor PZEM-004T	70
4.1.4 Pengujian Arus Sensor PZEM-004T	74
4.1.5 Pengujian Daya Aktif Sensor PZEM-004T.....	78
4.1.6 Pengujian Faktor Daya Sensor PZEM-004T.....	83
4.1.7 Pengujian Sensor Suhu DS18B20	88
4.1.8 Pengujian LCD	89
4.1.9 Pengujian Relay dan Buzzer	91
4.1.10 Pengujian Fan	93
4.2 Pengujian Terintegrasi.....	94
4.3 Parameter Kualitas Daya yang Diuji	95
4.4 Pengujian Proses ON Shore Connection	97
4.5 Spesifikasi dan Kapasitas Sistem <i>Shore Connection</i>	97
4.5.1 Kapasitas Daya On Shore.....	98
4.5.2 Perbandingan Kebutuhan Daya (<i>Cold Ironing</i>)	98

4.6 Analisis Standar Kualitas Daya dan Studi Kasus Mekanisme Gangguan	100
4.6.1 Pengujian Studi Kasus Voltage (Tegangan)	101
4.6.2 Pengambilan Data Parameter Frekuensi	102
4.6.3 Pengujian Studi Kasus Arus dan Unbalance Load	104
4.6.4 Pengujian Studi Kasus Daya Aktif	106
4.6.5 Pengujian Studi Kasus <i>Power Factor</i> (Faktor Daya)	107
BAB 5	110
KESIMPULAN DAN SARAN	111
5.1 Kesimpulan	111
5.2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA	114
LAMPIRAN	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Threshold parameter kualitas daya	13
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor PZEM-004T	18
Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor Suhu DS18B20	19
Tabel 2. 4 Spesifikasi LCD Oled 1.3 Inch.....	20
Tabel 2. 5 Spesifikasi Relay	24
Tabel 2. 6 Spesifikasi <i>Hi-Link</i>	25
Tabel 2. 7 Spesifikasi MCB 3 Phase	27
Tabel 3. 1 Daftar alat dan bahan yang digunakan.....	36
Tabel 3. 2 Penggunaan Pin GPO ESP32.....	50
Tabel 3. 3 Wiring LCD 20x4 I2C	53
Tabel 3. 4 Wiring Diagram <i>Buzzer</i>	55
Tabel 4.1 Pengujian Tegangan Sensor PZEM	66
Tabel 4. 2 Pengujian Frekuensi Sensor PZEM	70
Tabel 4. 3 Pengujian Frekuensi Sensor PZEM	74
Tabel 4. 4 Pengujian Daya Aktif Sensor PZEM	78
Tabel 4. 5 Pengujian Faktor Daya Sensor PZEM	83
Tabel 4. 6 Pengujian Sensor Suhu DS18B20.....	88
Tabel 4. 7 Pengujian LCD.....	89
Tabel 4. 8 Pengujian Relay dan <i>Buzzer</i>	92
Tabel 4. 9 Pengujian <i>Fan</i>	93
Tabel 4. 10 Rincian Beban Simulasi (<i>Hotel Load</i>)	99
Tabel 4. 11 Pengujian Studi Kasus <i>Voltage</i>	101
Tabel 4. 12 Data Parameter Frekuensi	103
Tabel 4. 13 Pengujian Studi Kasus <i>Current</i> dan <i>Unbalance Load</i>	104
Tabel 4. 14 Pengujian Daya Aktif.....	106
Tabel 4. 15 Pengujian Studi Kasus <i>Power Factor</i>	108

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rumus Segitiga Daya	8
Gambar 2.2 ESP32(https://www.colombianizate.com.co ,2025)	15
Gambar 2.3 Sensor PZEM-004T (Arjun Pratikto Wahyu Hendrawan, Ni Putu Agustini, 2022).....	17
Gambar 2.4 Rangkaian Listrik PZEM 004T(https://www.researchgate.net ,2025)	17
Gambar 2.5 Sensor Suhu DS18B20(https://www.shopee.co.id ,2025).....	19
Gambar 2.6 LCD Oled 1.3 Inch (https://www.shopee.co.id ,2025)	20
Gambar 2.7 Buzzer 5V (https://www.shopee.co.id ,2025).....	21
Gambar 2.8 Fan DC (https://www.shopee.co.id ,2025)	22
Gambar 2.9 Relay 5V (https://i2.wp.com/components101.com/sites/default/files/component_pin/Single-Channel-Relay-Module-Pinout.jpg?strip=all).....	23
Gambar 2.10 Power suplay 5v (<i>Hi-Link</i> Official Website).....	24
Gambar 2.11 Kabel nyaf (kitani.co.id)	26
Gambar 2.12 <i>Miniature Circuit Breaker</i> (www.lazada.co.id)	26
Gambar 2.13 Terminal koneksi (https://www.shopee.co.id ,2025)	28
Gambar 2.14 Led indikator (https://www.shopee.co.id ,2025).....	29
Gambar 2.15 Box panel (www.tradeindia.com)	30
Gambar 2.16 <i>Software</i> Arduino IDE	30
Gambar 2.17 <i>Software Autocad</i>	31
Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian	33
Gambar 3 2 Diagram blok sistem	37
Gambar 3.3 Diagram Kerja Sistem	39
Gambar 3.4 Alur Kerja Sensor PZEM-004T	41
Gambar 3.5 Alur Kerja Sensor Suhu DS18B20.....	43
Gambar 3.6 Desain layout panel kontrol dan panel proteksi	45
Gambar 3.7 Desain wiring diagram	48
Gambar 3.8 Wiring Diagram Sensor DS18B20.....	51
Gambar 3.9 Wiring Diagram Sensor PZEM-004T	52
Gambar 3. 10 Skema Pengujian Sistem	57
Gambar 4. 1 Pengujian ESP32	65

Gambar 4. 2 Pengujian Parsial Tegangan R,S,T	68
Gambar 4. 3 Grafik Tegangan Fasa R	69
Gambar 4. 4 Grafik Tegangan Fasa S.....	69
Gambar 4. 5 Grafik Tegangan Fasa T	70
Gambar 4. 6 Grafik Frekuensi Fasa R	72
Gambar 4. 7 Grafik Frekuensi Fasa S.....	73
Gambar 4. 8 Grafik Frekuensi Fasa T	73
Gambar 4. 9 Pengujian Frekuensi Sensor PZEM.....	74
Gambar 4. 10 Grafik Pengujian Arus Sensor PZEM.....	77
Gambar 4. 11 Pengujian Arus Sensor PZEM.....	77
Gambar 4. 12 Grafik Daya Aktif Sensor PZEM	80
Gambar 4. 13 Grafik Daya Aktif Sensor PZEM	80
Gambar 4. 14 Grafik Daya Aktif Sensor PZEM	81
Gambar 4. 15 Pengujian Daya Aktif Sensor PZEM.....	82
Gambar 4. 16 Grafik Faktor Daya Sensor PZEM Fasa R	84
Gambar 4. 17 Grafik Faktor Daya Sensor PZEM Fasa S.....	85
Gambar 4. 18 Grafik Faktor Daya Sensor PZEM Fasa T.....	86
Gambar 4. 19 Pengujian Faktor Daya Sensor PZEM.....	87
Gambar 4. 20 Pengujian LCD	91
Gambar 4. 21 Pengujian <i>Relay</i> dan <i>Buzzer</i>	92
Gambar 4. 22 Pengujian <i>Fan</i>	94
Gambar 4. 23 Proses On Sistem dan <i>On Shore</i>	97
Gambar 4. 24 Kapasitas Daya <i>On Shore</i>	98
Gambar 4. 25 Daya Yang Digunakan.....	100
Gambar 4. 26 Pengujian Studi Kasus <i>Voltage</i>	102
Gambar 4. 27 Pengujian Parameter Frekuensi	103
Gambar 4. 28 Pengujian Studi Kasus <i>Current</i> dan <i>Unbalance Load</i>	105
Gambar 4. 29 Pengujian Daya Aktif	107
Gambar 4. 30 Pengujian Studi Kasus <i>Power Factor</i>	109

DAFTAR NOTASI

A : *Ampere*, satuan arus listrik

AC : *Alternating Current*, arus listrik bolak-balik

DC : *Direct Current*, arus listrik searah

Hz : *Hertz*, satuan frekuensi

I : Arus listrik yang mengalir dalam penghantar (*Ampere*)

P : Daya Aktif atau daya nyata yang digunakan beban (Watt)

P_{loss} : Rugi-rugi daya yang berubah menjadi panas pada penghantar (Watt)

Q : Daya Reaktif, daya untuk pembentukan medan magnet (VAR)

R : Hambatan atau resistansi listrik (Ohm)

RMS : *Root Mean Square*, nilai efektif rata-rata tegangan atau arus

S : Daya Semu, total daya gabungan aktif dan reaktif (VA)

V : Tegangan listrik atau beda potensial (Volt)

VCC : *Voltage Common Collector*, tegangan suplai positif ke komponen

W : Watt, satuan daya aktif

$\cos \phi$: Faktor daya (*Power Factor*), rasio antara daya aktif dan daya semu

$\sin \phi$: Sinus sudut fase antara tegangan dan arus

ϕ : Sudut fase antara gelombang tegangan dan arus

Ω : Ohm, satuan hambatan listrik

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung operasional peralatan listrik pada berbagai sektor, khususnya di lingkungan industri. Keandalan sistem kelistrikan tidak hanya ditentukan oleh kontinuitas pasokan listrik, tetapi juga oleh kualitas daya listrik yang disalurkan. Gangguan kualitas daya listrik seperti fluktuasi tegangan, kelebihan arus, serta penurunan faktor daya dapat menyebabkan penurunan kinerja peralatan, kerusakan komponen listrik, bahkan gangguan operasional secara keseluruhan.

Secara spesifik pada industri kemaritiman, khususnya pada fasilitas *docking* kapal, kualitas daya listrik memiliki urgensi yang lebih tinggi. Saat kapal menjalani proses *docking* dan berada dalam kondisi *cold ironing* (mesin mati), seluruh kebutuhan energi kapal disuplai dari panel proteksi darat (*shore connection*). Suplai listrik dari panel *docking* ini seringkali mengalami ketidakstabilan tegangan akibat panjangnya kabel distribusi dan beban puncak peralatan galangan. Jika kualitas daya pada panel ini buruk dan tidak terpantau, risiko kerusakan fatal dapat terjadi pada peralatan navigasi dan elektronik sensitif di dalam kapal yang sedang diperbaiki.

Pada praktiknya, pemantauan kondisi kelistrikan pada panel proteksi di area *docking* ini masih banyak dilakukan secara manual dan bersifat periodik. Metode ini memiliki keterbatasan karena tidak mampu memberikan informasi kondisi kelistrikan secara *real-time*. Akibatnya, gangguan kualitas daya listrik sering kali baru diketahui setelah terjadi *trip* atau kerusakan pada peralatan. Kondisi ini menunjukkan perlunya sistem pemantauan yang mampu mendeteksi gangguan sejak dini sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum gangguan berkembang menjadi masalah yang lebih serius.

Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem *monitoring* daya listrik berbasis mikrokontroler dan *Internet of Things* (IoT) telah banyak dikembangkan sebagai solusi pemantauan parameter listrik secara *real-time*. Penelitian mengenai *monitoring* pemakaian daya listrik secara *real-time* berbasis (IoT) menunjukkan bahwa sistem ini mampu menyajikan data penggunaan daya listrik secara akurat

dan berkelanjutan, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi kelistrikan secara langsung tanpa harus melakukan pengukuran manual (Amar Ma'ruf, dkk., 2021). Sistem *monitoring real-time* ini dinilai lebih efektif dalam membantu proses evaluasi dan pengambilan keputusan terkait pengelolaan energi listrik.

Penelitian lain juga mengkaji pengukuran daya listrik secara *real-time* dengan memanfaatkan sensor arus dan tegangan yang terintegrasi dengan mikrokontroler. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengukuran parameter listrik secara *real-time* dapat membantu dalam mendeteksi perubahan beban serta potensi gangguan kualitas daya listrik secara lebih cepat dibandingkan metode konvensional (Sdoukopoulos, dkk., 2022). Hal ini membuktikan bahwa sistem *monitoring* berbasis mikrokontroler memiliki potensi besar untuk diterapkan pada panel proteksi sebagai sistem pendukung pengamanan kelistrikan.

Selain itu, (Amar Ma'ruf, Rangsang Purnama, dan Kunto Eko Susilo, 2021) mengembangkan alat *monitoring* tegangan, arus, daya, dan faktor daya berbasis IoT menggunakan modul PZEM-004T. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu memantau parameter kualitas daya listrik secara *real-time* dan menampilkan data secara akurat melalui media digital. Penelitian ini menjadi dasar bahwa sistem *monitoring* kualitas daya listrik berbasis IoT dapat diimplementasikan secara efektif dan memiliki tingkat akurasi yang baik.

Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa penerapan sistem *monitoring* secara *real-time* memiliki peranan yang signifikan dalam menjaga kualitas serta keandalan sistem kelistrikan. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada fungsi pemantauan dan penyajian data saja, tanpa disertai mekanisme peringatan dini yang secara khusus mampu memberikan informasi saat terjadi gangguan kualitas daya listrik. Terlebih di area *docking* yang luas, teknisi tidak selalu berada di dekat panel untuk melihat indikator gangguan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem yang tidak hanya berfungsi untuk memantau parameter kelistrikan, tetapi juga mampu memberikan peringatan dini jarak jauh ketika terdeteksi kondisi tidak normal pada panel proteksi.

Sejalan dengan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada "Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini untuk Kualitas Daya Listrik pada Panel Proteksi *Shore*

Connection Menggunakan Notifikasi Telegram". Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat melakukan pemantauan parameter listrik secara *real-time* serta memberikan peringatan dini ketika terjadi gangguan kualitas daya listrik, sehingga mampu meningkatkan keandalan, keselamatan, dan efisiensi operasional sistem kelistrikan di fasilitas galangan kapal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem peringatan dini yang mampu memantau gangguan kualitas daya listrik pada panel proteksi *Shore Connection* secara *real-time*?
2. Bagaimana kinerja sistem notifikasi Telegram Bot dalam mengirimkan informasi gangguan tegangan dan suhu kepada teknisi?
3. Bagaimana akurasi pembacaan sensor sistem dan kecepatan respon proteksi bantu (*Fan* dan *Buzzer*) saat mendeteksi anomali dibandingkan dengan pengukuran manual?

1.3 Batasan Masalah

Batasan-Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian tidak dilakukan secara langsung pada panel distribusi tegangan tinggi di perusahaan/galangan kapal demi keselamatan (*safety*) dan kontinuitas operasional industri.
2. Alat berfungsi sebagai sistem *Monitoring & Peringatan Dini (Early Warning)*, bukan sebagai pengganti sistem proteksi utama
3. Alat fokus pada pembacaan Tegangan, Arus, Daya (Sensor PZEM-004T) dan Suhu Panel (Sensor DS18B20).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem peringatan dini gangguan kualitas daya listrik dan suhu pada panel proteksi *Shore Connection* berbasis IoT.

2. Mengimplementasikan sistem notifikasi otomatis menggunakan Telegram Bot untuk mengirimkan status gangguan secara *real-time*.
3. Fokus pembacaan pada Tegangan, Arus, Daya 3 Fasa (menggunakan 3 unit PZEM-004T) dan Suhu Panel (Sensor DS18B20).

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Dengan adanya penelitian dari tugas akhir ini di harapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak terkait,antara lain sebagai berikut:

1. Bagi Industri Maritim (Galangan Kapal)
Dapat digunakan sebagai referensi penerapan teknologi keselamatan (*safety*) untuk meminimalisir risiko kerusakan peralatan kapal akibat listrik *Shore Connection* yang tidak stabil.
2. Bagi Penulis
Menambah wawasan dan keahlian dalam mengaplikasikan ilmu mikrokontroler dan IoT pada kasus nyata di bidang kelistrikan perkapalan.
3. Bagi Institusi
Dapat menambah perbendaharaan referensi di bidang sistem tenaga listrik, khususnya terkait monitoring kualitas daya dan sistem peringatan dini berbasis teknologi tepat guna.

BAB 2

DASAR TEORI

Bab ini berisi kajian pustaka yang disusun berdasarkan berbagai sumber rujukan, antara lain laporan penelitian dan jurnal ilmiah. Pada bab ini diuraikan landasan teori yang mendukung penelitian, objek yang diteliti, metode yang digunakan, serta perangkat lunak dan perangkat keras yang dimanfaatkan dalam perancangan tugas akhir. Penyajian tinjauan pustaka disusun secara terstruktur dan runtut.

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Pada sub-bab ini dijelaskan penelitian-penelitian terkait yang telah dilakukan mengenai sistem peringatan dini dan monitoring gangguan kualitas daya listrik pada panel proteksi, khususnya di lingkungan industri dan kelistrikan kapal. Dalam uraian setiap sub-bab disajikan gambaran permasalahan yang dihadapi, solusi atau upaya pemecahan masalah yang diterapkan, metode yang digunakan, serta kelebihan dan kekurangan dari penelitian terdahulu. Melalui kajian tersebut, diperoleh ide dan dasar pengembangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

2.1.1 “Sistem Proteksi Main Panel *Distribution* Dengan *Over Voltage Relay* Dan *Over Current Relay*” (M. Eef Fajrul Azmy, 2021)

Penelitian yang dilakukan oleh M. Eef Fajrul Azmy (2021) membahas perancangan sistem proteksi Main Panel Distribution (MPD) menggunakan *Over Current Relay* (OCR) dan *Over Voltage Relay* (OVR) berbasis Arduino Mega 2560. Sistem ini dirancang untuk melindungi jaringan distribusi tiga fasa dari gangguan arus lebih dan tegangan lebih yang dapat merusak peralatan listrik. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan menggunakan sensor PZEM-004T, sedangkan data gangguan direkam menggunakan modul SD Card sebagai bahan analisis lebih lanjut.

Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, perancangan mekanik panel, perancangan rangkaian elektronika, serta pengujian sistem. Hasil

pengujian menunjukkan bahwa OCR dan OVR dapat bekerja secara paralel untuk memutus suplai listrik secara otomatis apabila terjadi kondisi arus atau tegangan melebihi batas yang telah ditentukan sesuai standar. Sistem ini terbukti mampu meningkatkan keamanan beban dan keandalan jaringan distribusi listrik.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, sistem proteksi yang dirancang telah mampu mengamankan panel distribusi dari gangguan arus lebih dan tegangan lebih melalui penggunaan *relay* proteksi dan *mikrokontroler*. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi proteksi dasar dan perekaman data gangguan tanpa adanya sistem peringatan dini yang bersifat preventif.

Selain itu, penelitian tersebut belum membahas gangguan kualitas daya listrik secara lebih luas, seperti ketidakseimbangan fasa, penurunan atau kenaikan tegangan secara dinamis, serta kondisi lingkungan khusus seperti pada area *docking* kapal yang memiliki beban fluktuatif dan risiko gangguan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan rancang bangun sistem peringatan dini gangguan kualitas daya listrik pada panel proteksi di lingkungan docking kapal, yang tidak hanya berfungsi sebagai proteksi, tetapi juga mampu memberikan informasi dan peringatan awal sebelum gangguan menyebabkan trip atau kerusakan peralatan.

2.1.2 “Rancang Bangun Alat *Monitoring* Tegangan, Arus, Daya, dan Faktor Daya Berbasis IoT” (Amar Ma’ruf et al. 2021)

Monitoring kualitas daya listrik merupakan proses pemantauan parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan faktor daya secara berkelanjutan untuk mengetahui kondisi sistem tenaga listrik. Pemantauan parameter tersebut penting karena penggunaan beban listrik, khususnya beban induktif, dapat menyebabkan penurunan faktor daya yang berdampak pada menurunnya efisiensi sistem kelistrikan. Dalam penelitian tersebut, modul PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter kualitas daya listrik, kemudian data diolah oleh *mikrokontroler* NodeMCU ESP8266 dan dikirimkan melalui jaringan *Internet of Things* (IoT) untuk ditampilkan secara real-time. Penerapan sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan pemantauan kondisi kelistrikan dilakukan secara cepat dan jarak jauh. Konsep ini dapat dikembangkan menjadi sistem peringatan dini

dengan menambahkan batas ambang pada parameter kelistrikan, sehingga sistem mampu memberikan peringatan ketika terjadi kondisi tidak normal pada panel proteksi dan membantu mencegah gangguan yang lebih serius.

2.1.3 “*Real-Time Detection and Classification of Power Quality Disturbances*” (Mozaffari et al., 2022)

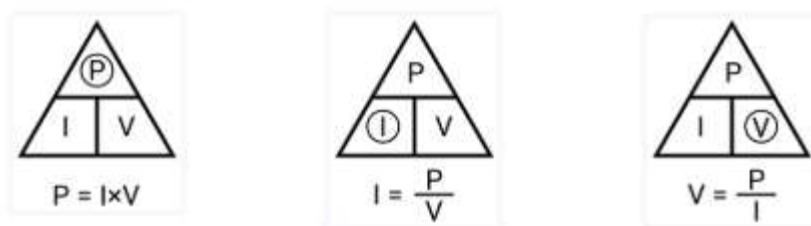
Penelitian ini membahas pentingnya deteksi dan klasifikasi gangguan kualitas daya listrik secara real-time sebagai upaya untuk meningkatkan keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik. Penelitian tersebut menekankan bahwa gangguan kualitas daya, seperti sag, swell, harmonisa, interupsi, dan fluktuasi tegangan, sering kali terjadi sebelum berkembang menjadi gangguan besar yang dapat memicu kerja sistem proteksi atau menyebabkan kerusakan peralatan. Dengan memanfaatkan pemantauan sinyal listrik secara kontinu dan metode pengolahan data secara real-time, sistem yang dikembangkan dalam penelitian mampu mengidentifikasi jenis gangguan sejak tahap awal kemunculannya. Hal ini sejalan dan memperkuat judul Tugas Akhir “Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini untuk Gangguan Kualitas Daya Listrik pada Panel Proteksi”, karena menunjukkan bahwa pendekatan deteksi dini berbasis pemantauan kualitas daya merupakan solusi preventif yang efektif untuk melengkapi sistem proteksi konvensional. Implementasi sistem peringatan dini pada panel proteksi memungkinkan operator memperoleh informasi awal terkait kondisi abnormal sebelum relay proteksi bekerja, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan lebih cepat untuk mencegah trip yang tidak diinginkan, meningkatkan kontinuitas penyaluran energi listrik, serta memperpanjang umur peralatan dalam sistem tenaga listrik.

2.2 Kajian Pustaka

Pada sub-bab ini menjabarkan penjelasan teori yang digunakan dalam penelitian, termasuk mengenai objek penelitian, perangkat lunak atau keras yang dipakai, dan hal lainnya yang sesuai dengan kebutuhan utama dalam pelaksanaan penelitian ini.

2.2.1 Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik merupakan ukuran sejauh mana sistem tenaga listrik mampu menyalurkan energi listrik dengan karakteristik tegangan, arus, dan frekuensi yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Kualitas daya yang baik ditunjukkan oleh kondisi tegangan dan arus yang stabil, frekuensi yang konstan, serta rendahnya tingkat gangguan pada sistem kelistrikan. Gangguan kualitas daya listrik dapat berupa fluktuasi tegangan, harmonisa, ketidakseimbangan beban, maupun penyimpangan frekuensi, yang sering terjadi akibat perubahan beban secara tiba-tiba atau kondisi instalasi listrik yang kurang optimal. Apabila kualitas daya listrik mengalami penurunan, maka peralatan listrik tidak dapat bekerja secara maksimal, efisiensi sistem menurun, dan risiko kerusakan komponen listrik meningkat. Selain itu, gangguan kualitas daya juga dapat memicu terjadinya trip pada sistem proteksi, yang berpotensi mengganggu kontinuitas operasional. Oleh karena itu, pemantauan kualitas daya listrik menjadi aspek penting dalam menjaga keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik.



Gambar 2. 1 Rumus Segitiga Daya

- Tegangan (*Voltage*)

Tegangan merupakan beda potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik.

$$V = I \times R \quad (1)$$

Keterangan:

- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (*Ampere*)
- R = Hambatan (Ohm)
- Arus Listrik (*Current*)

Arus listrik adalah aliran muatan listrik dalam suatu penghantar.

$$I \frac{P}{V} \quad (2)$$

Keterangan:

- I = Arus (*Ampere*)
- P = Daya (*Watt*)
- V = Tegangan (*Volt*)
- Daya Listrik

Daya listrik adalah energi listrik yang digunakan oleh beban per satuan waktu.

❖ Daya Aktif (P)

Daya aktif merupakan daya listrik yang secara langsung dimanfaatkan untuk menghasilkan kerja nyata, seperti panas, gerakan, atau cahaya, sehingga menjadi energi yang berguna bagi peralatan listrik.

$$P = V \times I \times \cos\varphi \quad (3)$$

❖ Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan daya listrik yang tidak digunakan untuk menghasilkan kerja secara langsung, namun berperan dalam pembentukan dan pemeliharaan medan magnet atau medan listrik pada peralatan seperti motor listrik, transformator, dan kapasitor. Walaupun tidak menghasilkan energi kerja, daya reaktif tetap memengaruhi kinerja dan kapasitas sistem tenaga listrik.

$$Q = V \times I \times \sin\varphi \quad (4)$$

❖ Daya Semu (S)

Daya semu adalah total daya yang mengalir dalam sistem tenaga listrik yang terdiri dari daya aktif dan daya reaktif. Besaran ini menggambarkan keseluruhan daya yang disalurkan ke rangkaian tanpa memperhitungkan tingkat pemanfaatannya secara efektif. Daya semu dinyatakan dalam satuan *volt-ampere* (VA) dan secara matematis dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$S = V \times I \quad (5)$$

Keterangan:

- P = Daya aktif (Watt)
- Q = Daya reaktif (VAR)
- S = Daya semu (VA)
- φ = Sudut fase antara tegangan dan arus

2.2.2 Gangguan Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik dapat diartikan sebagai tingkat kesesuaian parameter kelistrikan, meliputi tegangan, arus, dan frekuensi, terhadap standar operasi yang dibutuhkan oleh peralatan listrik. Berdasarkan standar IEEE 1159, gangguan kualitas daya listrik merupakan setiap bentuk penyimpangan atau variasi pada sistem kelistrikan yang menyebabkan perubahan pada bentuk gelombang tegangan, arus, maupun frekuensi, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan fungsi atau kegagalan operasi pada peralatan pengguna.

Dalam penerapan sistem peringatan dini, pemahaman terhadap karakteristik gangguan kualitas daya listrik menjadi aspek yang sangat penting dalam penentuan nilai ambang batas sebagai pemicu alarm. Oleh karena itu, diperlukan pengelompokan jenis-jenis gangguan kualitas daya listrik yang relevan untuk pemantauan pada panel proteksi, antara lain sebagai berikut:

a Kedip Tegangan (*Voltage Sag*)

Voltage sag atau kedip tegangan merupakan kondisi penurunan tegangan RMS hingga berada pada kisaran 10% sampai 90% dari nilai tegangan nominal, yang terjadi dalam waktu singkat dengan durasi mulai dari 0,5 siklus hingga 1 menit.

b Tegangan Lebih dan Kurang (*Overvoltage & Undervoltage*)

Tegangan lebih (*overvoltage*) dan tegangan kurang (*undervoltage*) diklasifikasikan sebagai variasi tegangan sistem tenaga listrik berdurasi panjang (biasanya lebih dari satu menit), yang berbeda secara fundamental dari gangguan sesaat seperti *sag* atau *swell*. *Overvoltage* terjadi ketika nilai tegangan RMS naik melebihi 110% dari tegangan nominal, yang dapat merusak isolasi peralatan dan memperpendek umur komponen elektronik akibat *stress* tegangan berlebih; sebaliknya, *undervoltage* adalah kondisi

penurunan tegangan di bawah 90% dari nominal yang sering disebabkan oleh pembebanan berlebih pada jaringan distribusi. Kondisi tegangan kurang ini sangat kritis bagi peralatan berbasis motor induksi, karena penurunan tegangan memaksa motor menarik arus yang lebih besar untuk mempertahankan daya keluaran, yang secara langsung mengakibatkan kenaikan suhu kumparan (*overheating*) dan berpotensi memicu kegagalan isolasi atau *trip* pada sistem proteksi.

c Beban Lebih (*Overload*)

Beban lebih (*overload*) adalah kondisi gangguan operasional pada sistem kelistrikan di mana arus beban yang mengalir melebihi kapasitas nominal (*ampacity*) dari penghantar atau peralatan listrik, namun nilainya masih jauh lebih rendah dibandingkan arus hubung singkat (*short circuit*). Kondisi ini umumnya disebabkan oleh penyambungan beban listrik yang melebihi kapasitas daya terpasang atau pemaksaan kerja mekanis pada motor listrik di luar spesifikasi desainnya. Meskipun tidak menyebabkan kerusakan instan seperti hubung singkat, beban lebih sangat berbahaya karena bersifat akumulatif panas; sesuai dengan hukum Joule, kenaikan arus akan menghasilkan panas berlebih pada konduktor $P_{loss} = I^2 R$, yang jika berlangsung dalam durasi lama akan menyebabkan degradasi isolasi kabel, penurunan umur peralatan, hingga potensi kebakaran pada panel proteksi akibat *overheating*.

2.2.3 Standar Kualitas Daya Listrik Berdasarkan (PUIL 2011)

Dalam perancangan sistem proteksi dan monitoring kelistrikan, acuan utama yang digunakan di Indonesia adalah Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 atau SNI 0225:2011. Standar ini tidak hanya mengatur tata cara pemasangan, tetapi juga menetapkan batasan parameter kelistrikan demi menjamin keselamatan manusia, ternak, dan keamanan harta benda dari bahaya yang ditimbulkan oleh listrik. Berikut adalah parameter kualitas daya yang menjadi fokus dalam sistem proteksi berdasarkan perspektif PUIL:

1. Stabilitas Tegangan (*Voltage Stability*) Kestabilan tegangan suplai berperan penting dalam mencegah terjadinya kerusakan isolasi serta pemanasan berlebih pada beban. Oleh karena itu, PUIL 2011 menetapkan bahwa setiap instalasi listrik harus dirancang sedemikian rupa sehingga susut tegangan dari panel hubung bagi utama hingga titik beban terjauh tetap berada dalam batas yang diizinkan.
 - ❖ Secara umum, susut tegangan yang diizinkan adalah maksimal **4%** dari tegangan nominal untuk instalasi tenaga.
 - ❖ Variasi tegangan pelayanan juga harus dijaga dalam rentang toleransi **+5% dan -10%** (198V – 231V untuk sistem 220V). Penurunan tegangan di bawah batas ini dapat menyebabkan kenaikan arus beban (khususnya pada motor listrik), yang berpotensi memicu kegagalan fungsi atau kebakaran.
2. Kuat Hantar Arus (KHA) dan Proteksi Arus Lebih Pengawasan terhadap arus listrik bertujuan untuk melindungi penghantar dari kenaikan suhu yang merusak isolasi kabel. Sesuai prinsip proteksi PUIL, arus beban (I_b) yang mengalir pada sirkuit tidak boleh melebihi Kuat Hantar Arus (I_z) dari kabel yang terpasang.
 - ❖ Sistem proteksi harus memastikan kondisi: $I_b \leq I_n \leq I_z$, di mana I_n adalah arus nominal gawai proteksi (MCB/Relay).
 - ❖ Jika arus terukur melebihi (I_n), sistem dikategorikan mengalami beban lebih (*overload*) yang harus segera diputuskan atau diberi peringatan sebelum terjadi kerusakan termal permanen.
3. Faktor Daya (*Power Factor*) Efisiensi penyaluran daya listrik sangat dipengaruhi oleh faktor daya ($\cos \emptyset$). PUIL merekomendasikan perbaikan faktor daya untuk mengurangi rugi-rugi jaringan dan mencegah denda dari penyedia listrik.
 - ❖ Instalasi listrik industri dan komersial disyaratkan memiliki nilai faktor daya minimal 0,85.

- ❖ Nilai $\cos \phi$ yang rendah ($< 0,85$) mengindikasikan besarnya daya reaktif yang mengalir, yang akan membebani penghantar dan transformator serta menyebabkan susut tegangan yang lebih besar.

4. Frekuensi Frekuensi sistem tenaga listrik di Indonesia ditetapkan sebesar 50 Hz. Gawai proteksi dan peralatan pemanfaat listrik harus dirancang untuk beroperasi pada frekuensi ini dengan toleransi yang sangat sempit (umumnya $\pm 0,5$ Hz) untuk mencegah gangguan pada kinerja motor induksi dan peralatan elektronik sensitif.

Tabel 2. 1 *Threshold* parameter kualitas daya

Parameter	Standar Acuan (PUIL 2011 / SPLN)	Batas Aman Sistem (Normal)	Kondisi Bahaya (Alat Memicu Alarm)
Tegangan (V)	220 V + 5% – 10%	198 V – 231 V	< 198 V (<i>Drop</i>) atau > 231 V (<i>Over</i>)
Arus (I)	$\geq$ Kuat Hantar Arus (KHA)	$\leq$ MCB (Misal 20 A)	> 20 A (Beban Lebih)
Faktor Daya ($\cos \phi$)	≥ 0.85	0.85 – 1.00	< 0.85 (Indikasi Boros)
Suhu Panel (T)	Batas Termal Isolasi Kabel	< 40°C (Suhu Ruang Aman)	> 40°C (Overheat)
Frekuensi (F)	50 Hz $\pm$ 1%	49.5 Hz – 50.5 Hz	Diluar Rentang Tersebut

2.2.4 Panel Proteksi dan Distribusi (*Electrical Protection Panel*)

Panel proteksi dan distribusi, atau sering disebut sebagai PHB (Perangkat Hubung Bagi), adalah suatu perlengkapan atau wadah (*enclosure*) yang berfungsi sebagai tempat pembagian, penyaluran, dan pengendalian tenaga listrik dari sumber daya utama ke beban-beban listrik. Selain fungsi distribusi, peran vital dari panel ini adalah sebagai sistem proteksi yang menampung komponen pengaman seperti *Circuit Breaker* (MCB/MCCB), *Fuse*, dan *relay* proteksi untuk melindungi rangkaian dari gangguan hubung singkat (*short circuit*) maupun beban lebih (*overload*).

Keandalan operasional suatu panel proteksi sangat ditentukan oleh kondisi komponen penyusunnya, terutama yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap fluktuasi arus dan suhu. Terdapat tiga komponen vital yang menjadi fokus utama dalam aspek kualitas daya dan risiko termal, yaitu:

1. Busbar: Sebagai konduktor utama penyalur arus besar, busbar rentan mengalami peningkatan temperatur yang signifikan, sehingga menjadi titik krusial dalam pemantauan suhu.
2. *Circuit Breaker* (MCB/MCCB): Performa proteksi komponen ini sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan (*ambient*) di dalam panel. Suhu ruang yang berlebih dapat menurunkan kapasitas hantar arus (*derating*) atau memicu pemutusan sirkuit secara keliru (*nuisance tripping*).
3. Terminal Koneksi: Sambungan antar kabel merupakan area yang berisiko tinggi. Ketidaksempurnaan sambungan atau kontak yang kendur (*loose contact*) akan meningkatkan resistansi kontak, yang secara fisika akan dikonversi menjadi panas berlebih (*hotspot*) sesuai prinsip hukum Joule I^2R

2.2.5 Sistem Monitoring Kualitas Daya Listrik

Sistem monitoring kualitas daya listrik merupakan metode pemantauan parameter kelistrikan secara kontinu dan *real-time* yang bertujuan untuk memastikan stabilitas pasokan energi sesuai standar operasional. Berbeda dengan pengukuran manual yang terbatas pada nilai sesaat, sistem ini mengintegrasikan proses penginderaan sensor, akuisisi data, dan pengolahan digital untuk mendeteksi anomali kelistrikan maupun termal secara dini. Kemampuan monitoring ini sangat krusial dalam manajemen panel proteksi karena memungkinkan penerapan strategi pemeliharaan prediktif, di mana potensi gangguan dapat diidentifikasi dan ditangani sebelum berkembang menjadi kerusakan permanen pada komponen sistem tenaga.

2.2.6 Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System*)

Sistem Peringatan Dini atau *Early Warning System* (EWS) didefinisikan sebagai mekanisme pengawasan preventif yang dirancang untuk mendeteksi anomali atau gejala awal (*pre-fault condition*) pada suatu sistem sebelum terjadinya

kegagalan fatal. Dalam konteks panel proteksi kelistrikan, EWS bekerja secara berbeda dengan sistem proteksi konvensional seperti MCB atau *relay* yang bersifat reaktif dan berfungsi memutus arus saat gangguan terjadi; sebaliknya, EWS beroperasi secara proaktif dengan memantau parameter kritis—seperti tegangan, arus, dan suhu—secara real-time dan membandingkannya dengan ambang batas (*threshold*) keamanan yang telah ditentukan. Apabila sistem mendeteksi indikasi penyimpangan nilai yang mendekati batas bahaya, mekanisme ini akan segera menghasilkan notifikasi visual maupun audio kepada operator. Keberadaan EWS memungkinkan dilakukannya tindakan mitigasi atau koreksi lebih awal, sehingga risiko kerusakan permanen pada peralatan dapat diminimalkan dan kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga tanpa harus mengalami pemadaman mendadak.

2.2.7 ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* sebagai pengembangan dari seri ESP8266. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan fitur konektivitas nirkabel berupa Wi-Fi dan Bluetooth *Low Energy* (BLE) yang terintegrasi, sehingga memiliki kinerja yang baik untuk penerapan aplikasi berbasis Internet of Things. ESP32 menggunakan arsitektur 32-bit dan dilengkapi modul Wi-Fi yang mendukung standar IEEE 802.11 b/g/n pada frekuensi 2,4 GHz. Selain itu, ESP32 juga mendukung Bluetooth versi 4.2 yang memungkinkan terjadinya komunikasi data secara efisien dengan perangkat lain dalam jarak dekat (Teknik et al., 2023).



Gambar 2.2 ESP32(<https://www.colombianizate.com.co,2025>)

Dengan berbagai fitur tambahan seperti kemampuan pemrosesan dual-core, banyaknya pin GPIO, dan dukungan untuk berbagai protokol komunikasi seperti

I2C, SPI, dan UART, ESP32 menjadi pilihan yang sangat fleksibel untuk berbagai aplikasi. Pengembang dapat memanfaatkan kemampuannya untuk menciptakan solusi inovatif dalam bidang otomasi rumah, pemantauan lingkungan, dan sistem berbasis *cloud*.

Secara keseluruhan, ESP32 adalah platform yang kuat dan efisien, ideal untuk proyek-proyek yang memerlukan konektivitas nirkabel dan pemrosesan data yang cepat, menjadikannya salah satu pilihan utama dalam pengembangan teknologi IoT modern. Secara umum, ESP32 memiliki beberapa karakteristik utama sebagai berikut:

1. Konektivitas Nirkabel : ESP32 dibekali dengan modul *Wi-Fi* 802.11 b/g/n serta *Bluetooth Low Energy* (BLE).
2. Kinerja Prosesor : Mikrokontroler ini menggunakan arsitektur *dual-core Tensilica Xtensa LX6* yang mampu berjalan hingga 240 MHz.
3. Konsumsi Daya yang Efisien : ESP32 memiliki beberapa mode hemat energi, termasuk *Modem Sleep*, *Light Sleep*, dan *Deep Sleep*.
4. Fitur Keamanan : Untuk menjaga integritas data dan keamanan sistem, ESP32 menyediakan fitur seperti *hardware encryption*, *Secure Boot*, dan *Flash Encryption*.
5. Kelengkapan Peripheral : ESP32 Menyediakan banyak jalur input-output seperti, GPIO, ADC, DAC, SPI, I2C, dan UART. Memungkinkan untuk memakai beberapa sensor sekaligus.
6. Kemudahan Pemrograman : ESP32 dapat diprogram menggunakan beberapa *platform* seperti, *Arduino IDE*, *MicroPython*, *PlatformIO*, *C/C++* untuk mengembangkan aplikasi

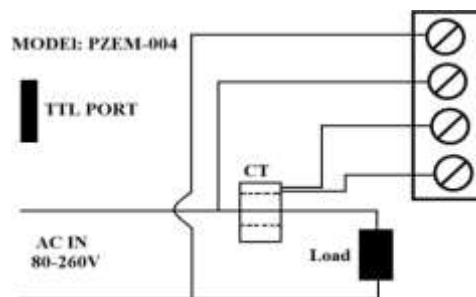
2.2.8 Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T didefinisikan sebagai modul sensor yang memiliki fungsi ganda untuk membaca parameter kelistrikan utama, yaitu nilai tegangan RMS (*Root Mean Square*), arus RMS, dan daya aktif. Dalam penerapannya pada sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), sensor ini dirancang untuk dapat diintegrasikan dengan mudah bersama mikrokontroler seperti NodeMCU ESP32 atau *platform open source* lainnya. Peran utama sensor ini adalah mengakuisisi data

mentah berupa tegangan dan arus, yang kemudian diolah oleh mikrokontroler menjadi informasi yang lebih kompleks seperti daya, energi, dan estimasi biaya listrik untuk ditampilkan pada LCD maupun aplikasi monitoring seperti *Blynk*. (Arjun Pratikto Wahyu Hendrawan, Ni Putu Agustini, 2022)



Gambar 2.3 Sensor PZEM-004T (Arjun Pratikto Wahyu Hendrawan, Ni Putu Agustini, 2022)



Gambar 2.4 Rangkaian Listrik PZEM 004T(<https://www.researchgate.net,2025>)

Secara spesifikasi fisik dan kemampuan ukur, modul PZEM-004T dibundel dengan sebuah kumparan trafo arus (*Current Transformer* atau CT) yang memiliki diameter 3 milimeter. Penggunaan trafo arus ini memungkinkan sensor untuk melakukan pengukuran arus listrik dengan kapasitas maksimal hingga 100 Ampere. Selain kemampuan pengukuran, sensor ini juga mendukung fitur interaktif yang memungkinkan pengguna untuk mereset akumulasi data energi (kWh) dan biaya kembali ke nol melalui perintah tombol yang diproses oleh mikrokontroler. Untuk komunikasi data dengan NodeMCU ESP32, sensor ini menggunakan jalur komunikasi serial, dimana dalam rancangan alat tersebut pin sensor dihubungkan ke pin D17 (TX2) dan D16 (RX2) pada ESP32.

Terkait kinerja dan akurasi, pengujian dalam artikel terkait membuktikan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat ketelitian yang sangat baik ketika dibandingkan dengan alat ukur standar. Hasil komparasi menunjukkan bahwa

sensor ini memiliki rata-rata *error* atau selisih pembacaan tegangan yang sangat kecil, yaitu sebesar 0,2%. Akurasi pembacaan arus juga terbukti sangat presisi dengan rata-rata *error* hanya sekitar 0,02%. Meskipun terdapat selisih rata-rata sebesar 3,36% pada pembacaan daya, sensor ini menunjukkan kinerja sempurna dalam pengukuran konsumsi energi (kWh) dengan selisih 0% dibandingkan alat ukur *Power Meter*. Data ini menegaskan bahwa PZEM-004T bekerja dengan cukup baik dan layak digunakan untuk sistem monitoring energi listrik.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor PZEM-004T

Parameter	Rentang Ukur	Resolusi	Akurasi	Keterangan
Tegangan (<i>Voltage</i>)	80 ~ 260 VAC	0.1 V	0.5%	Tegangan kerja sisi AC
Arus (<i>Current</i>)	0 ~ 100 A	0.001 A	0.5%	Wajib menggunakan CT
Daya Aktif (<i>Power</i>)	0 ~ 23 kW	0.1 W	0.5%	Daya nyata (<i>Real Power</i>)
Faktor Daya (<i>PF</i>)	0.00 ~ 1.00	0.01	1.0%	Cos Phi
Frekuensi	45 Hz ~ 65 Hz	0.1 Hz	0.5%	Frekuensi jala-jala
Energi (kWh)	0 ~ 9999.99 kWh	1 Wh	0.5%	Akumulatif (disimpan di EEPROM)

2.2.9 Sensor Suhu DS18B20

Sensor Suhu DS18B20 Sensor DS18B20 merupakan instrumen pengukur suhu digital berbasis protokol komunikasi *1-Wire* yang memungkinkan transmisi data suhu secara langsung ke mikrokontroler tanpa memerlukan konverter analog-ke-digital (ADC) eksternal. Sensor ini memiliki jangkauan pengukuran yang luas, mulai dari -55°C hingga +125°C, dengan tingkat akurasi $\pm 0,5^\circ\text{C}$ pada rentang suhu operasional -10°C hingga +85°C. Selain itu, DS18B20 menawarkan fleksibilitas konfigurasi resolusi pengukuran yang dapat diatur mulai dari 9-bit hingga 12-bit sesuai spesifikasi kebutuhan sistem (Fajri, 2023).



Gambar 2.5 Sensor Suhu DS18B20(<https://www.shopee.co.id.2025>)

Konfigurasi fisik sensor DS18B20 terdiri dari tiga terminal: GND, VDD (3.0V–5.5V), dan pin data DQ yang membutuhkan penambahan *resistor pull-up* 4.7 k Ω . Kelebihan utama dari arsitektur sensor ini adalah kemampuannya beroperasi dengan mode *parasite power*, di mana sensor hanya membutuhkan kabel data dan *ground* untuk berfungsi. Di samping itu, penyematan alamat spesifik 64-bit pada tiap unit memungkinkan banyak sensor untuk dihubungkan secara simultan pada satu jalur komunikasi tunggal. Karena mentransmisikan data dalam bentuk digital, sensor ini tidak mudah terpengaruh oleh *noise* dan mudah diintegrasikan dengan platform seperti ESP32 atau Arduino. Dengan kemudahan pemrograman melalui pustaka perangkat lunak yang tersedia serta adanya varian tahan air, sensor ini banyak diandalkan untuk keperluan *Internet of Things* (IoT) dan sistem pemantauan suhu pada lingkungan kerja yang berat.

Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor Suhu DS18B20

Parameter	Spesifikasi	Keterangan
Rentang Suhu	-55°C ~ +125°C	(-67°F ~ +257°F)
Akurasi	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Pada rentang -10°C hingga +85°C
Resolusi	9 hingga 12-bit	Dapat diprogram (user-selectable)
Step Suhu	0.0625°C	Pada resolusi tertinggi (12-bit)
Waktu Konversi	< 750 ms	Pada resolusi 12-bit
Drift	Sangat Rendah	Stabil untuk pengukuran jangka panjang

2.2.10 Liquid Crystal Display (LCD) 20x4 dengan Modul I2C

Dalam perancangan antarmuka visual (HMI - *Human Machine Interface*), sistem memerlukan komponen layar untuk menampilkan data parameter kelistrikan secara *real-time* di lokasi panel tanpa harus membuka aplikasi Telegram. Komponen yang dipilih adalah LCD berukuran 20 kolom dan 4 baris yang telah terintegrasi dengan modul komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*).



Gambar 2.6 LCD 20x4 I2C ([Jual LCD 2004 CHARACTER BLUE BACKLIGHT+ I2C SERIAL INTERFACE MODULE | Shopee Indonesia](#))

Tabel 2. 4 Spesifikasi Teknis LCD 20x4 dan Modul I2C

Parameter Teknis	Spesifikasi / Nilai
Resolusi Tampilan	20 Kolom x 4 Baris (Total 80 Karakter)
Tegangan Operasional (VCC)	5V DC
IC Mikrokontroler LCD	HD44780 (atau yang kompatibel)
IC Pengendali I2C (<i>Expander</i>)	PCF8574 / PCF8574T
Protokol Komunikasi	Serial I2C (SDA dan SCL)
Alamat I2C (<i>Default Address</i>)	0x27 atau 0x3F
Lampu Latar (<i>Backlight</i>)	LED (Dapat diatur via <i>jumper</i> perangkat keras)
Kontras Tampilan	Dapat disesuaikan melalui potensiometer mini (Trimpot)
Konsumsi Arus (Standby)	± 2.0 mA (Tanpa lampu latar)

2.2.11 LED Buzzer 220V AC (Indikator Alarm Panel)

Dalam sebuah sistem proteksi kelistrikan, kehadiran indikator peringatan (*human-machine interface*) di lokasi panel sangat diperlukan agar operator segera mengetahui status gangguan sebelum mengecek notifikasi digital. Untuk fungsi tersebut, sistem ini menggunakan komponen LED Buzzer 220V AC (tipe *Pilot Lamp Buzzer*). Komponen ini menggabungkan dua elemen peringatan, yaitu visual (cahaya) dan audio (suara) dalam satu modul yang ringkas.



Gambar 2.7 LED Buzzer 220V AC ([Jual Pilot Lamp Buzzer LED AC 220V DC 24V Pilot Lem Bunyi Bip Bip Buzzer LED | Shopee Indonesia](#))

LED Buzzer 220V AC merupakan komponen peringatan dini yang menggabungkan indikator visual dan audio. Secara visual, komponen ini menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) hemat daya dan berumur panjang yang dihidupkan oleh sirkuit penyearah internal saat dialiri tegangan 220V. Untuk fungsi audio, modul ini memanfaatkan *piezoelectric buzzer* yang menghasilkan gelombang suara bising di atas 80 dB dari getaran mekanis kristal, sehingga tetap terdengar jelas di lingkungan panel industri yang bising. Dalam integrasi sistem, komponen ini dihubungkan langsung ke terminal *Normally Open* (NO) pada modul *relay*. Saat mikrokontroler mendeteksi parameter kelistrikan atau suhu yang abnormal, *relay* akan aktif dan mengalirkan tegangan 220V untuk memicu alarm visual dan suara secara instan.

2.2.12 Kipas/Fan

Kipas pendingin atau *cooling fan* merupakan komponen elektromekanis yang memegang peranan vital dalam sistem manajemen termal pada panel distribusi listrik. Selama operasional berlangsung, komponen-komponen aktif di dalam panel—seperti konduktor, transformator, dan catu daya—secara alami akan mendisipasikan energi panas sebagai akibat dari adanya rugi-rugi daya (I^2R) saat

dialiri arus listrik. Apabila akumulasi panas ini terperangkap dalam ruang panel yang tertutup, suhu internal dapat meningkat secara signifikan dan berpotensi menyebabkan degradasi isolasi kabel, penurunan kinerja komponen semikonduktor, hingga kerusakan permanen akibat *overheating*. Oleh karena itu, kipas pendingin difungsikan untuk menciptakan sirkulasi udara melalui metode konveksi paksa (*forced convection*), yaitu dengan menarik udara segar dari lingkungan luar dan mendesak udara panas keluar melalui ventilasi pembuangan (*exhaust*) guna menjaga suhu ambien panel tetap berada dalam batas operasional yang aman.



Gambar 2.8 Fan DC (<https://www.shopee.co.id,2025>)

Dalam implementasi sistem peringatan dini berbasis mikrokontroler, operasional kipas pendingin tidak dikendalikan secara manual, melainkan berfungsi sebagai aktuator otomatis yang terintegrasi dengan logika sistem proteksi. Mekanisme pengendalian ini bekerja secara *closed-loop* berdasarkan data *real-time* dari sensor suhu; apabila suhu ruang panel terdeteksi melampaui ambang batas (*threshold*) yang telah ditetapkan, mikrokontroler (ESP32) akan mengirimkan sinyal pemicu ke modul *relay* untuk mengaktifkan kipas. Proses pendinginan aktif ini bertujuan sebagai tindakan preventif untuk menurunkan suhu kembali ke level normal secara cepat, sehingga kontinuitas sistem tetap terjaga tanpa memerlukan intervensi fisik dari operator saat terjadi lonjakan suhu.

2.2.13 Relay 5 Volt

Relay didefinisikan sebagai perangkat elektromekanikal yang berfungsi sebagai saklar yang diaktivasi secara elektrik. Struktur utamanya memadukan elemen elektromagnetik berupa kumparan (*coil*) dan elemen mekanik berupa

kontak saklar. Mekanisme kerjanya didasarkan pada prinsip induksi magnet; saat arus listrik berdaya rendah mengalir melalui kumparan, tercipta medan magnet yang menarik tuas (*armature*) untuk mengubah status koneksi saklar. Dalam aplikasinya, *relay* memegang peranan krusial sebagai isolator dan pengendali beban. Komponen ini memungkinkan sinyal kontrol bertegangan rendah (misalnya dari mikrokontroler 5V) untuk mengatur operasional perangkat bertegangan tinggi (seperti beban 220V) tanpa adanya kontak fisik langsung antar sirkuit, sehingga menjamin keamanan sistem kendali dari risiko lonjakan arus listrik.



Gambar 2.9 Relay 5V

(https://i2.wp.com/components101.com/sites/default/files/component_pin/Single-Channel-Relay-Module-Pinout.jpg?strip=all)

Gambar tersebut menampilkan diagram pin modul relay 1-channel (*Songle SRD-05VDC*), yang berfungsi sebagai saklar elektronik agar mikrokontroler dapat mengendalikan peralatan listrik berdaya besar. Sisi input (kanan) terdiri dari pin Vcc (5V), GND, dan Input sebagai penerima sinyal pemicu. Sementara sisi output (kiri) memiliki terminal COM sebagai pusat arus, *Normally Open* (NO) untuk konfigurasi saklar yang *default*-nya mati, dan *Normally Closed* (NC) untuk konfigurasi yang *default*-nya menyala. Relay ini mampu menangani beban hingga 10 Ampere pada tegangan 250 Volt AC.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Relay

Parameter	Spesifikasi	Keterangan
Model Relay	SRD-05VDC-SL-C	Tipe Souble/Tongling (Biru)
Beban Maksimum AC	10A @ 250V AC	Hingga 2200 Watt (Resistif)
Beban Maksimum DC	10A @ 30V DC	Untuk beban baterai/DC
Tipe Kontak	SPDT (Single Pole Double Throw)	Memiliki NO, NC, dan COM
Waktu Respon	< 10ms	Kecepatan cetek-cetek
Umur Mekanis	10.000.000 siklus	Daya tahan pemakaian

2.2.14 Power Supply 5V5A

Dalam perancangan panel kelistrikan yang mengintegrasikan perangkat *Internet of Things* (IoT), keandalan dan efisiensi catu daya menjadi faktor yang sangat krusial. Sistem ini memanfaatkan teknologi *Switching Mode Power Supply* (SMPS) untuk mengonversi tegangan bolak-balik (AC) 220V dari jala-jala listrik menjadi tegangan searah (DC) 5V yang presisi, guna menyuplai kebutuhan daya bagi mikrokontroler dan modul aktuator.



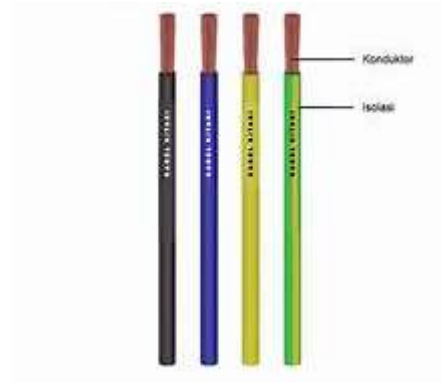
Gambar 2.10 Power suplay 5V5A ([Jual Power Supply 5V 5A body jaring DC 5V5A mini | Shopee Indonesia](#))

Tabel 2. 6 Spesifikasi Teknis Modul AC-DC Step-Down 5V

Parameter Teknis	Spesifikasi / Nilai
Tipe Sirkuit	<i>Switching Mode Power Supply (SMPS)</i> Terisolasi
Bentuk Fisik	<i>Bare Board</i> (Papan sirkuit terbuka tanpa cangkang)
Tegangan Masukan (<i>Input Voltage</i>)	85V – 265V AC
Frekuensi Masukan	50 / 60 Hz
Tegangan Keluaran (<i>Output Voltage</i>)	5V DC ($\pm 0.2V$)
Arus Keluaran Maksimal (<i>Max Output</i>)	700 mA (0.7 Ampere) <i>hingga</i> 1000 mA (1A)*
Daya Keluaran Maksimal (<i>Power</i>)	3.5 Watt – 5 Watt
Komponen Isolasi Tegangan	Transformator Frekuensi Tinggi & <i>Optocoupler</i>
Tingkat Riak Tegangan (<i>Ripple</i>)	≤ 60 mV
Fitur Proteksi Terintegrasi	Perlindungan arus pendek (<i>Short-circuit</i>) dan suhu lebih (<i>Over-temperature</i>)
Suhu Operasional	-20°C hingga +60°C

2.2.15 Kabel Nya

Kabel NYA merupakan salah satu jenis kabel instalasi listrik tegangan rendah yang paling umum digunakan pada sirkuit penerangan maupun sirkuit kontrol. Sesuai dengan nomenklatur standarnya, kabel ini dirancang dengan konduktor inti tembaga tunggal yang bersifat pejal (*solid/kaku*) dan dilindungi oleh selubung isolator berbahan dasar *Polyvinyl Chloride (PVC)* selapis. Karena sifat intinya yang kaku, penggunaan kabel NYA sangat direkomendasikan untuk instalasi tetap (*fixed installation*). Untuk menjamin aspek keamanan dan keawetan dari bahaya goresan mekanis, paparan suhu, maupun kelembapan, rute pemasangan kabel NYA di dalam panel biasanya ditempatkan di dalam pelindung tambahan seperti *cable duct (trunking)* atau pipa *conduit*.



Gambar 2.11 Kabel Nya (kitani.co.id)

Berdasarkan Gambar 2.11, dapat dilihat secara visual struktur kabel NYA yang terdiri dari bagian konduktor dan isolasi. Konstruksi inti tembaga tunggalnya (*solid*) membuat kabel ini mampu menghantarkan arus dengan stabil, namun di sisi lain membuatnya tidak fleksibel untuk ditekuk secara ekstrem. Oleh karena itu, seperti yang terlihat pada varian warnanya, kabel ini sangat ideal digunakan untuk jalur instalasi di dalam boks panel kelistrikan yang rapi dan terstruktur, di mana kabel-kabel dengan warna berbeda (untuk fasa, netral, dan *ground*) ditempatkan secara aman di dalam *cable duct*.

2.2.16 Molded Case Circuit Breaker (MCCB) 20A

Molded Case Circuit Breaker (MCCB) merupakan komponen pengamanan sirkuit listrik yang berfungsi melindungi instalasi 3 fasa dari arus lebih (*overload*) dan hubung singkat (*short circuit*). Komponen ini memiliki tiga kutub (*3 Poles*) untuk jalur fasa R, S, dan T. Bentuk fisik MCCB berkapasitas 20A yang digunakan dalam perancangan ini dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Molded Case Circuit Breaker 20A

Berdasarkan Gambar 2.12, dapat dilihat wujud fisik dari komponen MCCB 3 fasa dengan kapasitas arus nominal sebesar 20 Ampere. Berbeda dengan MCB konvensional yang menggunakan kode kurva (seperti C20), spesifikasi arus maksimal komponen ini umumnya tertera secara langsung pada pelat label di bagian depan *casing* bersama dengan spesifikasi tegangan kerja dan kapasitas *breaking capacity*-nya (kA). Pada bagian tengah panel depan, terdapat tuas (*toggle switch*) yang digunakan untuk mengontrol aliran listrik secara manual (posisi ON/OFF), serta akan berada di posisi tengah (*Trip*) jika terjadi anomali pemutusan arus secara otomatis. Penggunaan MCCB berkapasitas 20A ini disesuaikan dengan hasil perhitungan beban nominal pada panel perlindungan sistem, di mana jika arus beban dari ketiga fasa melampaui batas 20A, MCCB akan segera memutuskan rangkaian secara serentak untuk mencegah terjadinya kerusakan fatal.

Tabel 2. 7 Spesifikasi MCB 3 Phase

Parameter	Spesifikasi Standar	Keterangan
Jumlah Kutub (<i>Poles</i>)	3P (3 <i>Poles</i>)	Mengamankan jalur fasa R, S, T (L1, L2, L3) secara serentak.
Arus Nominal (<i>In</i>)	20A (Sesuai komponen pada gambar)	Kapasitas batas aman arus beban normal yang mengalir secara terus-menerus.
Tegangan Operasional (<i>Ue</i>)	380V AC / 400V AC / 415V AC	Tegangan kerja standar antar fasa (<i>Phase-to-Phase</i>).
Tegangan Isolasi (<i>Ui</i>)	600V AC atau 690V AC	Batas ketahanan tegangan isolasi maksimum dari material <i>casing</i> .
Kapasitas Pemutusan (<i>Breaking Capacity / Icu</i>)	Umumnya 10kA, 18kA, 25kA, hingga 50kA	Kemampuan maksimal memutus arus hubung singkat (<i>short circuit</i>) tanpa mengalami kerusakan.
Sistem Proteksi / <i>Trip Unit</i>	<i>Thermal-Magnetic Trip</i> (TMD)	<i>Thermal</i> (Panas) untuk <i>Overload & Magnetic</i> untuk <i>Short Circuit</i> .
Frekuensi	50 Hz / 60 Hz	Kompatibel dengan frekuensi jaringan listrik PLN.

2.2.17 Terminal Koneksi

Gambar berikut merupakan komponen Terminal *Block* (Terminal Blok) tipe *barrier*, yang berfungsi sebagai titik penyambungan dan distribusi kabel yang aman serta terorganisir di dalam panel listrik.



Gambar 2.13 Terminal koneksi (<https://www.shopee.co.id,2025>)

Secara fisik, komponen ini terdiri dari badan isolator berbahan plastik keras berwarna hitam yang dilengkapi dengan terminal konduktor berbahan logam. Terminal blok ini menggunakan mekanisme sekrup (*screw type*) untuk menjepit ujung kabel secara kuat, memastikan aliran arus listrik berjalan stabil dan mencegah kabel terlepas akibat getaran. Desainnya yang memiliki sekat-sekat pembatas (*barrier*) antar terminal bertujuan untuk mencegah terjadinya hubungan arus pendek (*short circuit*) atau percikan api antar kabel yang berdekatan. Dalam konteks perancangan panel proteksi Anda, komponen ini sangat vital digunakan sebagai penghubung antara kabel dari sumber daya eksternal dengan komponen internal panel, maupun untuk mendistribusikan tegangan ke berbagai beban, sehingga instalasi pengkabelan terlihat rapi dan memudahkan proses perawatan (*maintenance*) atau pelacakan jalur kabel di kemudian hari.

2.2.18 Led Indikator

Pada panel listrik, LED Indikator atau *Pilot Lamp* adalah komponen visual yang berfungsi sebagai antarmuka sinyal cahaya untuk memberitahukan status operasional atau kondisi terkini dari suatu sistem kelistrikan kepada operator. Berbeda dengan LED kecil pada papan mikrokontroler, *Pilot Lamp* pada panel biasanya memiliki ukuran fisik yang lebih besar (diameter standar 22mm) dan dirancang untuk terlihat jelas dari jarak jauh.



Gambar 2.14 Led indikator (<https://www.shopee.co.id,2025>)

Dalam perancangan sistem monitoring dan proteksi ini, LED indikator difungsikan sebagai media keluaran (*output*) sederhana yang terhubung langsung dengan mikrokontroler untuk memberikan notifikasi visual terkait kondisi alat kepada pengguna. Komponen ini bekerja sebagai indikator status logika sistem, di mana nyala lampu yang berbeda merepresentasikan kondisi yang sedang terjadi, seperti indikasi bahwa alat sedang terhubung ke jaringan WiFi atau indikasi bahwa *relay* proteksi sedang aktif memutus arus akibat deteksi gangguan tegangan. Penggunaan LED indikator bertujuan untuk memudahkan pengawasan kinerja alat secara langsung di lapangan (*on-site monitoring*), melengkapi fitur monitoring jarak jauh yang dilakukan melalui antarmuka *server* atau aplikasi.

2.2.19 Panel Box

Panel box, atau panel listrik, berfungsi sebagai pusat distribusi dan pengendalian arus listrik dalam sebuah bangunan. Tujuan utamanya adalah untuk mendistribusikan listrik dari sumber utama ke berbagai sirkuit di dalam bangunan dengan cara yang aman dan efisien. Fungsi utama panel ini mencakup distribusi listrik, perlindungan terhadap arus berlebih, pengendalian peralatan, pengorganisasian kabel dan sirkuit, serta meningkatkan keamanan keseluruhan sistem kelistrikan. Panel box memiliki peran penting dalam memastikan penggunaan listrik yang teratur, aman, dan mudah dikelola dalam suatu instalasi.



Gambar 2.15 Box panel (www.tradeindia.com)

Panel box tidak hanya berfungsi sebagai elemen dekoratif, tetapi juga sebagai pelindung bagi komponen-komponen di dalamnya. Penempatan panel box harus mempertimbangkan faktor keamanan, aksesibilitas, dan ketahanan terhadap lingkungan sekitar. Oleh karena itu, lokasi panel box perlu memperhatikan aspek aspek teknis dan keselamatan agar sesuai dengan standar dan regulasi yang berlaku.

2.2.20 Software Arduino IDE

Dalam perancangan sistem proteksi dan pemantauan panel listrik berbasis *Internet of Things* (IoT), instruksi logika kontrol ke mikrokontroler disusun menggunakan perangkat lunak *Arduino Integrated Development Environment* (IDE). Perangkat lunak ini berfungsi sebagai editor teks untuk menuliskan *sketch* program sekaligus sebagai *compiler* yang menerjemahkan bahasa pemrograman tersebut menjadi struktur kode biner, sehingga instruksi dapat dieksekusi secara langsung oleh perangkat keras yang digunakan (Amar Ma'ruf, dkk., 2021).

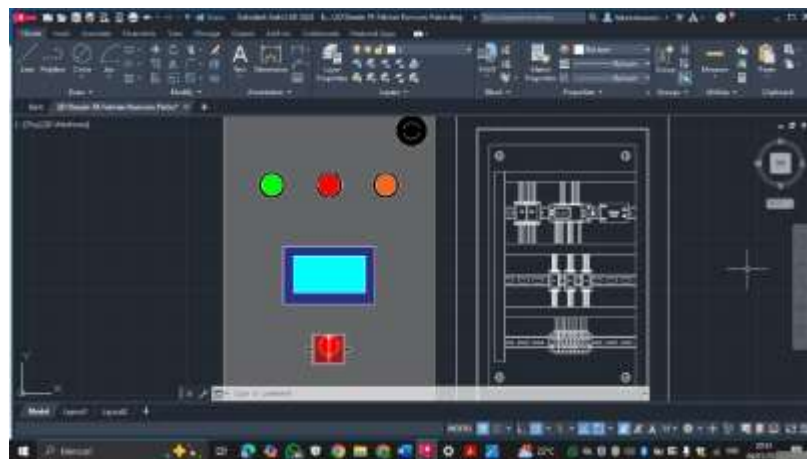


Gambar 2.16 Software Arduino IDE

Gambar 2.16 menampilkan antarmuka *Arduino Integrated Development Environment* (IDE) yang digunakan sebagai lingkungan pengembangan utama dalam proyek ini. Melalui *software* ini, *sketch* program yang telah disusun diunggah langsung ke mikrokontroler ESP32 untuk mengontrol sensor PZEM-004T, sensor suhu, serta sistem relai yang terintegrasi pada panel listrik. Keunggulan penggunaan Arduino IDE terletak pada dukungan *library* yang lengkap, yang memudahkan proses integrasi antara berbagai komponen perangkat keras dalam sistem pemantauan dan proteksi tersebut.

2.2.21 Software Autocad

AutoCAD merupakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) yang digunakan untuk menghasilkan gambar teknis 2D dengan presisi tinggi guna meminimalisir kesalahan manufaktur. Dalam perancangan panel box, perangkat lunak ini berperan vital untuk mendesain tata letak komponen (*layouting*) dan menentukan titik koordinat pengeboran, sehingga memastikan posisi perangkat seperti sensor dan mikrokontroler tertata secara ergonomis, sekaligus mempermudah perencanaan jalur kabel (*wiring*) yang rapi sebelum proses perakitan fisik dilakukan



Gambar 2.17 Software Autocad

Gambar 2.17 menampilkan antarmuka perangkat lunak AutoCAD yang memuat rancangan *layout* panel box. Desain ini mencakup penempatan posisi komponen visual seperti lampu indikator dan layar, serta skema fisik box yang menjadi acuan utama dalam menentukan titik pengeboran dan proses perakitan komponen pada tahap implementasi

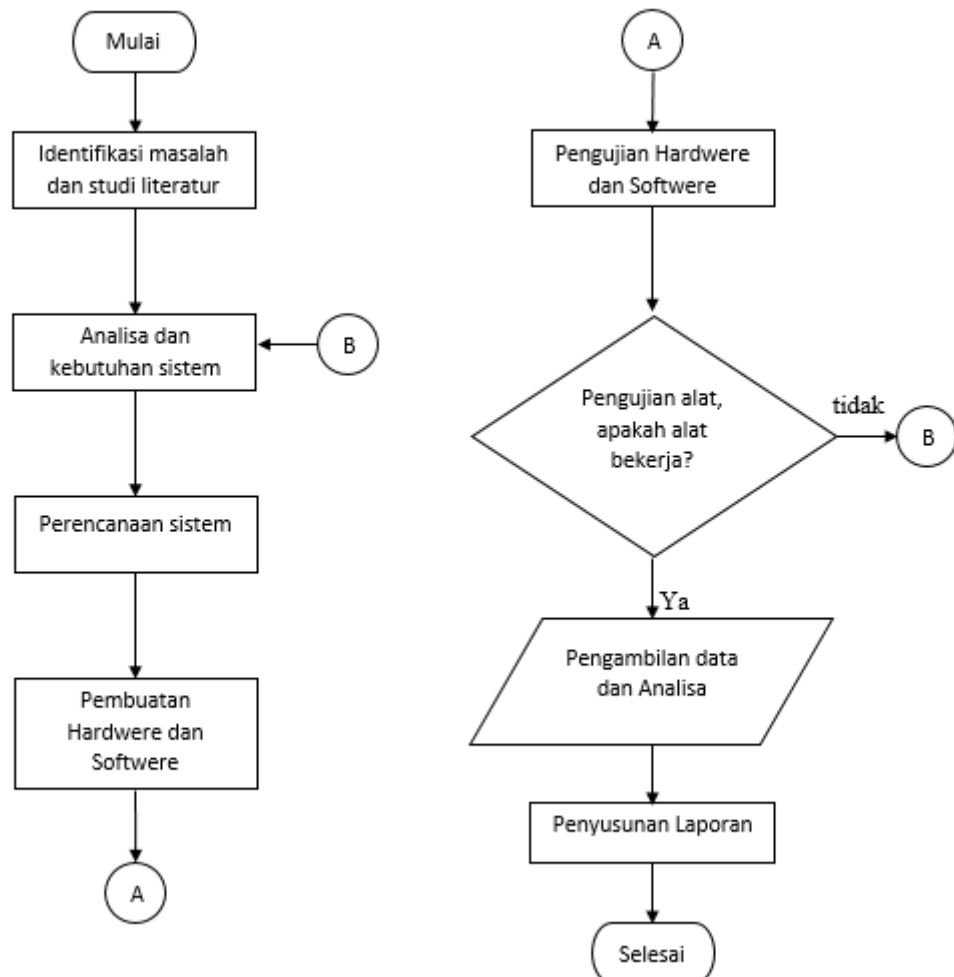
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang ditempuh dalam pelaksanaan Tugas Akhir. Tahapan tersebut mencakup proses identifikasi permasalahan, analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, perancangan dan pembuatan perangkat keras, perancangan dan pengembangan perangkat lunak, pengumpulan data, hingga analisis data. Seluruh tahapan penelitian disajikan secara runtut dan sistematis agar alur penelitian dapat dipahami dengan jelas.

3.1 Langkah Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian

Alur penelitian pada diagram tersebut menunjukkan tahapan penelitian yang dilakukan secara bertahap dan sistematis. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah dan studi literatur, yang bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang terjadi di lapangan serta mengumpulkan referensi teori dan penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar penyusunan penelitian.

Tahap selanjutnya adalah analisis kebutuhan sistem, yaitu menentukan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan agar sistem dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Hasil dari analisis ini kemudian digunakan pada tahap perencanaan sistem, yang mencakup perancangan konsep kerja, alur sistem, serta spesifikasi teknis yang akan diterapkan. Setelah perencanaan selesai, dilakukan pembuatan *hardware* dan *software* sesuai dengan rancangan yang telah ditentukan.

Sistem yang telah dibuat kemudian masuk ke tahap pengujian *software* dan *hardware* untuk memastikan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik. Apabila pada tahap pengujian ditemukan bahwa alat belum bekerja sesuai dengan yang diharapkan, maka proses kembali ke tahap analisis kebutuhan sistem untuk dilakukan evaluasi dan perbaikan. Namun, jika alat sudah bekerja dengan baik, penelitian dilanjutkan ke tahap pengambilan data dan analisis, yaitu mengumpulkan data hasil pengujian serta menganalisis kinerja sistem.

3.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan hasil observasi awal, wawancara dengan pihak terkait, serta studi terhadap kondisi sistem kelistrikan di lingkungan docking kapal, khususnya pada panel proteksi shore connection, dapat diidentifikasi bahwa kualitas daya listrik yang disalurkan dari darat ke kapal memiliki peranan yang sangat penting dalam menunjang kelancaran operasional selama kapal berada di dermaga. Panel proteksi shore connection berfungsi sebagai penghubung utama suplai listrik dari sistem kelistrikan darat menuju sistem kelistrikan kapal, sehingga keandalan dan kestabilan kualitas daya listrik menjadi faktor yang sangat krusial.

Namun, dalam pelaksanaannya masih ditemukan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan gangguan kualitas daya listrik. Gangguan tersebut antara lain berupa kenaikan arus beban secara tiba-tiba akibat perubahan beban selama

proses docking, penurunan tegangan yang disebabkan oleh panjang kabel shore connection dan kondisi jaringan, serta ketidakseimbangan beban yang dapat mempengaruhi kinerja sistem proteksi. Selain itu, kondisi lingkungan kerja di area docking yang memiliki suhu dan kelembapan tinggi juga berpotensi menyebabkan peningkatan suhu pada panel proteksi shore connection, yang apabila tidak terpantau dapat mempercepat degradasi komponen kelistrikan.

Permasalahan lain yang teridentifikasi adalah sistem pemantauan kondisi panel proteksi *shore connection* masih bersifat manual dan tidak dilakukan secara kontinu. Operator umumnya melakukan pengecekan berdasarkan jadwal tertentu atau setelah terjadi gangguan, sehingga potensi terjadinya gangguan kualitas daya listrik sering kali tidak terdeteksi sejak dini. Ketiadaan sistem monitoring *real-time* menyebabkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan dan tindakan pencegahan sebelum gangguan berkembang menjadi kondisi yang lebih serius, seperti trip pada sistem proteksi atau terhentinya suplai listrik ke kapal.

Selain itu, belum tersedianya sistem peringatan dini yang terintegrasi untuk memantau parameter kualitas daya listrik, seperti arus, tegangan, dan suhu panel, menjadi salah satu faktor yang meningkatkan risiko gangguan operasional. Gangguan kualitas daya listrik yang tidak tertangani dengan cepat dapat berdampak langsung pada terganggunya aktivitas perbaikan kapal, penurunan efisiensi waktu docking, serta meningkatnya potensi kerusakan peralatan listrik baik di sisi panel darat maupun di sisi kapal.

Berdasarkan identifikasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu rancang bangun sistem peringatan dini yang mampu memantau parameter kualitas daya listrik pada panel proteksi *shore connection* secara *real-time*, memberikan informasi kondisi sistem secara cepat, serta memberikan peringatan sebelum terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan *trip* atau kerusakan peralatan. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi awal yang aplikatif dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk diterapkan pada skala industri di lingkungan *docking* kapal.

3.3 Analisa Kebutuhan Sistem

Analisa kebutuhan sistem bertujuan untuk mendefinisikan spesifikasi fungsional dan non-fungsional yang harus dipenuhi oleh alat yang dirancang. Pada sub-bab ini, akan dijabarkan rincian komponen perangkat keras dan logika perangkat lunak yang dibutuhkan untuk membangun sistem kendali kualitas daya listrik. Pemetaan kebutuhan ini menjadi landasan utama agar alat mampu melakukan monitoring parameter tegangan, arus, dan suhu, serta memberikan respon peringatan dini sesuai dengan diagram alir yang telah direncanakan.

Tabel 3. 1 Daftar alat dan bahan yang digunakan

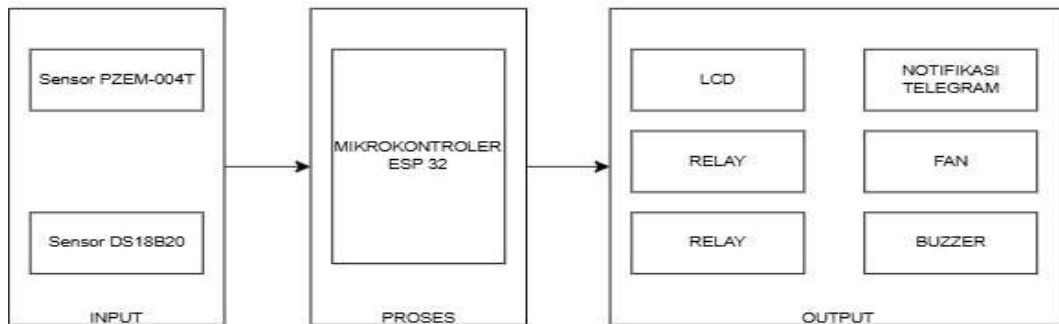
No	Jenis Komponen	Nama Komponen	Jumlah	Satuan
1.	Mikrokontroler	ESP32	1	Buah
2.	Sensor	DS18B20	1	Buah
		PZEM-004T	3	Buah
3.	Aktuator	Fan	2	Buah
		Buzzer	1	Buah
4.	Controller system	Power suplay 5V	1	Buah
		LCD	1	Buah
		Kabel Jumper	-	Buah
5.	Mekanik	Box Panel	2	Buah

3.4 Perencanaan Sistem

Perencanaan sistem dalam penelitian ini mencakup perancangan arsitektur sistem, pemilihan sensor, serta penentuan alur kerja sistem peringatan dini gangguan kualitas daya listrik pada panel proteksi *shore connection* yang akan digambarkan dalam bentuk diagram blok.

3.4.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem berikut merupakan gambaran perencanaan sistem yang akan dibuat.



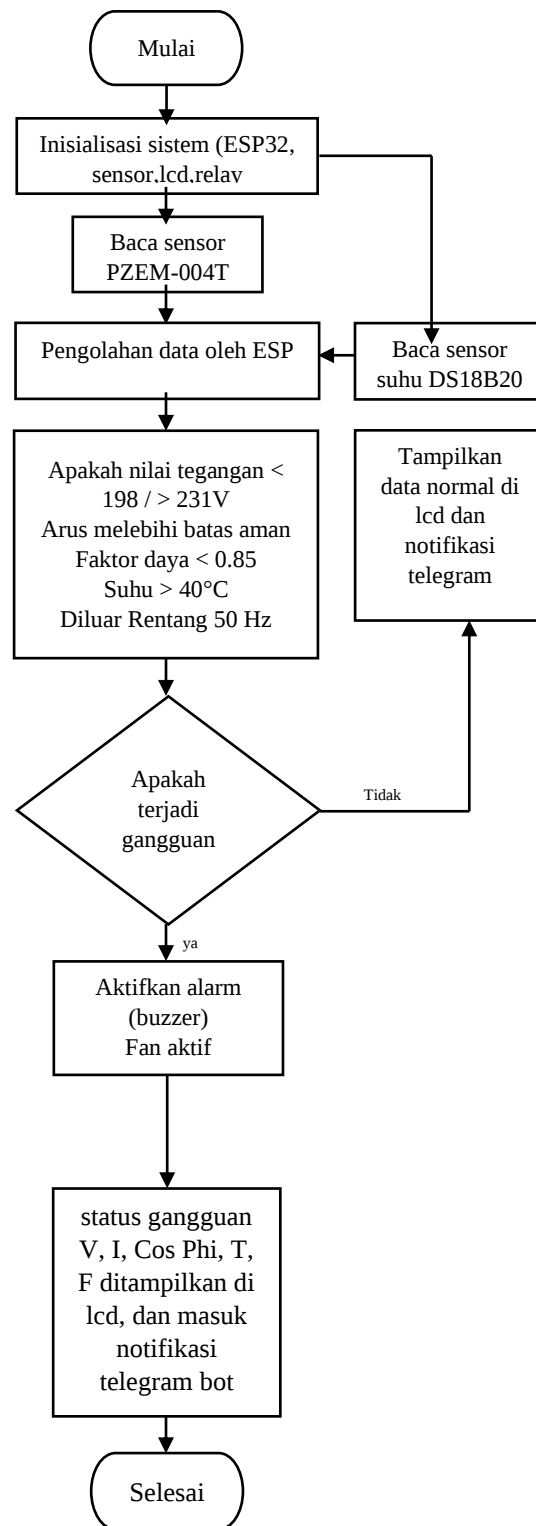
Gambar 3 2 Diagram blok sistem

Pada bagian Subsistem Masukan (*Input*), sistem mengandalkan dua sensor digital presisi. Sensor pertama, PZEM-004T, berfungsi mengukur parameter kelistrikan beban AC (Tegangan, Arus, Daya, dan Energi) melalui *Current Transformer* (CT) non-invasif. Data dari PZEM-004T dikirimkan ke mikrokontroler menggunakan protokol komunikasi Serial (*UART*) melalui pin RX/TX, yang menjamin integritas data pengukuran digital. Sensor kedua, DS18B20, bertugas mendeteksi suhu komponen kritis. Sensor ini menggunakan protokol komunikasi *One-Wire*, yang memungkinkan pembacaan suhu presisi hanya dengan satu jalur data digital ke mikrokontroler, meminimalkan penggunaan pin pada ESP32.

Pusat kendali sistem terletak pada Subsistem Pemrosesan yang menggunakan mikrokontroler ESP32. ESP32 dipilih karena memiliki prosesor *dual-core* yang mampu menangani *multitasking*: satu *core* didedikasikan untuk menjaga konektivitas Wi-Fi/Internet, sementara *core* lainnya fokus pada pembacaan sensor dan logika kontrol. Di dalam ESP32, algoritma program membandingkan data *real-time* dari sensor dengan nilai ambang batas (*setpoint*) yang telah ditentukan. Jika nilai sensor melebihi batas (misalnya arus berlebih atau suhu tinggi), ESP32 akan mengirim sinyal logis (HIGH/LOW) ke pin GPIO (*General Purpose Input Output*) yang terhubung ke blok keluaran.

Subsistem Keluaran (*Output*) bekerja dalam dua mode: mitigasi fisik dan notifikasi informasi. Untuk mitigasi, ESP32 mengaktifkan Modul *Relay* yang berfungsi sebagai saklar elektromagnetik untuk mengisolasi tegangan rendah mikrokontroler (3.3V) dari tegangan beban. Relay pertama akan menyalakan *Fan* (Kipas) untuk menurunkan suhu secara aktif, sedangkan relay kedua mengaktifkan *Buzzer* sebagai alarm peringatan dini. Secara simultan, informasi status sistem ditampilkan pada LCD untuk pemantauan lokal, dan dikirimkan melalui protokol TCP/IP ke server Telegram Bot. Fitur IoT ini memungkinkan pengguna menerima notifikasi peringatan ("Alert") secara *real-time* di *smartphone* dimanapun mereka berada

3.4.2 Diagram Kerja Sistem



Gambar 3.3 Diagram Kerja Sistem

Proses kerja sistem dimulai dengan tahapan inisialisasi, di mana mikrokontroler ESP32 mengaktifkan dan mempersiapkan seluruh komponen pendukung seperti sensor, LED, dan *relay* agar siap beroperasi. Setelah inisialisasi

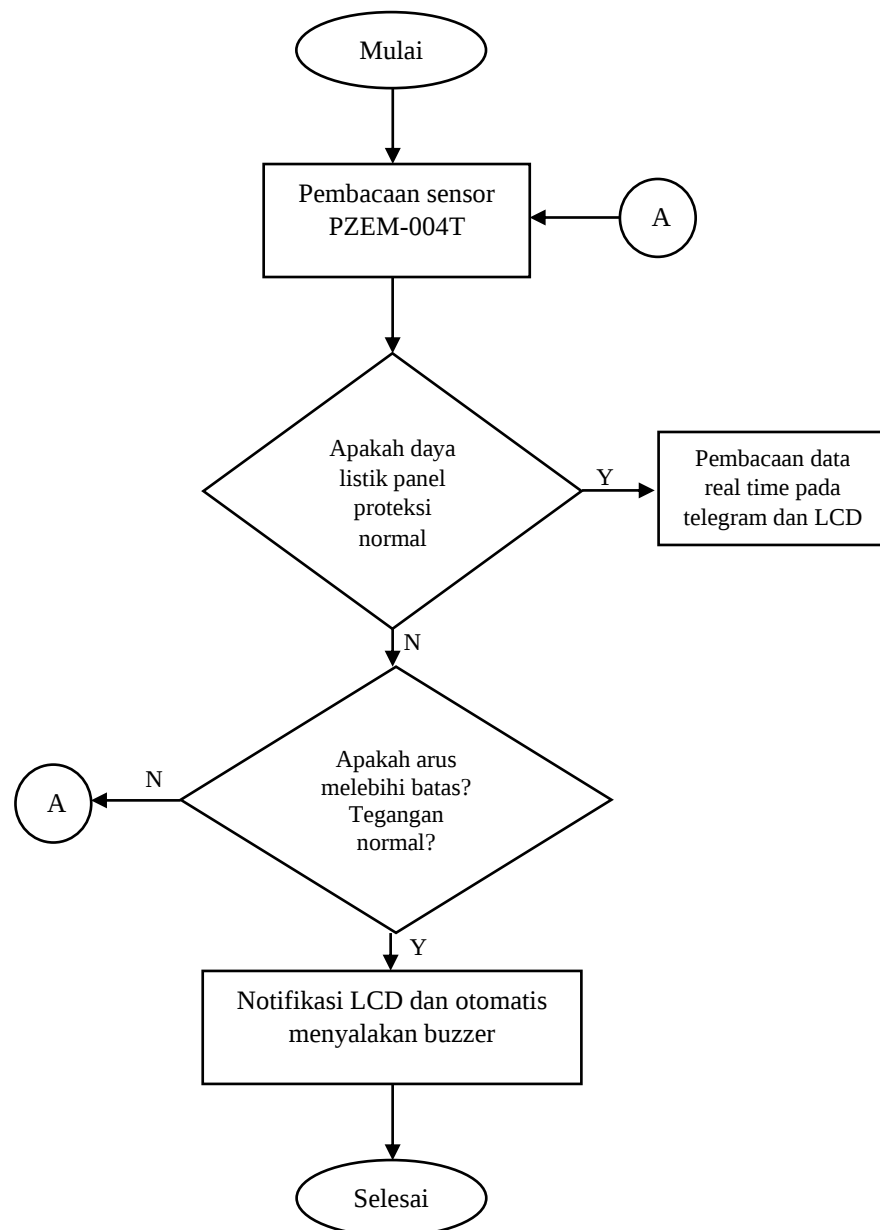
berhasil, sistem memasuki tahap akuisisi data dengan melakukan pembacaan dari dua sensor utama, yaitu sensor PZEM-004T untuk memantau parameter kelistrikan (tegangan, arus, daya) dan sensor suhu DS18B20 untuk memantau kondisi termal perangkat. Data mentah yang diperoleh dari kedua sensor tersebut kemudian dikirim ke unit pemroses ESP32 untuk diolah menjadi nilai digital yang terukur.

Setelah data diolah, sistem melakukan proses komparasi atau perbandingan logika. Mikrokontroler membandingkan nilai aktual yang dibaca dari sensor dengan "nilai ambang batas" (*threshold*) yang telah diprogram sebelumnya. Pada tahap ini, sistem menentukan status kondisi melalui blok keputusan "Apakah terjadi gangguan?". Jika data sensor menunjukkan nilai yang masih berada dalam batas aman (tidak ada gangguan), alur sistem akan mengarah ke perintah untuk menampilkan data normal pada layar LCD, dan sistem akan kembali melakukan pemantauan rutin.

Namun, jika hasil perbandingan mendeteksi bahwa nilai sensor melampaui ambang batas (terjadi gangguan), sistem akan segera memberikan peringatan dini. Mikrokontroler akan mengaktifkan alarm (*buzzer*) sebagai peringatan audio dan menyalakan kipas (*fan*) melalui *relay* sebagai tindakan mitigasi aktif untuk mendinginkan perangkat. Sebagai langkah terakhir dalam siklus penanganan gangguan, sistem akan menampilkan informasi spesifik mengenai status gangguan tersebut pada layar LCD dan notifikasi ke telegram bot agar dapat diketahui oleh teknisi.

3.4.3 Alur Kerja Sensor PZEM-004T

Gambar berikut mengilustrasikan diagram alir sistem pemantauan kualitas daya listrik menggunakan sensor PZEM-004T, yang berfungsi untuk mendeteksi anomali tegangan dan arus pada panel proteksi secara *real-time* serta memberikan peringatan dini saat terjadi gangguan.



Gambar 3.4 Alur Kerja Sensor PZEM-004T

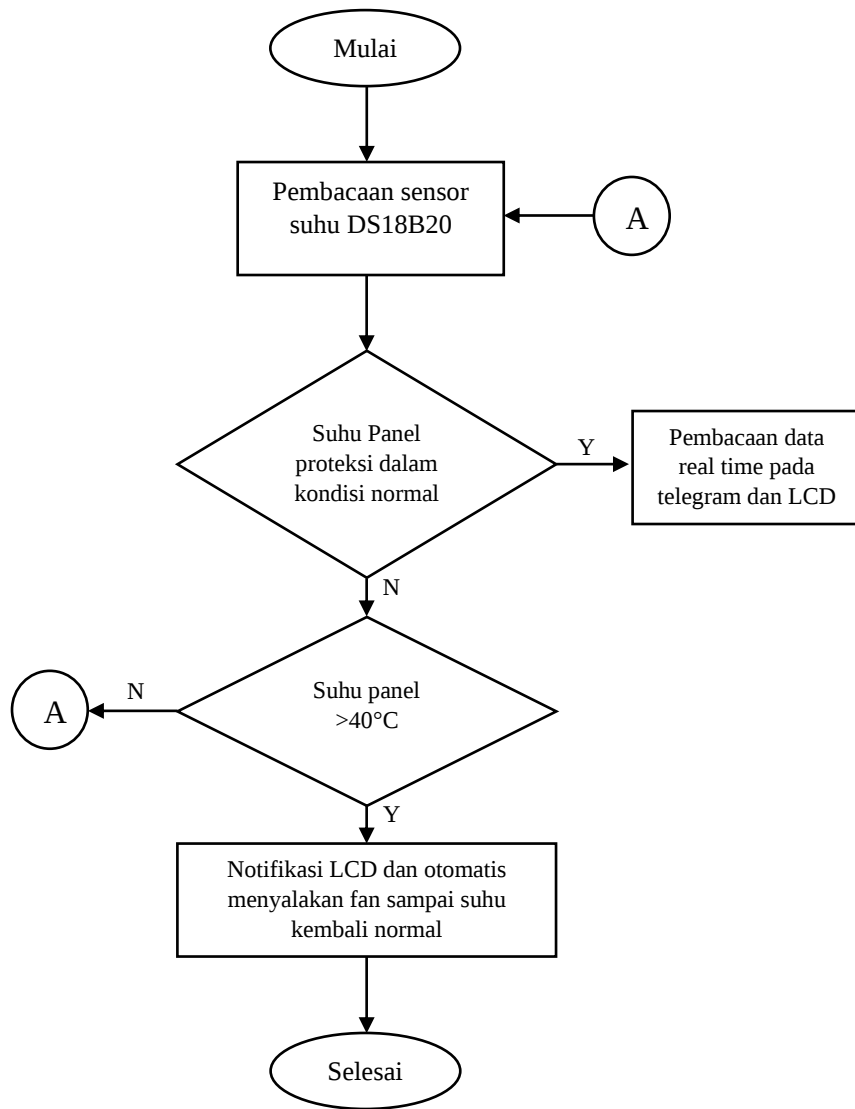
Proses pemantauan dimulai ketika sistem diaktifkan, di mana sensor PZEM-004T segera melakukan inisialisasi dan pembacaan parameter kelistrikan utama, meliputi tegangan, arus, dan daya listrik. Mekanisme pembacaan ini dirancang

dengan sistem pengulangan (*looping*) yang ditandai oleh konektor "A", memastikan bahwa data yang diambil oleh mikrokontroler selalu merupakan data terbaru dan kontinu. Setelah data berhasil diakuisisi, sistem masuk ke tahap evaluasi logika untuk menentukan apakah daya listrik pada panel proteksi berada dalam kondisi normal atau tidak. Jika hasil pembacaan menunjukkan parameter berada dalam ambang batas aman, sistem akan meneruskan data tersebut untuk ditampilkan pada layar LCD sebagai informasi visual di lapangan, sekaligus mengirimkan pembaruan data secara *real-time* ke aplikasi Telegram agar dapat dipantau dari jarak jauh.

Sebaliknya, apabila sistem mendeteksi adanya ketidaknormalan pada daya listrik, proses akan berlanjut ke tahap verifikasi gangguan spesifik. Pada tahap ini, mikrokontroler membandingkan nilai yang terbaca dengan batas aman yang telah ditentukan untuk memastikan apakah terjadi lonjakan arus (*overcurrent*) atau ketidakstabilan tegangan. Jika hasil verifikasi menunjukkan adanya pelanggaran batas aman, sistem secara otomatis mengaktifkan mekanisme peringatan dini berupa notifikasi visual pada LCD dan menyalakan *buzzer* sebagai alarm suara untuk memperingatkan operator di sekitar panel. Namun, jika kondisi tersebut tidak memenuhi kriteria gangguan kritis, sistem akan kembali ke proses awal pembacaan sensor (konektor A) untuk terus memantau perkembangan kondisi kelistrikan tanpa memicu alarm palsu.

3.4.4 Alur Kerja Sensor Suhu DS18B20

Gambar berikut menampilkan diagram alir logika pemrograman untuk sensor suhu DS18B20, yang dirancang untuk memantau kondisi termal panel proteksi secara *real-time* dan mengaktifkan sistem pendingin otomatis apabila suhu terdeteksi melampaui batas aman yang telah ditetapkan.



Gambar 3.5 Alur Kerja Sensor Suhu DS18B20

Proses pemantauan suhu pada panel proteksi dimulai dengan tahap inisialisasi sensor DS18B20 oleh mikrokontroler ESP32. Setelah sistem aktif, sensor melakukan pembacaan suhu lingkungan di dalam panel secara terus-menerus menggunakan protokol komunikasi *One-Wire*, yang memungkinkan akuisisi data presisi hanya melalui satu jalur data. Pada diagram alir, proses ini ditandai dengan

konektor "A" yang mengindikasikan bahwa pembacaan sensor dilakukan dalam siklus berulang (*looping*) untuk menjamin data yang diperoleh selalu *real-time* dan akurat.

Setelah data suhu diperoleh, mikrokontroler memproses nilai tersebut melalui logika keputusan untuk menentukan kondisi operasional panel. Apabila suhu terukur masih berada dalam kategori normal, sistem hanya menjalankan fungsi pemantauan pasif dengan menampilkan data suhu aktual pada layar LCD dan mengirimkan laporan status ke Telegram Bot teknisi. Namun, jika suhu terdeteksi meningkat, sistem melakukan verifikasi lanjutan untuk memastikan apakah nilai tersebut telah melampaui ambang batas kritis (*threshold*) yang ditetapkan, yaitu di atas 40°C. Jika suhu belum mencapai angka tersebut, sistem akan kembali melakukan pembacaan ulang tanpa melakukan tindakan proteksi.

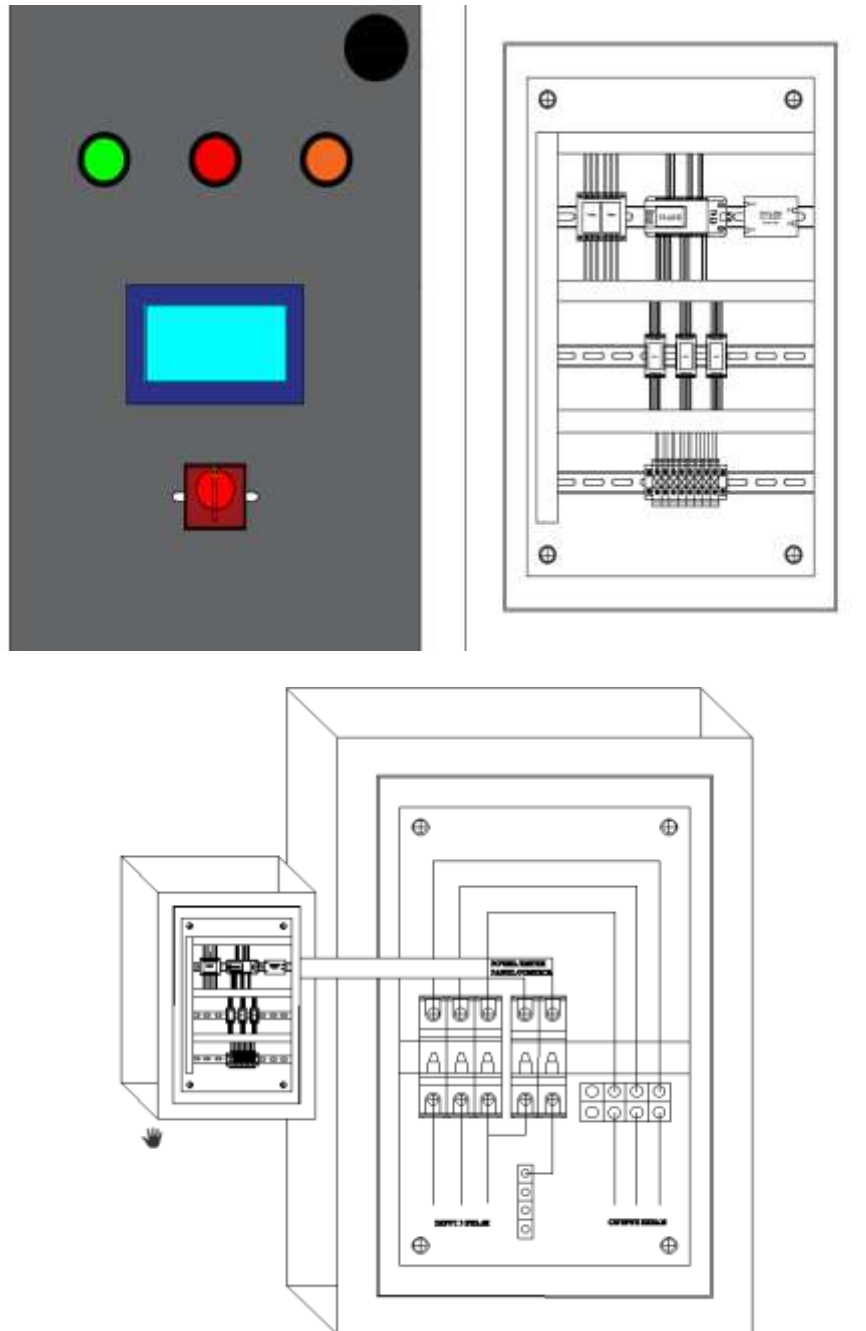
Apabila sensor mendeteksi suhu telah melebihi 40°C, mekanisme sistem peringatan dini dan proteksi otomatis akan segera diaktifkan. Mikrokontroler mengirimkan sinyal logika ke modul *relay* untuk menyalakan kipas pendingin (*Fan*) sebagai tindakan mitigasi aktif guna menurunkan suhu komponen di dalam panel. Secara bersamaan, sistem menampilkan pesan peringatan bahaya pada LCD lokal dan mengirimkan notifikasi *alert* gangguan secara instan ke *smartphone* teknisi melalui Telegram Bot. Kipas pendingin akan terus beroperasi dalam sistem kendali tertutup hingga sensor DS18B20 mendeteksi bahwa suhu telah turun kembali ke level normal, sehingga risiko kerusakan peralatan akibat panas berlebih (*overheating*) dapat dicegah secara otomatis.

3.5 Perancangan Desain Hardware dan Software Sistem

Tahapan ini berfokus pada perancangan sistem secara menyeluruh, yang mencakup aspek perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), serta sistem kelistrikan (*elektrik*) dari alat yang akan dikembangkan. Selanjutnya, dilakukan penyusunan desain yang lebih rinci baik dari sisi mekanikal maupun elektrik. Penyusunan desain mekanik ini secara khusus ditujukan untuk memfasilitasi dan mempermudah proses perencanaan tugas akhir ini.

3.5.1 Perancangan Desain Hardware

Untuk mengintegrasikan seluruh komponen sistem ke dalam satu kesatuan unit yang rapi dan aman, dilakukan perancangan tata letak mekanikal pada panel box. Gambar berikut menyajikan desain visualisasi 3D yang memperlihatkan penempatan komponen antarmuka (interface) pada pintu panel serta susunan modul elektronik pada pelat dasar (base plate) bagian dalam.



Gambar 3.6 Desain layout panel kontrol dan panel proteksi

Desain mekanik sistem monitoring dikemas dalam sebuah panel box (*enclosure*) berbahan logam yang dibagi menjadi dua area utama, yaitu bagian antarmuka eksternal (*Front Door*) dan bagian komponen internal (*Base Plate*). Pada bagian pintu panel, tata letak komponen dirancang untuk memudahkan interaksi pengguna (*user friendly*). Terdapat tiga buah lampu indikator (*Pilot Lamp*) berwarna merah, kuning, dan hijau yang berfungsi sebagai indikator visual keberadaan tegangan pada masing-masing fasa (R, S, dan T). Tepat di bawahnya, ditempatkan layar OLED 0.96 inci sebagai media visualisasi utama yang menampilkan nilai parameter kelistrikan (V, I, P) secara *real-time*. Selain itu, terdapat *Main Switch* model *rotary* sebagai saklar pemutus daya utama sistem dan *Buzzer* yang diposisikan di area depan agar suara alarm peringatan dapat terdengar jelas oleh operator saat terjadi gangguan.

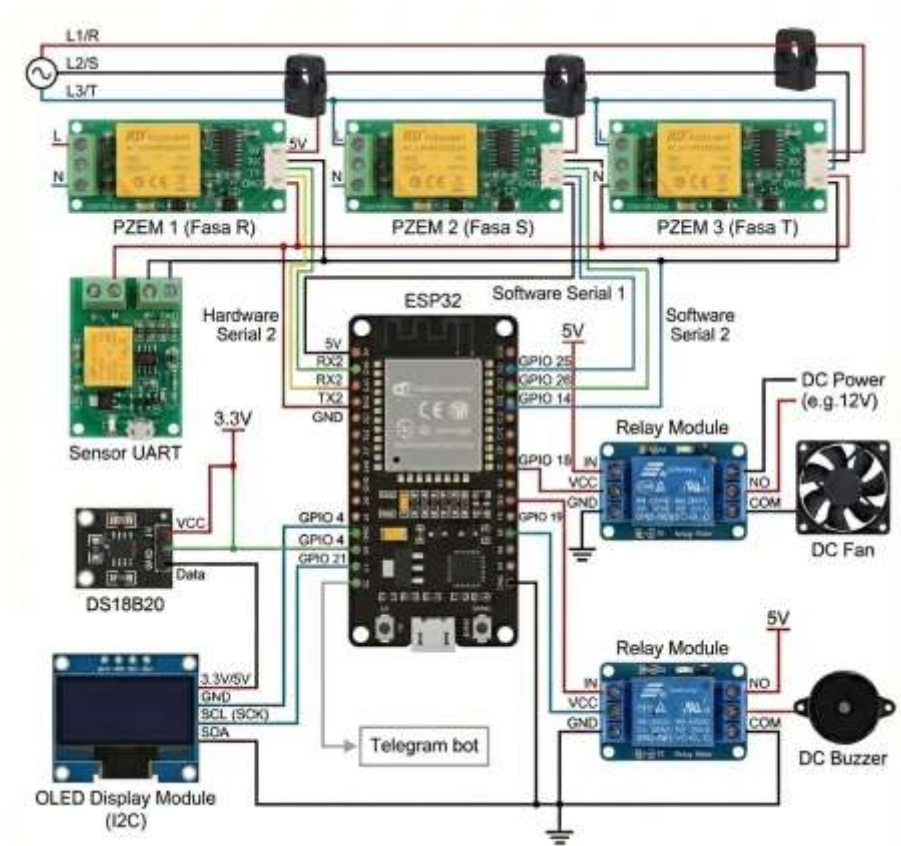
Beralih ke bagian internal panel, penyusunan komponen menerapkan prinsip zonasi (pengelompokan) berdasarkan level tegangan untuk meminimalisir risiko interferensi elektromagnetik (*noise*) dan memudahkan pemeliharaan. Komponen dipasang menggunakan rel standar industri (*DIN Rail*). Zona bawah dialokasikan untuk sirkuit tegangan tinggi AC (*High Voltage*), yang terdiri dari terminal blok input arus kuat dan tiga buah modul sensor PZEM-004T yang disejajarkan untuk pembacaan Fasa R, S, dan T. Zona tengah ditempati oleh unit Catu Daya (*Power Supply Unit/PSU*) jaring yang bertugas mengubah tegangan AC sumber menjadi tegangan DC stabil (5V/12V).

Sementara itu, zona atas dikhususkan untuk sirkuit kontrol tegangan rendah (*Low Voltage DC*). Pada area ini, mikrokontroler ESP32 diletakkan sebagai pusat pemrosesan data, berdampingan dengan modul *relay* dan sirkuit sensor suhu. Pemisahan jarak yang cukup antara zona AC (bawah) dan zona DC (atas) ini sangat krusial untuk mencegah induksi liar yang dapat mengganggu akurasi pembacaan data sensor maupun kinerja mikrokontroler. Seluruh pengkabelan di dalam panel diorganisir menggunakan jalur *wiring duct* (tidak ditampilkan penuh dalam render untuk kejelasan komponen) guna menjamin kerapian dan keamanan sistem dari risiko hubungan arus pendek.

3.5.2 Perancangan Wiring Diagram Hardware

Perancangan perangkat keras (*hardware*) ini berpusat pada mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1 yang berfungsi sebagai unit pemroses data utama. Pada sisi input, sistem mengintegrasikan tiga buah modul sensor PZEM-004T untuk mengakomodasi pengukuran listrik 3 fasa (Fasa R, S, dan T). Masing-masing modul PZEM-004T dihubungkan ke mikrokontroler melalui pasangan pin GPIO yang dikonfigurasi sebagai jalur komunikasi serial (RX/TX) secara independen. Selain sensor kelistrikan, terdapat sensor suhu DS18B20 yang dihubungkan ke salah satu pin digital ESP32 dengan metode komunikasi *One-Wire*, yang dilengkapi dengan resistor *pull-up* $4.7k\Omega$ antara kaki VCC dan Data untuk menjamin kestabilan pembacaan sinyal digital.

Pada sisi antarmuka dan *output*, sistem menggunakan layar LCD 20x4 dengan Modul I2C yang terhubung melalui jalur komunikasi I2C (pin SDA dan SCL) untuk memvisualisasikan data pengukuran secara *real-time* di panel lokal. Mekanisme peringatan dini dan proteksi bantu direalisasikan menggunakan dua buah modul *relay* aktif. *Relay* pertama difungsikan sebagai saklar elektronik untuk mengaktifkan kipas pendingin (*DC Fan*) yang mendapat suplai daya eksternal 12V DC ketika suhu terdeteksi tinggi, sedangkan *relay* kedua bertugas mengaktifkan *Buzzer* sebagai indikator alarm suara saat terjadi anomali kelistrikan. Seluruh komponen elektronik kontrol, termasuk ESP32 dan modul sensor, mendapatkan suplai daya tegangan rendah 5V DC yang stabil untuk memastikan operasional sistem berjalan optimal tanpa gangguan *noise*.



Gambar 3.7 Desain wiring diagram

Sistem peringatan dini kualitas daya listrik pada panel *Shore Connection* ini bekerja dengan memusatkan seluruh pemrosesan data pada mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali utama. Proses diawali dengan tahap akuisisi data oleh sisi input, di mana tiga buah modul sensor PZEM-004T dipasang secara terpisah pada masing-masing fasa (Fasa R, S, dan T) untuk mengukur parameter kelistrikan vital seperti tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya secara *real-time*. Secara bersamaan, sensor suhu DS18B20 yang ditempatkan di dalam panel akan memantau kondisi termal lingkungan untuk mendeteksi potensi *overheat*. Seluruh data pengukuran dari ketiga sensor PZEM-004T dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi serial (UART) secara bergantian, sedangkan data suhu dari DS18B20 dikirimkan melalui protokol komunikasi *One-Wire* ke pin GPIO yang telah ditentukan.

Setelah data diterima, ESP32 akan mengolah dan menampilkan hasil pembacaan parameter tersebut secara visual pada layar LCD 20x4 melalui antarmuka komunikasi I2C, sehingga teknisi dapat memantau kondisi kestabilan

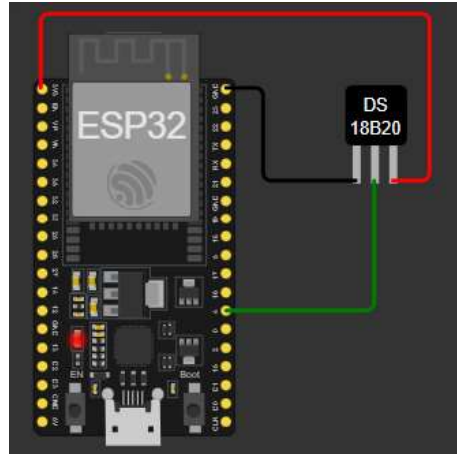
daya tiap fasa secara langsung di lapangan. Selanjutnya, ESP32 menjalankan algoritma logika sistem peringatan dini dengan membandingkan data aktual terhadap nilai ambang batas (*threshold*) keamanan yang telah diprogram. Apabila sistem mendeteksi adanya anomali suhu yang melebihi batas wajar, mikrokontroler akan memicu modul *relay* pertama untuk mengaktifkan kipas pendingin (*DC Fan*) sebagai tindakan mitigasi otomatis guna menurunkan suhu panel. Sementara itu, jika terdeteksi gangguan kualitas daya (seperti tegangan jatuh atau arus berlebih) pada salah satu fasa, ESP32 akan memicu modul *relay* kedua untuk membunyikan *Buzzer* sebagai alarm peringatan lokal. Sebagai langkah terakhir dalam hierarki sistem peringatan dini, ESP32 memanfaatkan konektivitas WiFi untuk mengirimkan notifikasi digital yang berisi detail jenis gangguan, lokasi fasa yang bermasalah, serta nilai parameter terukur secara *real-time* ke *smartphone* teknisi melalui platform Telegram Bot, memastikan pengawasan dapat tetap dilakukan secara efektif meskipun teknisi tidak berada di lokasi.

Tabel 3. 2 Penggunaan Pin GPO ESP32

Pin ESP32	Fungsi / Perangkat	Tipe Koneksi	Keterangan
GPIO 16 (RX2)	PZEM 1 (Fasa R)	Hardware Serial 2	Terhubung ke pin TX pada modul PZEM 1
GPIO 17 (TX2)	PZEM 1 (Fasa R)	Hardware Serial 2	Terhubung ke pin RX pada modul PZEM 1
GPIO 25	PZEM 2 (Fasa S)	Software Serial 1	Sebagai RX (Terhubung ke TX PZEM 2)
GPIO 26	PZEM 2 (Fasa S)	Software Serial 1	Sebagai TX (Terhubung ke RX PZEM 2)
GPIO 27	PZEM 3 (Fasa T)	Software Serial 2	Sebagai RX (Terhubung ke TX PZEM 3)
GPIO 14	PZEM 3 (Fasa T)	Software Serial 2	Sebagai TX (Terhubung ke RX PZEM 3)
GPIO 21	LCD 20x4 dengan Modul I2C	I2C SDA	Data Line untuk layar LCD
GPIO 22	LCD 20x4 dengan Modul I2C	I2C SCL	Clock Line untuk layar LCD
GPIO 4	Sensor Suhu DS18B20	OneWire Data	Memerlukan resistor pull-up (biasanya sudah ada di modul)
GPIO 18	Relay 1 (Kipas DC)	Digital Output	Mengontrol nyala/mati Kipas Pendingin
GPIO 19	Relay 2 (Buzzer)	Digital Output	Mengontrol nyala/mati Alarm Bunyi

3.5.3 Wiring Diagram Sensor DS18B20

Untuk mendukung fitur peringatan dini terhadap risiko *overheat* pada panel *Shore Connection*, diperlukan integrasi sensor suhu yang presisi. Berikut adalah rancangan koneksi elektrik sensor DS18B20 yang menggunakan mode daya eksternal (*non-parasitic*) untuk menjaga stabilitas pembacaan suhu.



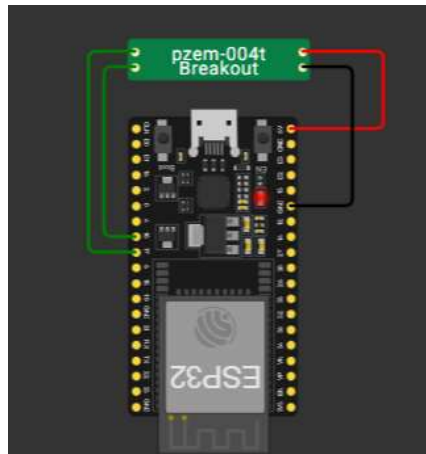
Gambar 3.8 Wiring Diagram Sensor DS18B20

Skema pengkabelan sensor suhu DS18B20 pada sistem ini menggunakan konfigurasi komunikasi *non-parasitic power*, di mana sensor mendapatkan suplai daya yang stabil dari mikrokontroler. Berdasarkan gambar, sensor DS18B20 (paket TO-92) memiliki tiga kaki terminal: kaki pertama (GND) dihubungkan ke jalur *Ground* pada ESP32 (kabel hitam), kaki ketiga (VCC) dihubungkan ke sumber tegangan 3.3V pada ESP32 (kabel merah), dan kaki tengah (Data/DQ) dihubungkan ke pin GPIO 4 pada ESP32 (kabel hijau). Pemilihan GPIO 4 umumnya digunakan sebagai standar pin data untuk komunikasi *One-Wire*, namun dapat disesuaikan pada pemrograman jika diperlukan.

Penting untuk dicatat bahwa meskipun gambar simulasi tersebut memperlihatkan koneksi langsung, pada implementasi perangkat keras (*hardware*) yang sebenarnya, jalur data (kabel hijau) wajib ditambahkan resistor *pull-up* sebesar $4.7k\Omega$ yang dipasang secara paralel antara kaki Data dan kaki VCC (3.3V). Resistor ini berfungsi untuk menjaga jalur komunikasi tetap pada logika *High* saat kondisi *idle* (tidak ada aktivitas pengiriman data). Hal ini sangat krusial karena protokol komunikasi *One-Wire* bersifat *open-drain*, yang berarti *bus* data tidak dapat secara aktif menggerakkan sinyal ke tegangan tinggi tanpa bantuan eksternal. Tanpa adanya resistor *pull-up* ini, jalur data berpotensi mengalami kondisi mengambang (*floating*), yang akan mengakibatkan pembacaan suhu oleh ESP32 menjadi tidak valid atau error. Dengan konfigurasi ini, stabilitas pemantauan suhu pada panel proteksi *Shore Connection* dapat terjamin akurasinya.

3.5.4 Wiring Diagram Sensor PZEM-004T

Gambar berikut memperlihatkan skema koneksi antarmuka antara modul sensor PZEM-004T dengan mikrokontroler ESP32 menggunakan protokol komunikasi serial UART.



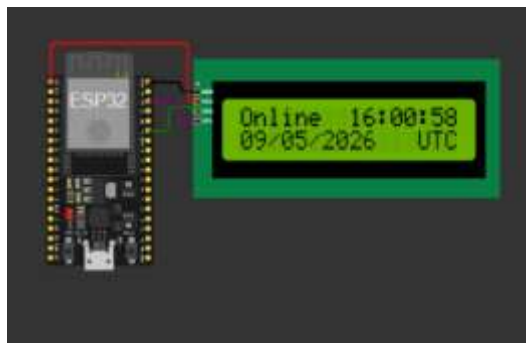
Gambar 3.9 Wiring Diagram Sensor PZEM-004T

Konfigurasi pengkabelan sensor PZEM-004T pada sistem ini dirancang menggunakan antarmuka komunikasi serial asinkron (UART). Berdasarkan skema di atas, modul sensor mendapatkan suplai daya operasional sebesar 5V DC dengan menghubungkan pin VCC sensor ke pin VIN (5V) pada ESP32 (kabel merah) dan pin GND ke *Ground* ESP32 (kabel hitam). Hal ini penting karena sirkuit internal pengukuran pada PZEM-004T membutuhkan tegangan 5V agar dapat bekerja akurat, meskipun logika komunikasinya kompatibel dengan sistem 3.3V ESP32.

Untuk pertukaran data, koneksi dilakukan dengan metode silang (*cross-connection*) antara jalur Transmit (TX) dan Receive (RX). Pin TX pada modul sensor dihubungkan ke pin GPIO 16 (RX2) pada ESP32, sedangkan pin RX pada sensor dihubungkan ke pin GPIO 17 (TX2) pada ESP32. Penggunaan GPIO 16 dan 17 ini memanfaatkan fitur *Hardware Serial 2* yang terdapat pada ESP32, yang menjamin pengiriman data pengukuran (tegangan, arus, daya) yang stabil dan cepat. Dalam implementasi sistem 3 fasa penuh, skema koneksi ini akan diduplikasi untuk dua sensor PZEM lainnya, namun dialihkan ke pasangan pin GPIO lain (misalnya GPIO 26/27 dan GPIO 18/19) yang dikonfigurasi menggunakan pustaka *SoftwareSerial*, mengingat keterbatasan jumlah *Hardware Serial* yang tersedia.

3.5.5 Wiring LCD 20x4 I2C

Diagram ini menunjukkan koneksi OLED 1.3 inci (SH1106/SSD1306) dengan ESP32 via antarmuka I2C yang efisien karena hanya membutuhkan dua jalur data. Pin GND OLED disambungkan ke GND ESP32. Sementara itu, pin VCC dihubungkan ke 3.3V ESP32; opsi ini sangat disarankan agar sesuai dengan logika tegangan ESP32 sehingga lebih aman dan stabil dibandingkan menggunakan 5V, meskipun OLED memiliki regulator internal.



Gambar 3.10 wiring diagram LCD 20x4 I2C

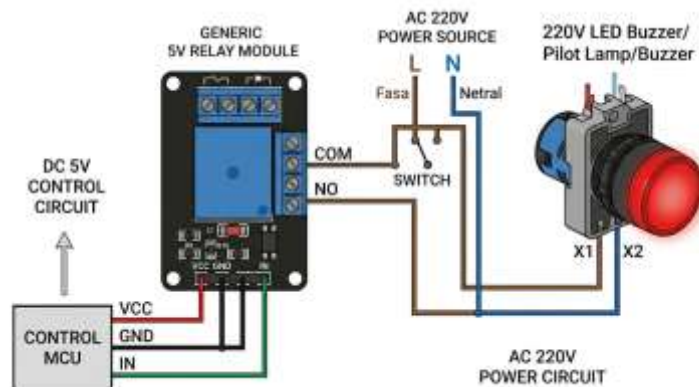
Untuk jalur komunikasi data, pin SDA (Serial Data) pada OLED dihubungkan ke pin GPIO 21 pada ESP32, sedangkan pin SCL (Serial Clock) dihubungkan ke pin GPIO 22. Jalur ini memungkinkan ESP32 mengirimkan data piksel gambar atau teks ke layar dengan kecepatan tinggi. Pastikan kabel terpasang kencang dan tidak tertukar antara SDA dan SCL, karena ini adalah penyebab paling umum layar tidak menampilkan gambar (blank).

Tabel 3. 3 Wiring LCD 20x4 I2C

Pin	Fungsi	Koneksi ESP32	Keterangan
GND	Ground / Massa	GND	Jalur negatif (-)
VCC / VDD	Supply Daya	5V	Disarankan 5V (Logic Level ESP32)
SCL / SCK	Serial Clock	GPIO 22 (D22)	Pin Clock I2C Default
SDA	Serial Data	GPIO 21 (D21)	Pin Data I2C Default

3.5.6 Wiring Diagram Buzzer

Diagram di bawah ini mengilustrasikan skema pengkabelan untuk modul *Buzzer*, yang berfungsi sebagai aktuator peringatan audio (*audible alarm*) dalam sistem. *Buzzer* ini dihubungkan melalui *relay* lalu kemikrokontroler ESP32 dan dikonfigurasi untuk aktif secara otomatis memberikan sinyal suara saat sensor mendeteksi adanya anomali parameter kelistrikan atau suhu.



Gambar 3.11 Wiring diagram *buzzer*

Gambar tersebut mengilustrasikan pengawatan antara mikrokontroler pada sisi kontrol (5V DC) dan LED Buzzer pada sisi beban (220V AC) yang dijembatani oleh modul *relay*. Pada sisi kontrol, pin VCC, GND, dan IN *relay* terhubung ke mikrokontroler untuk suplai daya dan penerimaan sinyal pemicu. Pada sisi beban, kabel fasa (L) 220V masuk ke terminal COM *relay* dan diteruskan dari terminal NO menuju *buzzer*, sedangkan kabel netral (N) langsung dihubungkan ke *buzzer* tanpa melewati sakelar. Secara prinsip kerja, sakelar *relay* akan terbuka (NO) pada kondisi normal sehingga *buzzer* mati. Namun, ketika mikrokontroler mendeteksi gangguan, sinyal dikirim untuk menutup sakelar *relay*, sehingga arus fasa mengalir dan menghidupkan alarm secara instan.

Tabel 3. 4 Wiring Diagram Buzzer

Komponen Asal	Terminal Asal	Komponen Tujuan	Terminal Tujuan	Keterangan / Fungsi
Mikrokontroler	VCC / 5V	Modul Relay	VCC	Suplai daya positif untuk sirkuit logika DC.
Mikrokontroler	GND	Modul Relay	GND	Jalur referensi tegangan nol (<i>common ground</i>).
Mikrokontroler	Pin GPIO (Digital)	Modul Relay	IN	Jalur pengiriman sinyal pemicu (<i>trigger</i>).
Sumber AC 220V	Fasa (L)	Modul Relay	COM (<i>Common</i>)	Jalur masuk fasa tegangan tinggi ke sakelar.
Modul Relay	NO (<i>Normally Open</i>)	LED Buzzer	Terminal 1 (X1)	Jalur keluar fasa menuju aktuator alarm.
Sumber AC 220V	Netral (N)	LED Buzzer	Terminal 2 (X2)	Jalur netral yang dihubungkan langsung ke beban.

3.6 Perancangan Software

Pengembangan perangkat lunak untuk sistem ini dilakukan menggunakan lingkungan kerja Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Struktur dasar program dibangun di atas dua fungsi utama, yaitu *void setup* yang bertugas melakukan inisialisasi perangkat keras satu kali saat awal operasional, dan *void loop* yang memuat logika utama program untuk dieksekusi secara berulang dan terus-menerus. Perangkat lunak ini sangat bergantung pada integrasi berbagai pustaka (*library*) eksternal untuk mengelola komunikasi perangkat keras yang kompleks, seperti menangani pembacaan data secara bergantian dari tiga sensor serial PZEM-004T, menampilkan informasi pada layar LCD 20x4 dengan Modul I2C, serta mengelola konektivitas Wi-Fi untuk pengiriman notifikasi peringatan dini melalui API Telegram Bot. Alur pengembangan dimulai dari penulisan algoritma kendali—termasuk logika pengambilan keputusan otomatis berdasarkan ambang batas (*threshold*) sensor—yang kemudian dikompilasi menjadi *firmware* dan diunggah ke dalam memori mikrokontroler ESP32 untuk dijalankan.

3.6.1 Sofrwere Arduino

Arsitektur perangkat lunak pada proyek ini sangat bergantung pada integrasi berbagai *library* eksternal untuk menangani kompleksitas perangkat keras, termasuk manajemen komunikasi *multiplexing* untuk tiga sensor PZEM-004T akibat keterbatasan *port* serial ESP32, serta dukungan untuk layar LCD 20x4 (I2C), sensor suhu DS18B20 (One-Wire), dan fitur IoT melalui Wi-Fi dan API Telegram yang aman. Alur pengembangan di Arduino IDE dimulai dengan penulisan algoritma logika kendali, yang mencakup rutinitas pembacaan sensor, pemrosesan data, dan pengambilan keputusan otomatis berbasis ambang batas (*threshold*), seperti mengaktifkan *relay* kipas saat suhu tinggi. Proses dilanjutkan dengan kompilasi kode untuk memverifikasi sintaks, pengunggahan *firmware* ke memori ESP32, dan diakhiri dengan pengujian ekstensif menggunakan *Serial Monitor* untuk memastikan validitas data dan fungsi logika sebelum alat dioperasikan secara mandiri.

3.7 Skema Pengujian Sistem

Untuk memastikan bahwa *Early Warning System* pada panel *Shore Connection* yang dikembangkan mampu beroperasi secara akurat dan memiliki respons yang cepat, diperlukan suatu skema pengujian yang sistematis sebelum sistem diterapkan di lapangan. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi dua aspek utama, yaitu tingkat akurasi pembacaan sensor terhadap alat ukur acuan serta kecepatan respons sistem dalam mengirimkan notifikasi ketika terjadi gangguan.

Diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 menggambarkan secara umum tahapan skenario pengujian yang dilakukan, mulai dari pemberian sumber tegangan, simulasi kondisi gangguan, hingga proses pemantauan keluaran data sistem.



Gambar 3. 10 Skema Pengujian Sistem

Berdasarkan Gambar 3.10 tersebut, alur dan komponen dalam skema pengujian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Simulasi Gangguan Listrik

Sumber listrik AC tidak dihubungkan secara langsung ke sistem, melainkan dialirkan melalui perangkat simulasi gangguan berupa regulator tegangan atau slide regulator. Perangkat ini digunakan untuk mengatur nilai tegangan input secara manual sehingga peneliti dapat menciptakan kondisi tidak normal, seperti penurunan tegangan (*sag* atau *undervoltage*) maupun kenaikan tegangan (*swell* atau *overvoltage*). Simulasi ini bertujuan untuk menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi gangguan kualitas daya.

2. Pengukuran Paralel (Validasi)

Arus listrik yang telah dimodifikasi oleh simulator gangguan kemudian dialirkan secara paralel ke dua jalur pengukuran. Jalur pertama menuju sistem yang diuji, yaitu panel *Early Warning System* berbasis ESP32 dan sensor PZEM-004T. Jalur kedua menuju alat ukur standar yang telah terkalibrasi, seperti multimeter digital atau tang ampere, yang berfungsi sebagai pembanding nilai aktual. Selanjutnya, keluaran dari kedua jalur tersebut disalurkan ke beban uji yang bersifat variatif, misalnya lampu atau motor, untuk mengamati respons sensor terhadap perubahan beban.

3. Mekanisme Pemantauan Data (Monitoring Output)

Sistem yang diuji dirancang untuk pemantauan jarak jauh secara nirkabel, di mana ESP32 memanfaatkan koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan seluruh data keluaran tanpa memerlukan koneksi kabel fisik di lokasi. Data yang diterima pengguna melalui smartphone terdiri dari informasi status terkini berupa

pembacaan tegangan, arus, daya, dan suhu yang dikirim secara berkala melalui platform IoT seperti Telegram Bot, serta notifikasi peringatan dini yang diprioritaskan dan dikirim secara real-time ketika terdeteksi kondisi berbahaya, seperti penurunan tegangan di bawah 198 V atau suhu yang melebihi batas aman.

3.8 Skema Gangguan

Untuk menguji efektivitas sistem peringatan dini, penelitian ini akan mensimulasikan tiga jenis gangguan utama yang umum terjadi pada sistem *Shore Connection*, yaitu gangguan tegangan, beban berlebih, dan suhu berlebih. Berikut adalah prosedur teknis untuk masing-masing skenario:

3.8.1 Skenario Uji Gangguan Tegangan (Voltage Sag & Swell)

Gangguan ini menyimulasikan kondisi di mana tegangan suplai dari darat tidak stabil (turun atau naik melebihi toleransi) akibat panjangnya kabel distribusi ke kapal.

Alat yang digunakan: Regulator Tegangan Geser (*Slide Regulator / Variac*) yang terpasang antara sumber PLN dan panel prototipe.

Prosedur:

1. Sistem dinyalakan pada kondisi normal (tegangan diatur di 220V).
2. Simulasi *Under Voltage* (Tegangan Drop): Putar *knob* regulator secara perlahan untuk menurunkan tegangan input hingga di bawah ambang batas bawah (contoh: < 198V atau -10%).
3. Simulasi *Over Voltage* (Tegangan Lebih): Putar *knob* regulator untuk menaikkan tegangan input hingga di atas ambang batas atas (contoh: > 242V atau +10%).

Target Pengujian:

- Memastikan sensor PZEM membaca perubahan tegangan tersebut dengan akurat (dibandingkan dengan Multimeter standar).
- Memastikan ESP32 segera mengirim notifikasi "Peringatan Tegangan Kritis" via Telegram segera setelah nilai melewati ambang batas.

3.8.2 Skenario Uji Beban Berlebih (*Overload*)

Gangguan ini menyimulasikan kondisi di mana aktivitas di kapal menarik arus listrik melebihi kapasitas rating panel atau kabel *Shore Connection*.

- Alat yang digunakan: Beban Uji Variabel (Bank Lampu Pijar atau Motor Listrik 3phase).
- Prosedur:
 1. Sistem dinyalakan dengan beban minimal.
 2. Menambah jumlah beban secara bertahap (menyalakan lebih banyak lampu atau mengerem putaran motor) sehingga arus yang ditarik meningkat.
 3. Terus menambah beban hingga arus yang terbaca melewati batas nominal yang ditetapkan di program (setpoint 2.5 Ampere).
- Target Pengujian:
 - Memastikan sensor PZEM membaca kenaikan arus secara linier (dibandingkan dengan Tang Ampere standar).
 - Memastikan sistem mengirim notifikasi "Peringatan Arus Lebih / *Overload*" via Telegram saat batas arus terlampaui.

3.8.3 Skenario Uji Suhu Berlebih (*Overheat*) dan Respon Pendingin

Gangguan ini menyimulasikan kondisi panel yang panas akibat koneksi yang kendur (*loose connection*) atau suhu lingkungan dermaga yang ekstrem.

- Alat yang digunakan: Sumber panas eksternal (seperti *Heat Gun*, Hairdryer, atau mendekatkan ujung solder yang panas) yang diarahkan ke sensor suhu DS18B20.
- Prosedur:
 1. Sistem berjalan pada suhu ruang normal ($\pm 30^{\circ}\text{C}$).
 2. Mengarahkan sumber panas ke sensor DS18B20 secara perlahan untuk menaikkan suhu yang terbaca.
 3. Memanaskan hingga melewati batas ambang suhu ($> 45^{\circ}\text{C}$).
- Target Pengujian:
 1. Memastikan sistem mengirim notifikasi "Peringatan Suhu Panel Tinggi" via Telegram.

2. Penting: Memastikan *Relay* kipas pendingin (*fan*) aktif secara otomatis untuk menurunkan suhu.

3.8.4 Pengujian Karakteristik Faktor Daya (*Power Factor*)

Pengujian ini bertujuan memverifikasi kemampuan sistem dalam membedakan jenis beban dan mendeteksi efisiensi daya yang buruk (*Low Cos Phi*).

- Peralatan: Beban Resistif (Lampu Pijar) dan Beban Induktif (Motor Listrik Tanpa Beban).
- Prosedur Pengujian:
 1. Skenario A (Normal): Hubungkan beban setrika/water heater pada panel. Amati pembacaan faktor daya. Target pembacaan mendekati 1.00 (Resistif murni).
 2. Skenario B (Gangguan): Lepaskan beban lampu, ganti dengan Motor Listrik yang berputar tanpa beban mekanik. Kondisi ini akan menghasilkan faktor daya yang rendah (*Lagging*).
- Target Keberhasilan:
 1. Sensor PZEM-004T mendeteksi penurunan nilai *Power Factor* (misal: terbaca 0.40 - 0.60).
 2. Jika nilai < 0.85 , sistem mengirim notifikasi "Peringatan: Low PF Lagging".

3.9 Perencanaan Pengujian Setiap Komponen

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak bekerja sesuai spesifikasi sebelum digabungkan menjadi satu sistem terpadu. Pengujian ini dilaksanakan melalui beberapa skenario berikut

3.9.1 Pengujian Mikrokontroler ESP32

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan mikrokontroler ESP32 mampu beroperasi sebagai pusat pengendali dan pengolah data.

- ESP32 dihubungkan ke PC menggunakan kabel Micro-USB, kemudian diunggah program sederhana serta dilakukan pemantauan status koneksi Wi-Fi melalui Serial Monitor pada Arduino IDE.

Tujuan pengujian mikrokontroler untuk memastikan ESP32 dapat menerima program serta dapat menjalankan logika dasar dan terhubung ke jaringan wifi

3.9.2 Pengujian sensor pzem-004T

Pengujian ini sangat penting untuk memastikan keakuratan pembacaan parameter kualitas daya listrik.

- Merangkai sensor pzem dengan peralatan elektronik
- Membandingkan hasil pembacaan sensor yang tampil di serial monitor dengan alat ukur standar (multimeter/tang amper digital) yang sudah terkalibrasi
- Menghitung presentase error pembacaan, presentase yang diharapkan bisa dibawah 1-2%

Tujuan untuk memastikan sensor pzem dapat membaca nilai tegangan (V), Arus (A), dan Daya (W) pada beban AC 3 Fasa dengan akurat

3.9.3 Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan sensor responsif terhadap perubahan suhu di dalam panel box.

- Membaca suhu ruangan (suhu normal) dan membandingkan dengan termometer ruangan
- Memberikan perlakuan panas seperti pendekatan ke solder untuk melihat respon kenaikan suhu
- Memastikan pembacaan stabil tidak terjadi error nilai (seperti -127°C yang menandakan kesalahan wiring)

Tujuan untuk memastikan sensor dapat mendeteksi suhu secara real time dan mengirimkan datanya ke ESP32

3.9.4 Pengujian LCD 20x4 dengan Modul I2C

Data simulasi dikirim dari ESP32 melalui komunikasi I2C (SDA/SCL), kemudian diperiksa kesesuaian tampilan layar dengan program yang dibuat serta dipastikan tidak terdapat pixel mati atau layar kosong.

Tujuan memastikan layar dapat menampilkan karakter teks dan angka parameter kelistrikan dengan jelas.

3.9.5 Pengujian Aktuator (*Relay, Fan, dan Buzzer*)

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sistem proteksi bantu dan peringatan lokal bekerja saat dipicu.

- Memberikan sinyal manual dari ESP32, dan memastikan relay 1 berhasil menyalakan fan dc 5V, serta memastikan relay 2 berhasil mengaktifkan buzzer

Tujuan untuk Memastikan Relay aktif saat diberi logika *High/Low*, *Fan* berputar kencang, dan *Buzzer* berbunyi nyaring.

3.9.6 Pengujian notifikasi telegram bot

Untuk Memastikan sistem IoT mampu mengirimkan pesan peringatan ke *smartphone* teknisi tanpa *delay* yang signifikan.

- Dengan mengkoneksikan ESP32 ke internet lalu mensimulasikan kondisi bahaya (seperti memanipulasi nilai variabel suhu lebih dari 40°C dalam koding).
- Memeriksa apakah pesan notifikasi "Peringatan Gangguan" masuk ke aplikasi Telegram penerima beserta detail parameter yang terukur.

3.10 Teknik Analisa Data

Analisis data dilakukan untuk menilai efektivitas sistem peringatan dini dalam memonitor kualitas daya listrik pada panel *Shore Connection*. Proses analisis ini dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama, yaitu:

3.10.1 Analisis Akurasi Pembacaan Sensor

Analisis akurasi pembacaan sensor dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya yang diperoleh dari sensor PZEM-004T serta data suhu dari sensor DS18B20 terhadap alat ukur acuan, yaitu clamp meter Fluke dan termometer digital. Tingkat ketelitian pengukuran selanjutnya dihitung menggunakan persamaan relative error.

$$\%Error = \left| \frac{Nilai Standar - Nilai Sensor}{Nilai Standar} \right| \times 100\% \quad (6)$$

3.10.2 Analisis Kualitas Daya Shore Connection

Data hasil perekaman selanjutnya dianalisis dengan mengacu pada ketentuan PUIL 2011 serta mempertimbangkan karakteristik khusus yang dimiliki sistem Shore Connection.

- **Stabilitas Tegangan:** Menganalisis fluktuasi tegangan akibat panjang kabel (*voltage drop*) saat pembebanan puncak. Sistem akan dinilai berhasil jika mampu mendeteksi tegangan di luar rentang 198V – 231V (Toleransi +5% / -10%).

3.10.3 Analisis Respon Waktu Sistem (Latency)

Pengujian dilakukan dengan menghitung selisih waktu Δt antara saat gangguan fisik terjadi pada panel dan waktu diterimanya notifikasi melalui Telegram Bot. Analisis ini bertujuan untuk menilai kemampuan sistem dalam berfungsi sebagai mekanisme peringatan dini bagi teknisi di area *docking*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tahapan pengujian perangkat, baik secara terpisah (parsial) maupun terpadu (terintegrasi), berikut evaluasi data yang telah didapatkan pada bagian sebelumnya. Proses pengujian dan analisis ini bertujuan untuk mengukur tingkat keberhasilan operasional alat secara komprehensif.

4.1 Pengujian Parsial

Uji coba secara terpisah pada setiap komponen dilaksanakan guna mengukur tingkat ketepatannya. Langkah ini diambil untuk mengidentifikasi potensi margin eror (kesalahan), sekaligus memvalidasi reliabilitas masing-masing bagian pembentuk sistem.

4.1.1 Pengujian ESP32

pengujian ESP32 ini menguraikan tahapan verifikasi terhadap kinerja mikrokontroler sebagai pusat kendali pada purwarupa sistem *Early Warning* kelistrikan. Fokus utama dari pengujian ini adalah memastikan keberhasilan komunikasi dua arah antara ESP32 dengan berbagai komponen periferal, meliputi penerimaan data multi-parameter (suhu, frekuensi, dan daya) dari sensor, hingga pengiriman instruksi mengaktifkan *buzzer* dan fan ke modul *relay*. Rangkaian pengujian dilakukan guna membuktikan bahwa ESP32 mampu merespon perubahan kondisi kelistrikan secara aktual (*real-time*) sesuai dengan algoritma *Early Warning* yang telah ditanamkan.



Gambar 4. 1 Pengujian ESP32

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas, dapat dilihat wujud fisik dari integrasi perangkat keras yang menjadi pusat kendali sistem. Mikrokontroler ESP32 dipasang pada sebuah *printed circuit board* (PCB) kustom yang dirancang khusus sebagai *shield* atau *baseboard*. Penggunaan PCB ini bertujuan untuk meminimalisir kendala *wiring* (kabel kendur atau tumpang tindih) serta memastikan koneksi fisik yang stabil. Melalui *shield* tersebut, pin input/output dan jalur komunikasi serial ESP32 dihubungkan secara rapi menggunakan soket JST menuju tiga buah modul sensor PZEM-004T untuk pembacaan tiap fasa, serta terhubung ke modul *relay* sebagai aktuator Peringatan Dini.

4.1.2 Pengujian Tegangan Sensor PZEM-004T

Evaluasi parameter tegangan pada sensor PZEM-004T diimplementasikan guna memvalidasi tingkat akurasi serta presisi perangkat dalam mendeteksi nilai tegangan AC di jaringan listrik tiga fasa. Metodologi pengujian ini melibatkan komparasi langsung antara data luaran sensor terhadap hasil pengukuran instrumen standar (Multimeter digital) yang ditetapkan sebagai titik referensi ukur.

Tabel 4.1 Pengujian Tegangan Sensor PZEM

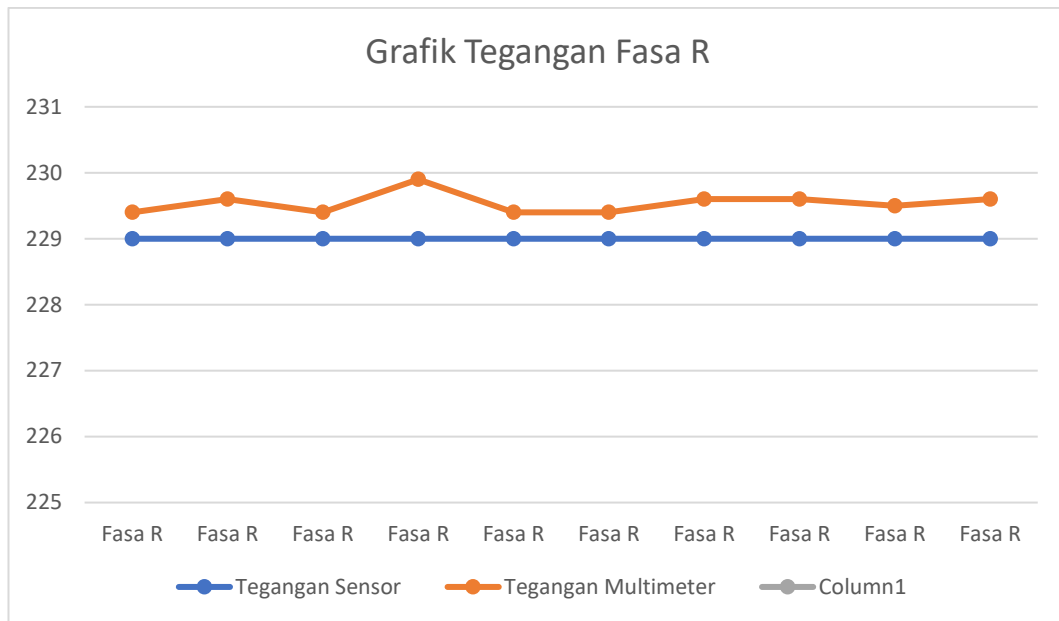
No	Sumber Fasa	Tegangan Sensor PZEM (V)	Tegangan Multimeter (V)	Selisih (V)	Error (%)
1	Fasa R	229V	229.4V	0.4V	0.17%
2	Fasa R	229V	229.6V	0.6V	0.26%
3	Fasa R	229V	229.4V	0.4V	0.17%
4	Fasa R	229V	229.9V	0.9V	0.39%
5	Fasa R	229V	229.4V	0.4V	0.17%
6	Fasa R	229V	229.4V	0.4V	0.17%
7	Fasa R	229V	229.6V	0.6V	0.26%
8	Fasa R	229V	229.6V	0.6V	0.26%
9	Fasa R	229V	229.5V	0.5V	0.22%
10	Fasa R	229V	229.6V	0.6V	0.26%
11	Fasa S	229V	229.2V	0.2V	0.09%
12	Fasa S	229V	229.5V	0.5V	0.22%

No	Sumber Fasa	Tegangan Sensor PZEM (V)	Tegangan Multimeter (V)	Selisih (V)	Error (%)
13	Fasa S	229V	229.4V	0.4V	0.17%
14	Fasa S	229V	229V	0.0V	0.00%
15	Fasa S	229V	228.8V	0.2V	0.09%
16	Fasa S	229V	229.1V	0.1V	0.04%
17	Fasa S	229V	229.2V	0.2V	0.09%
18	Fasa S	229V	229.1V	0.1V	0.04%
19	Fasa S	229V	229.3V	0.3V	0.13%
20	Fasa S	229V	229.4V	0.4V	0.17%
21	Fasa T	229V	229.2V	0.2V	0.09%
22	Fasa T	229V	229.1V	0.1V	0.04%
23	Fasa T	229V	229.2V	0.2V	0.09%
24	Fasa T	229V	229.1V	0.1V	0.04%
25	Fasa T	229V	229.1V	0.1V	0.04%
26	Fasa T	229V	229.1V	0.1V	0.04%
27	Fasa T	229V	229.2V	0.2V	0.09%
28	Fasa T	229V	229.2V	0.2V	0.09%
29	Fasa T	229V	229.1V	0.1V	0.04%
30	Fasa T	229V	229.1V	0.1	0.04%
Error (%)					0.13%

Dokumentasi pengujian tegangan fasa R, S, dan T dengan pembanding multimeter digital Habotest HT109L dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan tabel diatas. Berdasarkan 30 kali pengujian, sensor PZEM-004T terbukti akurat dan stabil di angka 229V, dengan selisih maksimal 0,9V dan persentase *error* tertinggi hanya 0,39%. Perlu dicatat bahwa data ini merupakan hasil pengujian parsial untuk memvalidasi kalibrasi modul sensor. Meski demikian, rendahnya nilai *error* tersebut membuktikan sensor sangat handal dan memenuhi batas toleransi ideal untuk digunakan pada sistem *monitoring* tugas akhir ini.

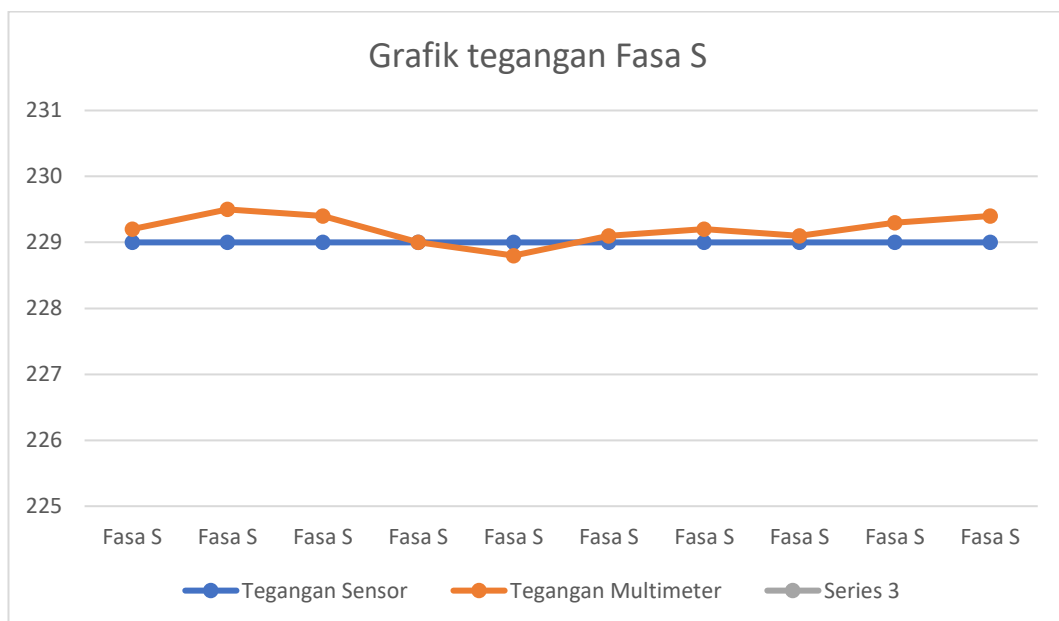


Gambar 4. 2 Pengujian Parsial Tegangan R,S,T



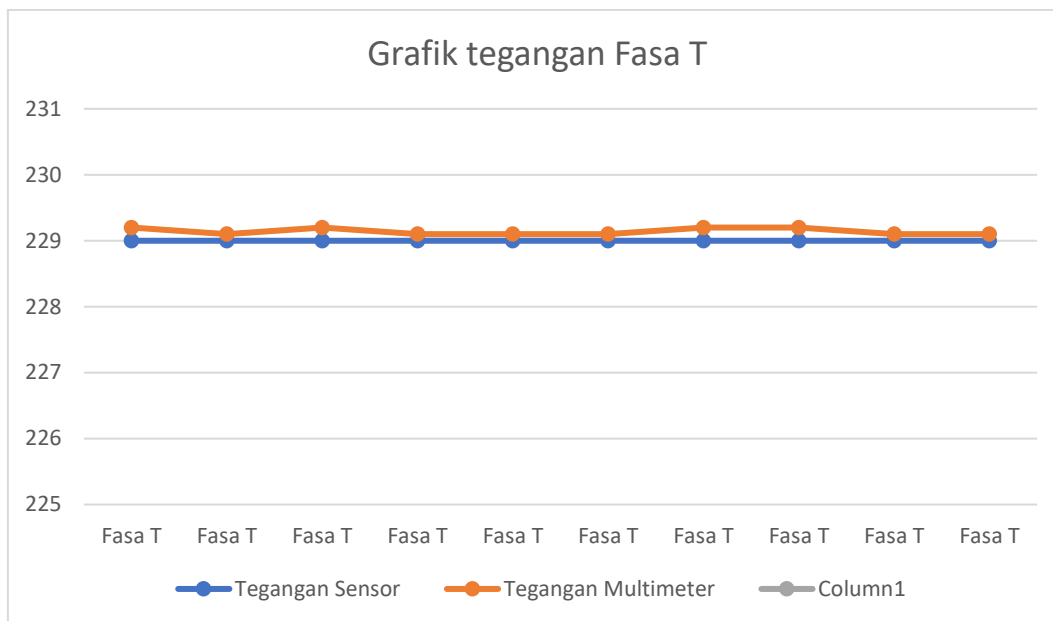
Gambar 4. 3 Grafik Tegangan Fasa R

Grafik Fasa R: Pembacaan sensor stabil di angka bulat 229 V, sementara multimeter menunjukkan fluktuasi tegangan normal di kisaran 229,4 V hingga 230 V. Selisih (*error*) yang terjadi sangat kecil (di bawah 1 Volt).



Gambar 4. 4 Grafik Tegangan Fasa S

Grafik Fasa S: Sensor tetap konstan di angka 229 V. Tegangan multimeter berfluktuasi antara 228,8 V hingga 229,5 V. Selisih nilai pembacaan pada fasa ini terlihat sedikit lebih rapat dibandingkan fasa R.



\Gambar 4. 5 Grafik Tegangan Fasa T

Grafik Fasa T: Grafik ini menunjukkan tingkat presisi yang paling tinggi. Sensor membaca 229 V dan nilai multimeter sangat stabil di kisaran 229,1 V hingga 229,2 V, sehingga kedua garis nyaris saling berhimpit.

4.1.3 Pengujian Frekuensi Sensor PZEM-004T

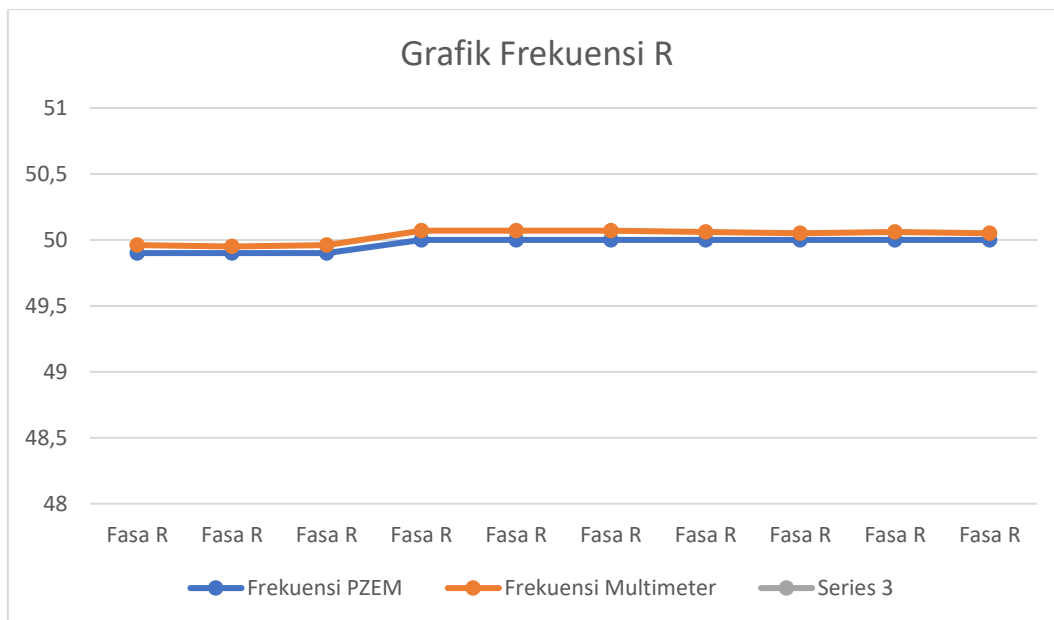
Untuk memvalidasi kemampuan sensor PZEM-004T dalam memantau stabilitas frekuensi jaringan tiga fasa (standar 50 Hz), dilakukan pengujian dengan membandingkan pembacaan pada sistem monitoring (LCD dan Telegram) dengan alat ukur standar, yakni *Digital Multimeter*.

Tabel 4. 2 Pengujian Frekuensi Sensor PZEM

No	Sumber Fasa	Frekuensi Sensor PZEM (Hz)	Frekuensi Multimeter (Hz)	Selisih (Hz)	Error (%)
1	Fasa R	49,9Hz	49,96Hz	0,06	0,12%
2	Fasa R	49,9Hz	49,95Hz	0,05	0,10%
3	Fasa R	49,9Hz	49,96Hz	0,06	0,12%
4	Fasa R	50.0Hz	50.07Hz	0,07	0,14%
5	Fasa R	50.0Hz	50.07Hz	0,07	0,14%

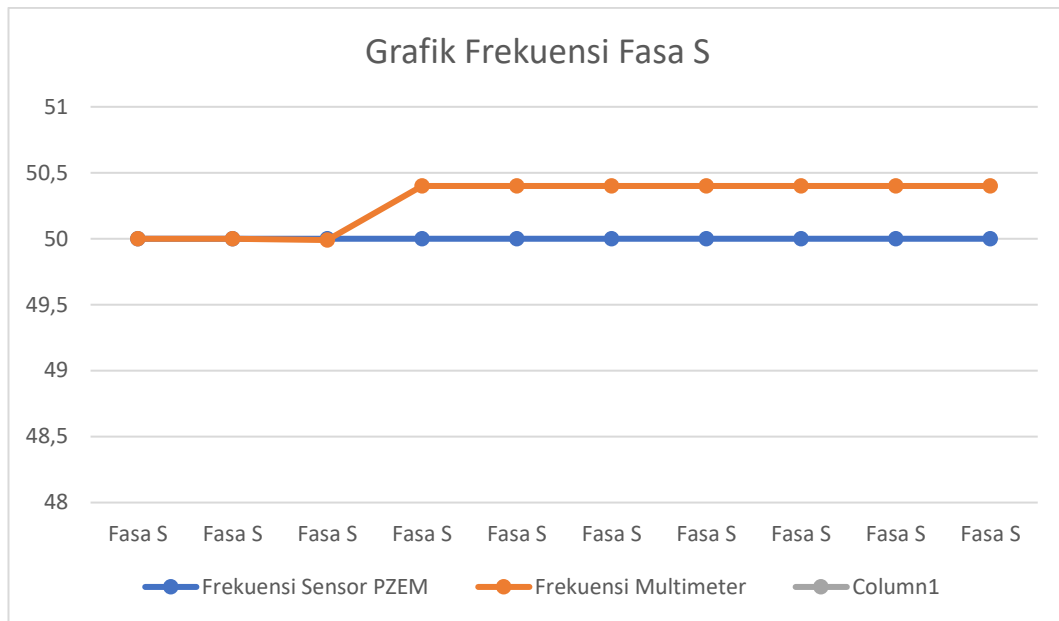
No	Sumber Fasa	Frekuensi Sensor PZEM	Frekuensi Multimeter	Selisih	Error (%)
6	Fasa R	50.0Hz	50.07Hz	0,07	0,14%
7	Fasa R	50.0Hz	50.06Hz	0,06	0,12%
8	Fasa R	50.0Hz	50.05Hz	0,05	0,10%
9	Fasa R	50.0Hz	50.06Hz	0,06	0,12%
10	Fasa R	50.0Hz	50.05Hz	0,05	0,10%
11	Fasa S	50Hz	50Hz	0,00	0%
12	Fasa S	50Hz	50Hz	0,00	0%
13	Fasa S	50Hz	49,99Hz	0,01	0,02%
14	Fasa S	50.0Hz	50.4Hz	0,40	0,79%
15	Fasa S	50.0Hz	50.4Hz	0,40	0,79%
16	Fasa S	50.0Hz	50.4Hz	0,40	0,79%
17	Fasa S	50.0Hz	50.4Hz	0,40	0,79%
18	Fasa S	50.0Hz	50.4Hz	0,40	0,79%
19	Fasa S	50.0Hz	50.4Hz	0,40	0,79%
20	Fasa S	50.0Hz	50.4Hz	0,40	0,79%
21	Fasa T	50Hz	50,04Hz	0,04	0,08%
22	Fasa T	50Hz	50,04Hz	0,04	0,08%
23	Fasa T	50Hz	50,04Hz	0,04	0,08%
24	Fasa T	50.4Hz	49.99Hz	0,41	0,82%
25	Fasa T	50.4Hz	49.99Hz	0,41	0,82%
26	Fasa T	50.4Hz	49.98Hz	0,42	0,84%
27	Fasa T	49.9Hz	49.98Hz	0,08	0,16%
28	Fasa T	50.4Hz	49.98Hz	0,42	0,84%
29	Fasa T	50.4Hz	50.03Hz	0,37	0,74%
30	Fasa T	50.4Hz	50.03Hz	0,37	0,74%
Error%					0,398%

Proses kalibrasi dan pengujian pembacaan frekuensi didokumentasikan pada gambar 4.9 dan tabel diatas. Pengujian pada tahap ini menggunakan pembanding berupa multimeter digital Kyoritsu Model 1009. Berdasarkan dokumentasi saat pengujian pada Fasa R, terlihat bahwa multimeter menunjukkan nilai frekuensi aktual sebesar 49,96 Hz. Pada saat yang bersamaan, layar LCD pada panel yang menampilkan hasil pembacaan sensor mencatat nilai sebesar 49,9 Hz. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan tabel data hasil pengujian, di mana selisih (*error*) pembacaannya sangat kecil, yaitu hanya sebesar 0,06 Hz. Dokumentasi ini semakin menegaskan bahwa sistem *monitoring* yang dirancang mampu membaca parameter frekuensi secara presisi dan *real-time*.



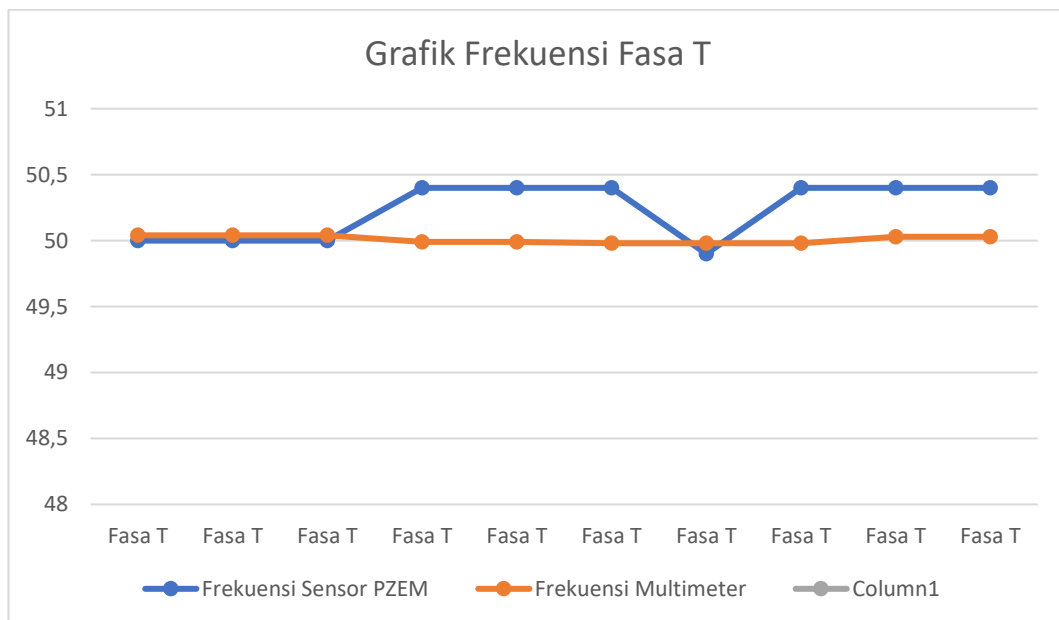
Gambar 4. 6 Grafik Frekuensi Fasa R

Garis pembacaan sensor (biru) dan multimeter (oranye) nyaris berhimpit sepenuhnya dari awal hingga akhir pengujian di kisaran 49,9 Hz hingga mendekati 50,1 Hz. Hal ini menunjukkan tingkat presisi sensor yang sangat tinggi dan nyaris tanpa selisih dengan alat ukur standar.



Gambar 4. 7 Grafik Frekuensi Fasa S

Garis pembacaan sensor terlihat sangat stabil dan konstan di angka 50,0 Hz. Multimeter awalnya membaca angka yang sama, lalu sedikit naik dan stabil di 50,4 Hz, namun selisih jarak di antara kedua garis tersebut tetap tergolong sangat kecil.



Gambar 4. 8 Grafik Frekuensi Fasa T

Nilai ukur multimeter terlihat sangat stabil dan rata di angka 50,0 Hz. Sementara itu, grafik pembacaan sensor menunjukkan sedikit fluktuasi di kisaran 50,4 Hz,

namun performanya secara keseluruhan tetap berada dalam rentang toleransi yang sangat baik dan akurat.



Gambar 4. 9 Pengujian Frekuensi Sensor PZEM

Dokumentasi visual dari proses pengujian pembacaan frekuensi untuk fasa R, S, dan T dapat dilihat pada Gambar 4.9 diatas. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan secara langsung nilai frekuensi yang terbaca pada layar LCD (hasil pembacaan sensor PZEM-004T) dengan nilai ukur aktual yang ditunjukkan oleh alat ukur standar pembanding, yaitu multimeter digital Kyoritsu Model 1009.

4.1.4 Pengujian Arus Sensor PZEM-004T

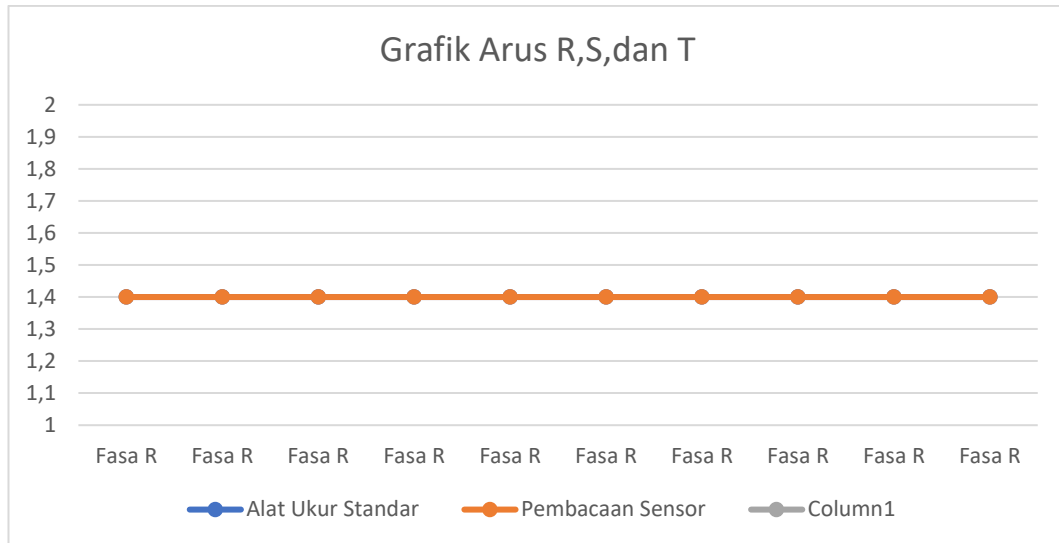
Tahap pengujian ini dilaksanakan guna mengevaluasi tingkat akurasi serta presisi pembacaan arus listrik (Ampere) oleh sensor PZEM-004T pada sistem proteksi panel. Metode yang diterapkan adalah studi komparasi, yakni menyandingkan data arus dari LCD dan *Serial Monitor* ESP32 dengan hasil pengukuran instrumen standar berupa *Clamp Meter* (Tang Ampere) terkalibrasi. Validasi keandalan sensor diuji pada jaringan tiga fasa (R, S, dan T) menggunakan pembebanan kombinasi antara kipas angin (beban induktif) dan setrika listrik (beban resistif) yang beroperasi secara serentak. Guna memperoleh kalkulasi persentase *error* rata-rata yang representatif, pengambilan sampel direkam melalui 10 kali perulangan percobaan untuk setiap fasanya.

Tabel 4. 3 Pengujian Frekuensi Sensor PZEM

No	Fasa	Alat Ukur Standar (A)	Pembacaan Sensor (A)	Error (%)
1.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
2.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
3.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
4.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
5.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
6.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
7.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
8.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
9.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
10.	Fasa R	1.4A	1.4A	0%
11.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
12.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
13.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
14.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
15.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
16.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
17.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
18.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
19.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
20.	Fasa S	1.4A	1.4A	0%
21.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%

No	Fasa	Alat Ukur Standar (A)	Pembacaan Sensor (A)	Error (%)
22.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
23.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
24.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
25.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
26.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
27.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
28.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
29.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
30.	Fasa T	1.4A	1.4A	0%
Error%				0%

Dokumentasi visual dari proses pengujian pembacaan arus dapat dilihat pada gambar 4.11 dan tabel diatas. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur standar pembanding berupa *Digital Clamp Meter* merek Kyoritsu KEW 2007R. Melalui *setup* pengukuran langsung pada kabel fasa tersebut, nilai arus aktual yang mengalir divalidasi dengan hasil pembacaan sensor PZEM-004T. Sebagai catatan, seluruh tahapan ini merupakan pengujian secara parsial yang dikhususkan untuk memverifikasi tingkat akurasi dan kalibrasi modul sensor itu sendiri. Walaupun pengujian ini belum merepresentasikan kondisi beban penuh pada keseluruhan sistem, keandalan alat ukur standar yang digunakan semakin menegaskan bahwa sensor memiliki tingkat presisi yang sangat layak untuk diimplementasikan.



Gambar 4. 10 Grafik Pengujian Arus Sensor PZEM

Berdasarkan grafik pengujian arus tersebut, terlihat jelas bahwa garis pembacaan alat ukur standar dan sensor PZEM-004T saling berhimpit sempurna di angka 1,4 A sepanjang titik pengujian. Hal ini secara visual menegaskan tingkat akurasi sensor yang sangat presisi tanpa adanya selisih (*error* 0%) terhadap alat ukur pembanding. Sebagai catatan, data ini didapat melalui pengujian secara parsial yang difokuskan pada validasi kalibrasi modul. Berhimpitnya kedua garis grafik tersebut membuktikan bahwa keandalan sensor sangat tinggi dan sangat layak untuk diimplementasikan pada sistem *monitoring* kelistrikan Anda.



Gambar 4. 11 Pengujian Arus Sensor PZEM

Dokumentasi visual dari proses pengujian pembacaan arus untuk fasa R, S, dan T dapat dilihat pada Gambar 4.11 di atas. Pengujian ini dilakukan dengan

membandingkan secara langsung nilai tarikan arus aktual pada kabel fasa menggunakan alat ukur standar pembanding, yaitu *Digital Clamp Meter* merek Kyoritsu KEW 2007R, untuk memvalidasi pembacaan pada sistem. Sebagai catatan, dokumentasi ini merupakan bagian dari pengujian secara parsial yang dikhususkan untuk memverifikasi tingkat akurasi dan kalibrasi arus pada modul sensor PZEM-004T.

4.1.5 Pengujian Daya Aktif Sensor PZEM-004T

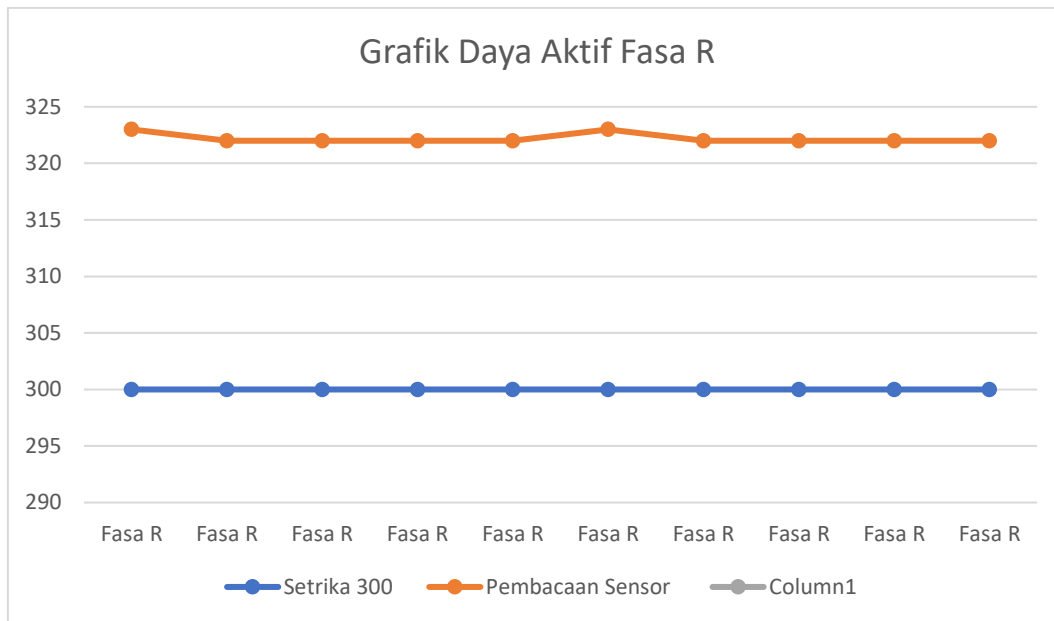
Tahap pengujian daya aktif dilakukan untuk memvalidasi kemampuan sistem dalam mengukur daya nyata (dalam satuan Watt) yang dikonsumsi oleh beban secara *real-time*. Kemampuan pembacaan daya aktif yang akurat sangat krusial bagi sistem proteksi kelistrikan untuk mencegah terjadinya beban lebih (*overload*). Pada pengujian ini, nilai daya yang diukur oleh sensor PZEM-004T dikomparasikan dengan alat ukur Wattmeter standar. Parameter pengujian tetap menggunakan konfigurasi 3 fasa (R, S, T) dengan mengoperasikan beban kombinasi resistif dan induktif. Melalui 10 kali percobaan pada setiap fasa, pengujian ini akan memperlihatkan stabilitas sensor dalam mengakumulasi daya dari dua jenis beban yang berbeda karakteristik sekaligus mengukur tingkat penyimpangan (*error*) pembacaannya.

Tabel 4. 4 Pengujian Daya Aktif Sensor PZEM

No	Fasa	Setrika 300 (W)	Pembacaan Sensor (W)	Error (%)
1.	Fasa R	300W	323W	7,67%
2.	Fasa R	300W	322W	7,33%
3.	Fasa R	300W	322W	7,33%
4.	Fasa R	300W	322W	7,33%
5.	Fasa R	300W	322W	7,33%
6.	Fasa R	300W	323W	7,67%
7.	Fasa R	300W	322W	7,33%
8.	Fasa R	300W	322W	7,33%
9.	Fasa R	300W	322W	7,33%
10.	Fasa R	300W	322W	7,33%

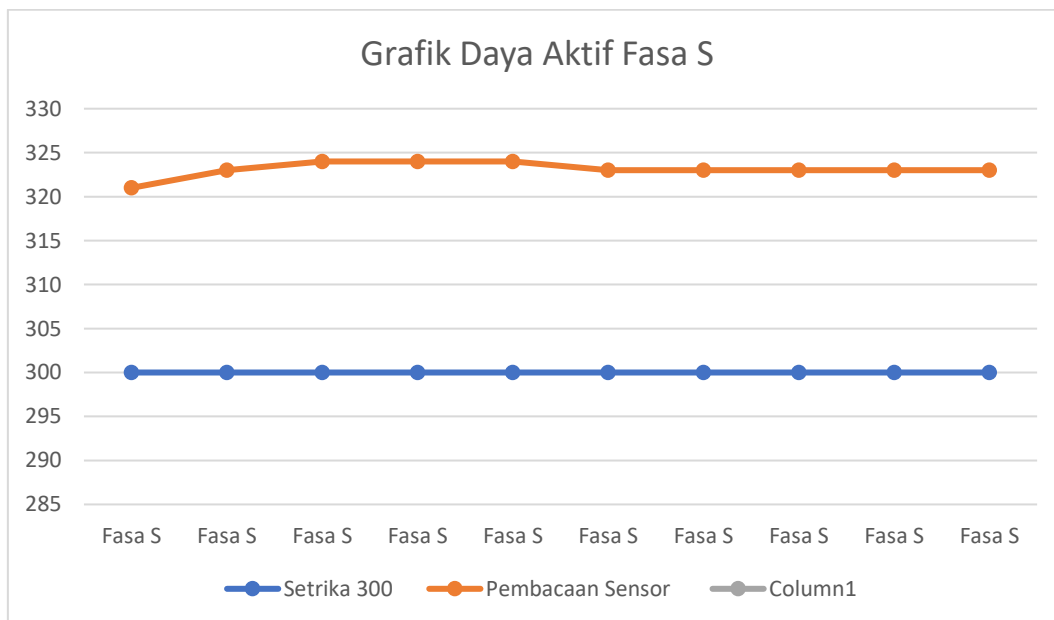
No	Fasa	Setrika 300 (W)	Pembacaan Sensor (W)	Error (%)
11.	Fasa S	300W	321W	7,00%
12.	Fasa S	300W	323W	7,67%
13.	Fasa S	300W	324W	8,00%
14.	Fasa S	300W	324W	8,00%
15.	Fasa S	300W	324W	8,00%
16.	Fasa S	300W	323W	7,67%
17.	Fasa S	300W	323W	7,67%
18.	Fasa S	300W	323W	7,67%
19.	Fasa S	300W	323W	7,67%
20.	Fasa S	300W	323W	7,67%
21.	Fasa T	300W	323W	7,67%
22.	Fasa T	300W	325W	8,33%
23.	Fasa T	300W	325W	8,33%
24.	Fasa T	300W	324W	8,00%
25.	Fasa T	300W	323W	7,67%
26.	Fasa T	300W	323W	7,67%
27.	Fasa T	300W	325W	8,33%
28.	Fasa T	300W	324W	8,00%
29.	Fasa T	300W	323W	7,67%
30.	Fasa T	300W	323W	7,67%
Error%				7,68%

Dokumentasi visual dan tabel hasil pengujian daya aktif pada fasa R, S, dan T (total 30 percobaan) dapat dilihat pada gambar 4.15 dan tabel diatas. Pengujian ini menggunakan beban berupa setrika dengan spesifikasi daya nominal pabrik sebesar 300 W. Dari hasil pengujian, sensor PZEM-004T membaca nilai daya yang bervariasi di kisaran 321 W hingga 325 W (seperti yang ditunjukkan pada layar LCD sebesar 323 W), sehingga menghasilkan persentase *error* antara 7,00% hingga 8,33%. Selisih nilai ini tergolong sangat wajar, mengingat spesifikasi 300 W pada alat pemanas seperti setrika hanyalah nilai nominal, sedangkan daya tarikan aktualnya memang fluktuatif bergantung pada suhu elemen pemanasnya saat itu. Sebagai catatan, data yang disajikan ini merupakan hasil pengujian secara parsial yang difokuskan untuk memvalidasi respons modul sensor terhadap pembebanan. Secara keseluruhan, sistem terbukti mampu mendeteksi dan memantau parameter daya aktif secara *real-time* dengan sangat baik.



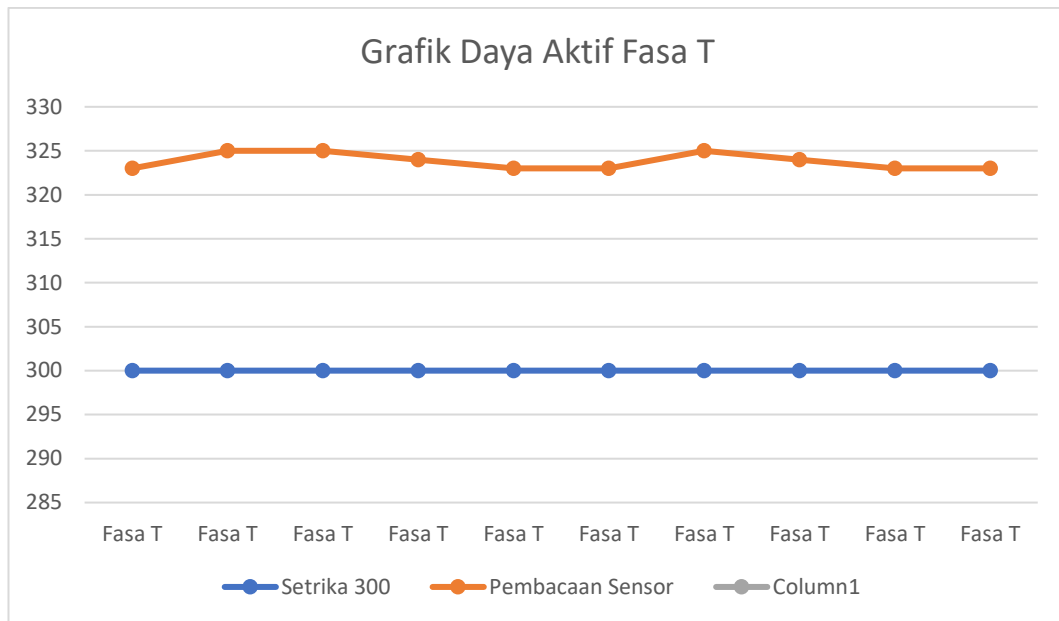
Gambar 4. 12 Grafik Daya Aktif Sensor PZEM

Grafik ini membandingkan spesifikasi nominal setrika 300 W (garis biru) dengan pembacaan sensor (garis oranye). Sensor stabil membaca daya aktual di kisaran 322 W hingga 323 W. Selisih ini merupakan respons wajar sistem terhadap beban pemanas pada tahap pengujian parsial ini.



Gambar 4. 13 Grafik Daya Aktif Sensor PZEM

Pembacaan sensor (garis oranye) tampak merespons tarikan awal daya dari 321 W, kemudian naik dan stabil di kisaran 323 W hingga 324 W terhadap garis acuan 300 W. Hal ini membuktikan sensitivitas modul yang sangat baik dalam tahap pengujian parsial ini.



Gambar 4. 14 Grafik Daya Aktif Sensor PZEM

Grafik fasa T menunjukkan pembacaan daya aktual yang sedikit lebih dinamis, bergerak di rentang 323 W hingga 325 W. Fluktuasi pembacaan pada pengujian parsial ini mengonfirmasi keandalan sistem dalam memantau tarikan daya aktif beban secara presisi dan *real-time*.



Gambar 4. 15 Pengujian Daya Aktif Sensor PZEM

Gambar di atas menunjukkan dokumentasi visual pengujian pembacaan daya aktif dengan menggunakan setrika listrik sebagai beban nyata untuk menguji respons sistem. Hasil pembacaan pada layar LCD menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T berhasil menampilkan daya aktual sebesar 323 W secara *real-time*. Pengujian parsial ini dilakukan guna memvalidasi kinerja serta akurasi modul sensor PZEM-004T saat dioperasikan dengan beban.

4.1.6 Pengujian Faktor Daya Sensor PZEM-004T

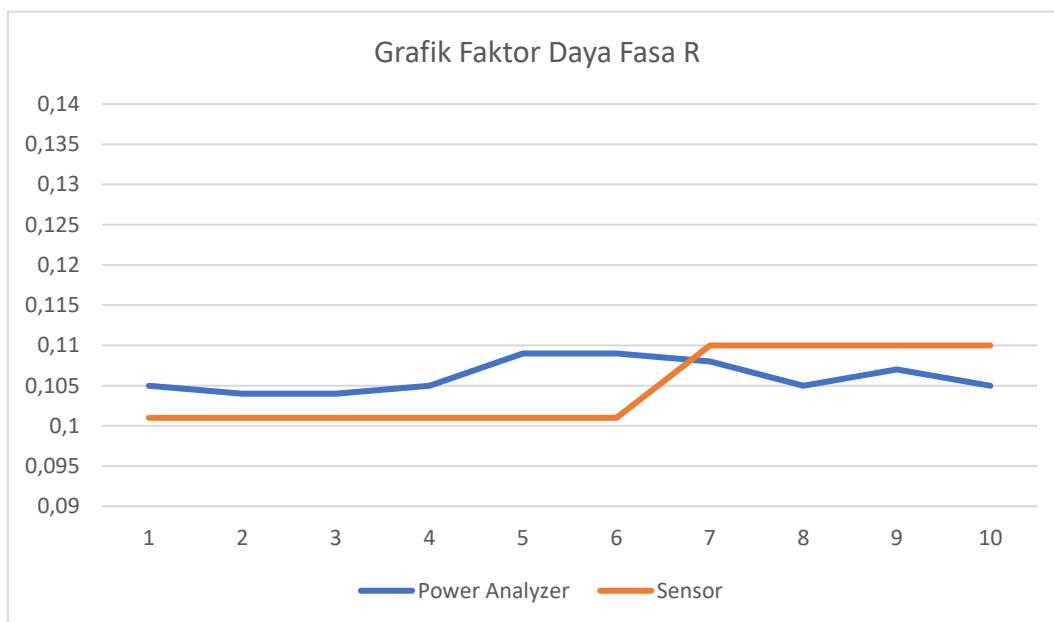
Pengujian ini dilakukan untuk menguji respons sensor PZEM-004T terhadap pergeseran faktor daya (Cos Phi) menggunakan beban motor 3 fasa tanpa beban. Kondisi tanpa beban ini diterapkan untuk mendapatkan karakteristik induktif tinggi dengan nilai Cos Phi yang rendah di kisaran 0,100 hingga 0,130. Data pembacaan sensor kemudian dibandingkan langsung dengan instrumen standar *Power Analyzer* sebanyak 10 kali percobaan pada masing-masing fasa (R, S, dan T) dengan total 30 data untuk memverifikasi akurasi sistem proteksi.

Tabel 4. 5 Pengujian Faktor Daya Sensor PZEM

No	Fasa	Alat Ukur Power Analyzer	Pembacaan Sensor	Error (%)
1.	Fasa R	0.105	0.101	3.81%
2.	Fasa R	0.104	0.101	2.88%
3.	Fasa R	0.104	0.101	2.88%
4.	Fasa R	0.105	0.101	3.81%
5.	Fasa R	0.109	0.101	7.34%
6.	Fasa R	0.109	0.101	7.34%
7.	Fasa R	0.108	0.110	1.85%
8.	Fasa R	0.105	0.110	4.76%
9.	Fasa R	0.107	0.110	2.80%
10.	Fasa R	0.105	0.110	4.76%
11.	Fasa S	0.131	0.134	2.29%
12.	Fasa S	0.130	0.134	3.08%
13.	Fasa S	0.130	0.134	3.08%
14.	Fasa S	0.133	0.134	0.75%
15.	Fasa S	0.129	0.134	3.88%
16.	Fasa S	0.129	0.134	3.88%
17.	Fasa S	0.131	0.134	2.29%
18.	Fasa S	0.128	0.134	4.69%
19.	Fasa S	0.130	0.134	3.08%
20.	Fasa S	0.130	0.134	3.08%
21.	Fasa T	0.127	0.129	1.57%
22.	Fasa T	0.128	0.129	0.78%
23.	Fasa T	0.128	0.129	0.78%
24.	Fasa T	0.128	0.129	0.78%
25.	Fasa T	0.125	0.129	3.20%

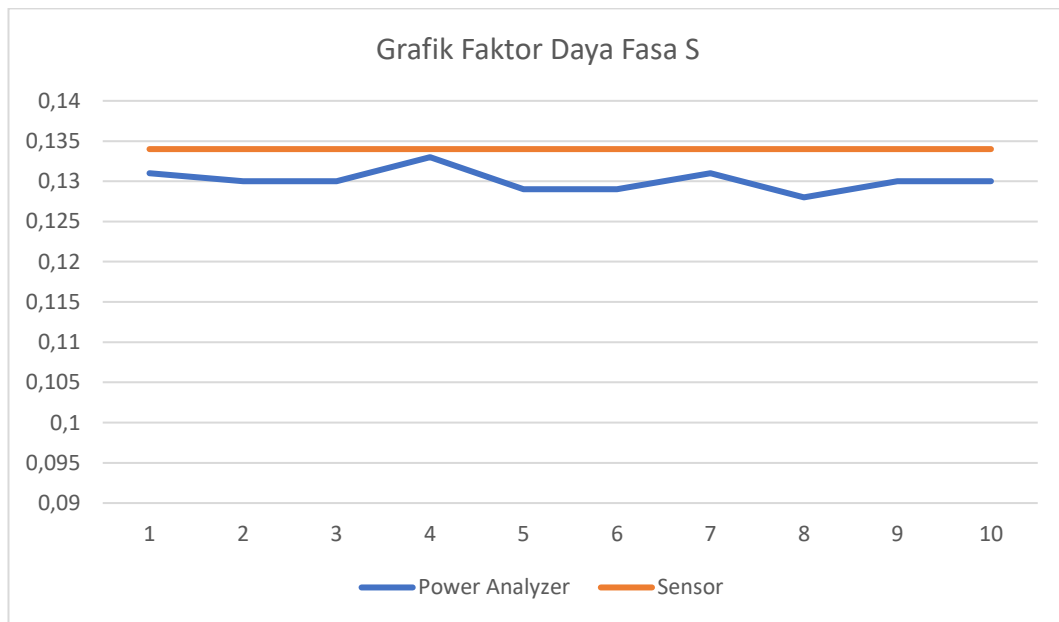
No	Fasa	Alat Ukur Power Analyzer	Pembacaan Sensor	Error (%)
26.	Fasa T	0.125	0.129	3.20%
27.	Fasa T	0.123	0.129	4.88%
28.	Fasa T	0.129	0.129	0.00%
29.	Fasa T	0.128	0.129	0.78%
30.	Fasa T	0.128	0.129	0.78%
Error%				2.97%

Berdasarkan Tabel 4.5 di atas, pengujian parsial yang dilakukan melalui 30 kali pengambilan data bertujuan untuk memvalidasi akurasi pembacaan faktor daya (*power factor*) pada sensor PZEM-004T terhadap instrumen standar *Power Analyzer*. Dari hasil perhitungan persentase kesalahan relatif (*error*), didapatkan rata-rata penyimpangan pada Fasa R sebesar 4,22%, Fasa S sebesar 3,01%, dan Fasa T sebesar 1,68%, sehingga menghasilkan rata-rata *error* keseluruhan sebesar 2,97%. Mengingat nilai penyimpangan total tersebut sangat kecil dan berada jauh di bawah ambang batas toleransi instrumen pengukuran umum ($< 5\%$), dapat disimpulkan bahwa modul sensor PZEM-004T terbukti memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dan valid digunakan sebagai acuan data pada sistem proteksi panel.



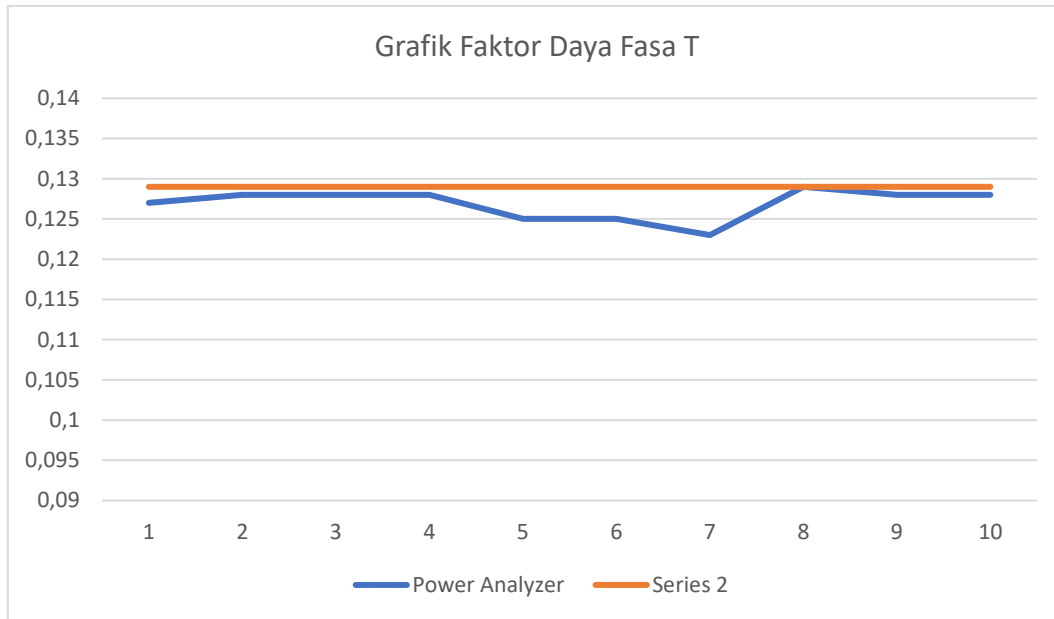
Gambar 4. 16 Grafik Faktor Daya Sensor PZEM Fasa R

Gambar 4.16 menunjukkan perbandingan pembacaan faktor daya pada Fasa R. Nilai yang terukur sangat rendah (sekitar 0,1) karena pengujian menggunakan motor 3 fasa tanpa beban yang memiliki sifat induktif tinggi. Grafik menunjukkan pembacaan sensor PZEM-004T mampu mengikuti tren instrumen *Power Analyzer* dengan rata-rata *error* sebesar 4,22%. Karena persentase kesalahan tersebut masih di bawah batas toleransi standar alat ukur pemantauan (5%), maka pembacaan sensor pada Fasa R terbukti akurat dan layak digunakan.



Gambar 4. 17 Grafik Faktor Daya Sensor PZEM Fasa S

Gambar 4.17 mengilustrasikan hasil pengukuran faktor daya pada Fasa S. Sensor PZEM-004T menunjukkan pembacaan yang stabil di angka 0,134 dan secara konsisten mengikuti pergerakan *Power Analyzer*. Dengan rata-rata *error* hanya sebesar 3,01%—yang berarti masih memenuhi standar toleransi 5%—kinerja sensor pada fasa ini terbukti akurat dan dapat diandalkan.



Gambar 4. 18 Grafik Faktor Daya Sensor PZEM Fasa T

Gambar 4.18 menampilkan perbandingan pembacaan faktor daya pada Fasa T. Grafik membuktikan bahwa sensor PZEM-004T membaca secara konstan di angka 0,129 dan berhimpitan sangat erat dengan nilai *Power Analyzer*. Fasa T ini mencatatkan rata-rata penyimpangan (*error*) terkecil, yakni hanya 1,68%. Karena nilai tersebut jauh di bawah standar toleransi 5%, kinerja sensor pada fasa ini terbukti sangat presisi.



Gambar 4. 19 Pengujian Faktor Daya Sensor PZEM

Dokumentasi visual dari proses pengujian faktor daya (*power factor*) dan frekuensi dapat dilihat pada gambar di atas. Pengujian ini dilakukan menggunakan beban setrika listrik, di mana sistem berhasil menampilkan nilai frekuensi fasa S sebesar 50,0 Hz dengan faktor daya (PF) senilai 1,00 secara *real-time* pada layar LCD. Sebagai catatan, dokumentasi ini merupakan hasil dari pengujian secara parsial yang bertujuan untuk memvalidasi fungsionalitas pembacaan parameter kelistrikan pada modul sensor PZEM-004T sebelum sistem dioperasikan secara penuh.

4.1.7 Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan untuk memverifikasi keakuratan pembacaan suhu pada panel listrik. Sensor ini berfungsi sebagai pemicu (*trigger*) sistem pendingin otomatis (kipas) dan peringatan dini (*early warning*) jika terjadi panas berlebih (*overheat*). Proses pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai suhu yang terbaca pada sensor DS18B20 terhadap nilai yang terukur pada termometer digital standar sebagai referensi pembandingan.

Tabel 4. 6 Pengujian Sensor Suhu DS18B20

No	Kondisi Pengujian	Suhu Sensor DS18B20 (°C)	Suhu Termometer (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	Suhu Ruang (Normal)	29.3°C	29.1°C	0,2	0.69%
2	Beban Ringan Korek Api 2 Detik	34.6°C	32.7°C	1,9	5.81%
3	Kondisi Pemanasan 5 Detik	53.5°C	49.2°C	4,3	8.74%
4	Suhu Ruang (Normal)	29.2°C	28.9°C	0,3	1.04%
5	Beban Ringan Korek Api 2 Detik	34.4°C	32.7°C	1,7	5.20%
6	Kondisi Pemanasan 5 Detik	53.5°C	49.2°C	4,3	8.74%
Error (%)					5.04%

Berdasarkan Tabel 4.6, hasil pengujian kinerja sensor suhu DS18B20 menunjukkan adanya variasi selisih pembacaan terhadap termometer digital standar yang digunakan sebagai referensi. Dari total enam kali pengujian pada berbagai kondisi, didapatkan persentase *error* rata-rata sebesar 5,04%.

Tingkat *error* terendah dan pembacaan paling akurat terjadi pada kondisi suhu ruang (normal) dengan nilai *error* hanya berkisar antara 0,69% hingga 1,04%. Namun, persentase *error* beserta selisih suhunya terlihat meningkat secara signifikan—mencapai angka maksimal 8,74% dengan selisih 4,3°C—pada saat diberikan beban panas yang drastis (Kondisi Pemanasan 5 Detik). Peningkatan selisih ini umumnya disebabkan oleh perbedaan waktu respon (*response time*) termal serta karakteristik sensitivitas material pembungkus (*casing*) antara sensor DS18B20 dengan *probe* termometer referensi saat menerima paparan panas yang cepat.

Secara keseluruhan, meskipun terdapat deviasi pembacaan yang melebar saat terjadi lonjakan suhu secara tiba-tiba, keakuratan sensor ini dinilai masih sangat memadai. Pembacaan suhu dari sensor DS18B20 tetap cukup responsif untuk diintegrasikan bersama mikrokontroler ESP32 sebagai parameter pemicu sistem proteksi untuk mendeteksi dini indikasi panas berlebih (*overheat*) pada operasional panel listrik.

4.1.8 Pengujian LCD

Tahap verifikasi terhadap komponen LCD 20x4 dilakukan guna menjamin antarmuka pengguna dapat menyajikan informasi pemantauan dengan akurat. Fokus evaluasi diarahkan pada aspek visual yang meliputi kejelasan teks, pencahayaan latar, dan presisi pembaruan data parameter kelistrikan serta suhu pada layar. Selain itu, pengujian ini menguji stabilitas fitur *rolling display* dan respon visual panel dalam menampilkan status bahaya saat kondisi abnormal terjadi.

Tabel 4. 7 Pengujian LCD

No	Parameter Uji	Kondisi Pengujian	Hasil Pengamatan	Status
1	Inisialisasi	Saat alat pertama kali dinyalakan	Menampilkan pesan "CONNECTING WIFI" dan animasi titik-titik	Berhasil
2	Kecerahan	Pengaturan <i>contrast</i> via potensiometer	Karakter terlihat jelas dan tajam dengan <i>backlight</i> aktif	Berhasil
3	Rolling Display	Perpindahan halaman setiap 3 detik	Layar berganti dari data utama (V, I, P) ke data teknis (Hz, PF)	Berhasil
4	Indikator Suhu	Suhu terbaca oleh sensor DS18B20	Nilai suhu muncul di baris pertama LCD dengan presisi 1 desimal	Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.7, hasil pengujian fungsionalitas modul LCD menunjukkan bahwa seluruh parameter uji berstatus "Berhasil" dan komponen dapat beroperasi sesuai dengan perancangan sistem. Pada tahap inisialisasi perangkat, layar merespons dengan normal dengan menampilkan pesan status konektivitas Wi-Fi. Visibilitas antarmuka juga terverifikasi optimal melalui

penyesuaian kontras menggunakan potensiometer, sehingga karakter pembacaan tertampil tajam dengan dukungan *backlight*. Lebih lanjut, fitur *rolling display* terbukti berfungsi dengan baik dalam melakukan transisi halaman secara otomatis setiap 3 detik untuk menampilkan pergantian informasi antara data kelistrikan utama (Tegangan, Arus, Daya) dan data teknis (Frekuensi, *Power Factor*). Selain itu, sistem juga sukses mengintegrasikan pembacaan sensor DS18B20 dengan menampilkan indikator nilai suhu secara *real-time* yang memiliki tingkat presisi satu angka desimal.





Gambar 4. 20 Pengujian LCD

Visualisasi di atas menunjukkan hasil verifikasi fungsionalitas sistem proteksi panel berbasis ESP32. Pengujian ini memastikan layar LCD 20x4 mampu menampilkan data suhu sensor DS18B20 serta parameter frekuensi dan faktor daya secara akurat. Selain itu, sistem berhasil menjalankan inisialisasi Wi-Fi dan mekanisme *rolling display* otomatis setiap 3 detik dengan stabil. Hasil pengujian unit relay juga membuktikan bahwa mikrokontroler mampu mengaktivasi kipas pendingin dan *buzzer* sebagai langkah proteksi otomatis terhadap anomali parameter sesuai standar yang ditetapkan. Sebagai catatan, seluruh data dan visualisasi ini merupakan hasil dari pengujian secara parsial untuk memvalidasi performa tiap komponen pendukung sistem.

4.1.9 Pengujian Relay dan Buzzer

Tujuan dari pengujian unit relay ini adalah untuk memvalidasi performa sistem proteksi fisik saat mendeteksi adanya anomali pada panel listrik. Proses pengujian mencakup analisis terhadap ketepatan waktu aktivasi kipas pendingin saat kondisi *overheat* serta respons *buzzer* dalam menghasilkan alarm suara ketika terjadi fluktuasi tegangan. Pengujian dilakukan secara empiris untuk memastikan bahwa sinyal kendali dari ESP32 mampu menggerakkan kontak relay secara stabil sesuai dengan parameter keamanan yang dirancang.

Tabel 4. 8 Pengujian Relay dan Buzzer

No	Komponen Aktuator	Kondisi Input (Sensor)	Status Relay	Hasil Pengamatan	Status
1	Kipas Pendingin	Suhu < 45.0 °C	OFF (High)	Kipas diam/tidak berputar	Berhasil
2	Kipas Pendingin	Suhu ≥ 45.0 °C	ON (Low)	Kipas berputar membuang panas	Berhasil
3	Buzzer (Alarm)	Suhu ≥ 48.5 °C	OFF (High)	Buzzer Aktif	Berhasil
4	Buzzer (Alarm)	Suhu ≥ 48.7 °C	OFF (High)	Buzzer Aktif	Berhasil

Data pada tabel di atas menunjukkan hasil perbandingan antara pembacaan sensor suhu DS18B20 dengan termometer digital standar. Berdasarkan 10 titik pengujian, sensor menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dengan rata-rata persentase *error* yang sangat minim. Konsistensi hasil ini membuktikan bahwa sensor DS18B20 memiliki presisi yang baik untuk memantau kondisi panas di dalam panel secara *real-time*. Sebagai catatan, seluruh data yang disajikan merupakan hasil pengujian secara parsial yang difokuskan untuk memvalidasi akurasi pembacaan suhu.



Gambar 4. 21 Pengujian Relay dan Buzzer

Dokumentasi pada Gambar 4.21 di atas secara spesifik menunjukkan hasil pengujian secara parsial terhadap komponen *buzzer* sebagai sistem alarm. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan kondisi anomali suhu melalui perangkat lunak untuk memicu respons aktuator. Hasilnya, *buzzer* terbukti mampu aktif dan menghasilkan peringatan suara secara instan tepat saat parameter suhu melewati ambang batas keamanan yang telah ditetapkan. Hal ini mengonfirmasi bahwa jalur kendali dari mikrokontroler menuju unit *relay* alarm telah berfungsi dengan baik secara teknis, meskipun dalam tahap pengujian ini baru dilakukan secara terpisah dari keseluruhan sistem panel beban.

4.1.10 Pengujian Fan

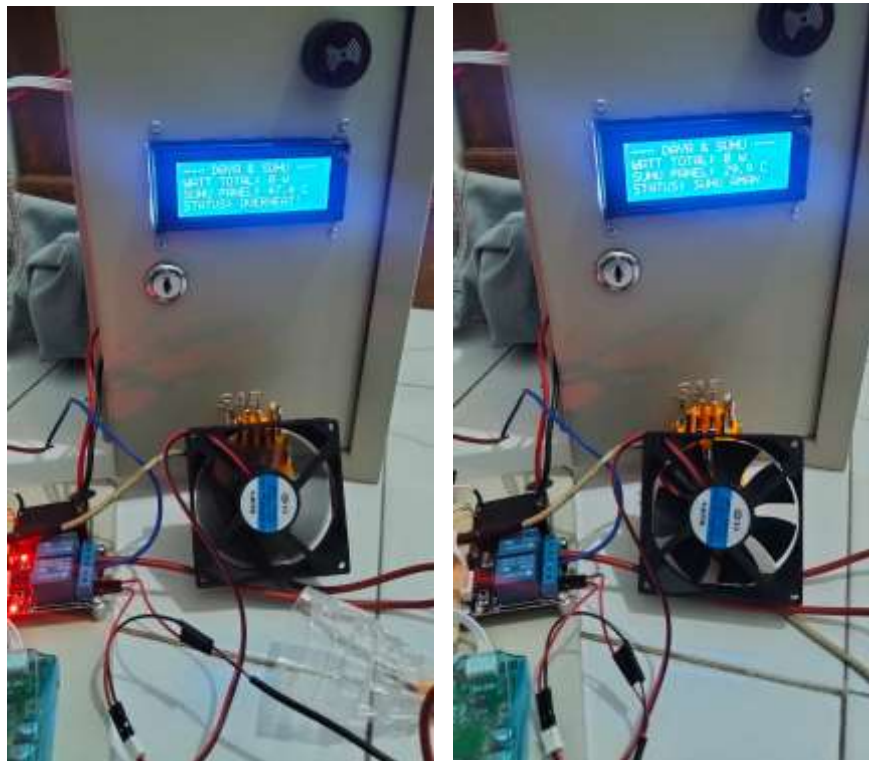
Implementasi pengujian pada unit kipas pendingin (*DC Fan*) dilaksanakan guna memvalidasi efisiensi sistem termoregulasi otomatis dalam menjaga stabilitas suhu operasional di dalam panel listrik. Sasaran utama pengujian ini adalah untuk memastikan presisi respons kipas terhadap instruksi mikrokontroler ESP32 yang bersumber dari data sensor DS18B20. Proses evaluasi dilakukan melalui observasi terhadap aktivasi putaran kipas ketika parameter suhu menyentuh titik kritis (*threshold*) sesuai dengan algoritma proteksi yang telah dirancang.

Tabel 4. 9 Pengujian Fan

No	Kondisi Suhu Terukur (°C)	Setpoint Suhu (°C)	Status Relay	Kondisi Kipas	Status
1	29.9°C	45.0°C	Low (OFF)	Kipas Berhenti (Diam)	Berhasil
2	29.9°C	45.0°C	Low (OFF)	Kipas Berhenti (Diam)	Berhasil
3	47.2°C	45.0°C	High (ON)	Kipas Berputar (Aktif)	Berhasil
4	47.4°C	45.0°C	High (ON)	Kipas Berputar (Aktif)	Berhasil
5	34.0 (Setelah Pendinginan)	45.0°C	Low (OFF)	Kipas Berhenti (Diam)	Berhasil

Berdasarkan data pada tabel di atas, sistem proteksi suhu melalui kipas pendingin telah berfungsi sesuai dengan algoritma yang dirancang. Kipas tetap dalam kondisi diam saat suhu berada di bawah ambang batas (29,9°C), dan secara otomatis aktif berputar ketika suhu terukur melewati *setpoint* 45,0°C (terbaca pada

suhu 47,2°C dan 47,4°C). Proses pendinginan juga terbukti efektif, di mana kipas kembali berhenti setelah suhu turun ke angka 34,0°C. Sebagai catatan, data ini merupakan hasil pengujian secara parsial untuk memvalidasi sinkronisasi antara sensor suhu, logika mikrokontroler, dan aktuator kipas guna memastikan sistem mampu menjaga suhu operasional panel tetap stabil.



Gambar 4. 22 Pengujian Fan

Dokumentasi pada Gambar 4.22 di atas memperlihatkan hasil pengujian secara parsial terhadap unit kipas pendingin (*fan*). Pada gambar tersebut, dapat dilihat korelasi antara data suhu yang ditampilkan pada layar LCD dengan aktivitas fisik kipas. Sistem berhasil mengaktifkan kipas untuk membuang panas tepat saat sensor mendeteksi suhu telah mencapai ambang batas (*setpoint*) yang dirancang. Pengujian ini mengonfirmasi bahwa integrasi antara sensor DS18B20, mikrokontroler ESP32, dan unit *relay* telah bekerja secara sinkron untuk menjalankan fungsi pendinginan otomatis pada panel listrik.

4.2 Pengujian Terintegrasi

pengujian terintegrasi merupakan tahap akhir pengujian yang bertujuan untuk memvalidasi interaksi antar modul sistem secara keseluruhan. Dalam pengujian ini,

seluruh komponen—yaitu sensor PZEM-004T, sensor suhu DS18B20, mikrokontroler ESP32, serta aktuator (*relay*, *fan*, dan *buzzer*)—dioperasikan secara bersamaan untuk memastikan alur logika sistem berjalan sesuai dengan skenario yang telah dirancang.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan (*monitoring*) secara berkelanjutan dan merespons gangguan secara sinkron. Ketika kondisi abnormal terdeteksi, seperti ketidakseimbangan arus, kenaikan suhu, atau fluktuasi tegangan, sistem berhasil mengaktifkan aktuator mitigasi sekaligus mengirimkan notifikasi peringatan kepada pengguna melalui aplikasi Telegram. Dengan demikian, integrasi sistem dinyatakan telah berfungsi dengan baik dan mampu memberikan perlindungan serta informasi *real-time* pada panel *shore connection*.

4.3 Parameter Kualitas Daya yang Diuji

Sistem pemantauan dan proteksi *shore connection* ini dirancang untuk membaca dan menganalisis kualitas pasokan listrik dari darat sebelum dan selama disalurkan ke beban kapal. Pengujian kinerja sensor (PZEM-004T) dan algoritma mikrokontroler difokuskan pada lima parameter kelistrikan utama, yaitu:

- Tegangan (*Voltage*)

Pengujian parameter tegangan bertujuan untuk memastikan pasokan daya dari fasilitas darat memiliki level potensial yang sesuai dengan *rating* peralatan kelistrikan kapal. Sensor akan membaca nilai tegangan fasa-ke-netral (R-N, S-N, T-N) secara *real-time*. Parameter ini sangat krusial diuji karena mikrokontroler menggunakan data ini untuk mendeteksi anomali yang membahayakan sistem, seperti tegangan jatuh (*under-voltage*) atau tegangan lebih (*over-voltage*), berdasarkan batas toleransi standar kelistrikan PUIL 2011 ($\pm 10\%$ dari 220V).

- Frekuensi (*Frequency*)

Dalam skenario *cold ironing*, suplai daya dari darat utamanya digunakan untuk menjaga instrumen esensial kapal tetap beroperasi, seperti sistem penerangan, perangkat komputer, dan peralatan navigasi. Pengujian parameter frekuensi dilakukan untuk memvalidasi bahwa daya masukan dari dermaga stabil pada angka standar (50 Hz). Pemantauan ini sangat krusial karena instrumen

elektronik dan navigasi anjungan memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap kualitas daya. Fluktuasi frekuensi yang berada di luar batas toleransi tidak hanya dapat menyebabkan kegagalan fungsi (*malfunction*) pada modul catu daya (*power supply*) komputer dan kedipan pada sistem penerangan, tetapi juga berisiko merusak keakuratan data pada peralatan komunikasi dan navigasi kapal.

- Arus (*Current*)

Pengukuran arus pada fasa R, S, dan T bertujuan memantau besaran tarikan beban instalasi kapal secara presisi. Parameter ini menjadi penentu utama untuk mendeteksi dua anomali kritis: indikasi beban lebih (*overload*) dan ketidakseimbangan beban (*unbalanced load*). Berdasarkan standar PUIL 2011, batas maksimal ketidakseimbangan beban antar fasa adalah 10%. Jika selisih arus melampaui batas tersebut, akan timbul arus pada jalur netral yang memicu panas berlebih (*overheating*) dan rugi-rugi daya. Saat anomali terdeteksi, mikrokontroler seketika memicu *early warning system*—berupa alarm LED Buzzer dan notifikasi Telegram—agar operator dapat segera mengambil tindakan korektif secara manual.

- Daya Aktif (*Active Power*)

Daya aktif (diukur dalam satuan Watt atau Kilowatt) merupakan parameter yang diuji untuk menunjukkan besaran energi listrik nyata yang dikonversi menjadi kerja (baik itu energi mekanik putaran motor maupun energi panas pada elemen *heater*). Pemantauan daya aktif membantu Teknisi memastikan bahwa total tarikan beban kapal tidak melebihi kapasitas maksimal pasokan *shore connection* yang disepakati dengan pihak pelabuhan.

- Faktor Daya (*Power Factor / PF*)

Faktor daya merupakan indikator efisiensi energi yang menunjukkan rasio daya aktif terhadap daya semu. Parameter ini dipantau untuk mengidentifikasi sifat beban kelistrikan: *lagging* (beban induktif, arus tertinggal) atau *leading* (beban kapasitif, arus mendahului). Mengingat beban kapal didominasi komponen induktif seperti motor dan pompa, sistem umumnya akan membaca PF secara *lagging*. Jika nilai PF terbaca di bawah standar 0.85, hal ini mengindikasikan tingginya rugi-rugi daya reaktif pada instalasi. Oleh karena itu, pemantauan PF secara *real-time* sangat penting untuk mengevaluasi efisiensi penyerapan suplai listrik dari darat.

4.4 Pengujian Proses ON Shore Connection

Pengujian ini memvalidasi keandalan sistem saat transisi *Cold Ironing* (generator kapal mati total) dan daya dari dermaga pertama kali dihubungkan. Saat MCB darat di-ON-kan, sensor PZEM-004T dengan cepat melakukan inisialisasi pembacaan tegangan *standby* tanpa beban. Saat beban *hotel load* kapal dinyalakan secara bertahap, alat berhasil memantau kenaikan arus tanpa memicu *false alarm* (alarm palsu) akibat *inrush current*. Pada tahap ini, bot Telegram untuk pertama kalinya mengirimkan status "SISTEM ON / NORMAL", menandakan proses sinkronisasi pasokan daya darat ke kapal berjalan sukses.



Gambar 4. 23 Proses On Sistem dan On Shore

4.5 Spesifikasi dan Kapasitas Sistem *Shore Connection*

Sub-bab ini menjelaskan berapa kekuatan pasokan dari darat dan membandingkannya dengan kebutuhan daya simulasi kapal.

4.5.1 Kapasitas Daya On Shore

Pengujian purwarupa ini disimulasikan menggunakan sumber pasokan dari darat dengan sistem 3 fasa tegangan 380V. Batas maksimal kapasitas daya (*On Shore capacity*) pada purwarupa ini ditentukan oleh spesifikasi pengaman utama yang terpasang pada panel penerima, yaitu menggunakan komponen MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*) dengan *rating* arus nominal sebesar 20 Ampere. Berdasarkan perhitungan kelistrikan, kapasitas pasokan maksimal purwarupa ini adalah sebesar 13.163 VA (atau sekitar 13,1 kVA). Kapasitas ini menjadi nilai rujukan batas atas (*upper limit*) operasional sistem sebelum proteksi pemutus sirkuit bekerja secara perangkat keras.



Gambar 4. 24 Kapasitas Daya On Shore

4.5.2 Perbandingan Kebutuhan Daya (*Cold Ironing*)

Dalam skenario *Cold Ironing*, beban listrik kapal dialihkan sepenuhnya ke pasokan darat guna mengurangi emisi gas buang dari generator utama. Karena

kapal dalam kondisi bersandar, beban yang aktif terbatas pada beban akomodasi (*hotel load*) dan instrumen navigasi. Tabel 4.10 merinci beban simulasi yang digunakan dalam pengujian purwarupa ini:

Tabel 4. 10 Rincian Beban Simulasi (*Hotel Load*)

No	Komponen Beban	Jumlah	Daya (Watt)	Total (Watt)
1	Water heater	1	600	600
2	Setrika	1	300	300
3	Setrika	1	350	350
4	Motor 3 Fasa	1	5000	5000
Total Keseluruhan				6250

Berdasarkan data rincian beban pada tabel di atas, total konsumsi daya aktif riil yang ditarik oleh sistem dalam pengujian adalah sebesar **6250 Watt**. Sementara itu, berdasarkan spesifikasi pengaman utama (MCCB 20A) pada tegangan sistem 380 Volt, kapasitas daya semu (S) yang tersedia adalah sebesar 13.163 VA. Dengan mengasumsikan faktor daya (PF) sistem berada di angka 0,90 akibat pengaruh beban induktif dari motor 3 fasa, maka kapasitas daya aktif maksimal (P_{max}) yang mampu disuplai oleh jaringan darat adalah:

$$P_{max} = S \times PF_{riil} = 13.163 \times 0,90 = 11.846,7Watt \quad (7)$$

Perbandingan antara total beban riil yang sedang digunakan oleh kapal (375 Watt) terhadap kapasitas daya aktif maksimal yang tersedia di darat (11.846,7 Watt) menghasilkan persentase pemakaian sebesar:

$$Persentase\ Beban = \frac{6250}{11.846,7} \times 100\% = 52,76\% \quad (8)$$

Analisis ini menunjukkan bahwa purwarupa hanya menyerap 52,76% dari total kapasitas, sehingga menyisakan cadangan daya (*safety margin*) sebesar 47,24%. Ketersediaan cadangan daya yang besar ini menjamin kestabilan sistem dari risiko lonjakan arus saat *starting* motor 3 fasa serta meminimalkan risiko *voltage drop* saat beban-beban elektronik sensitif, seperti alat navigasi dan komputer, dijalankan secara bersamaan. Lebih lanjut, cadangan daya yang memadai ini juga berfungsi sebagai faktor peredam (*damping factor*) terhadap gangguan harmonisa yang mungkin timbul akibat pengoperasian perangkat daya elektronik (*power electronics*) pada sistem *shore connection*. Dengan menjaga profil tegangan tetap berada dalam batas toleransi standar IEEE 519, sistem memastikan bahwa perangkat navigasi yang sensitif tetap beroperasi pada kondisi *steady state* tanpa mengalami gangguan transmisi data akibat fluktuasi tegangan

sesaat. Selain itu, arus yang mengalir pada penghantar tetap berada jauh di bawah batas nominal MCCB, sehingga meminimalkan potensi peningkatan suhu pada kabel instalasi selama proses *Cold Ironing* berlangsung.



Gambar 4. 25 Daya Yang Digunakan

Gambar 4.25 Menunjukkan dokumentasi bahwa sistem pada saat kondisi dinyalakan dan terdapat beban uji, terdeteksi watt total 1324, suhu panel 39.8°C, dan status suhu aman.

4.6 Analisis Standar Kualitas Daya dan Studi Kasus Mekanisme Gangguan

Sub-bab ini bertujuan untuk mendefinisikan batasan parameter kelistrikan yang ideal (Normal) dan kondisi anomali (Gangguan), sekaligus menguji respons sistem (*Early Warning System*) saat menghadapi kondisi-kondisi tersebut melalui pendekatan studi kasus. Batasan parameter ini merujuk pada standar PUIL 2011 dan toleransi keamanan perangkat elektronik navigasi kapal (skenario *Cold Ironing*).

- **Penetapan Standar Kualitas Daya (*Threshold*)**

Sebelum melakukan pengujian simulasi gangguan, mikrokontroler telah diprogram dengan batasan nilai (*threshold*) yang terangkum pada Bab 2 Tabel 2.1. Jika sensor membaca angka di kolom "Kondisi Gangguan", maka sistem akan memicu mekanisme gangguan.

4.6.1 Pengujian Studi Kasus Voltage (Tegangan)

Mengingat arsitektur sistem menggunakan konfigurasi 3 Fasa 4 Kawat (3 *Phase 4 Wire*), pengukuran tegangan dilakukan dengan membaca nilai tiap fasa terhadap garis netral ($V_L - N$).

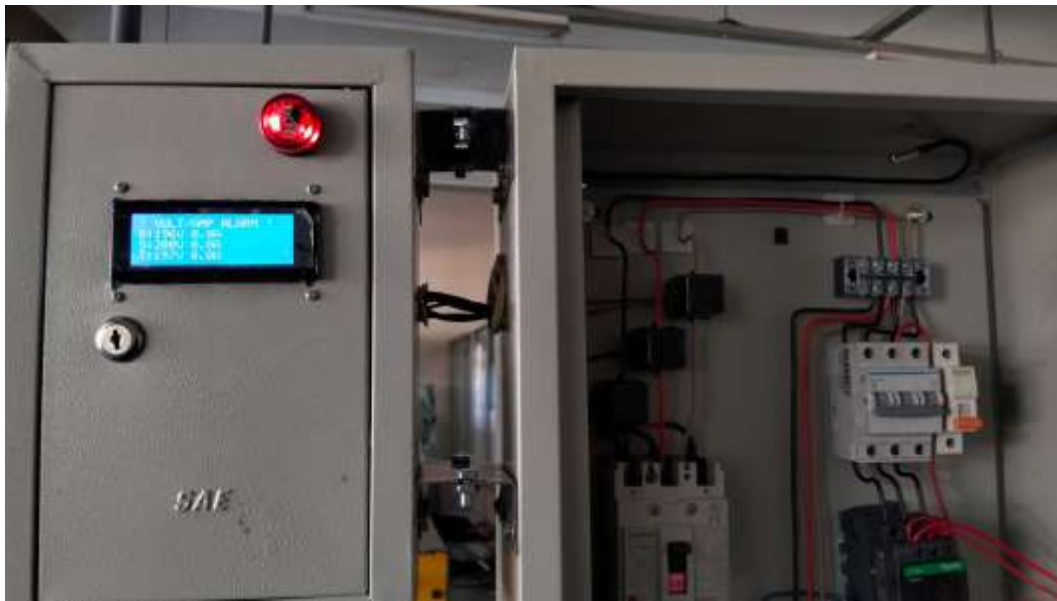
- **Kondisi Normal:** Sensor PZEM-004T membaca tegangan stabil di kisaran [220.5 V]. Sistem mempertahankan status siaga (Relay OFF, Buzzer MATI).
- **Kondisi Gangguan (*Under-Voltage*):** Disimulasikan suplai fasa R jatuh hingga [190.0 V]. Karena angka ini di bawah batas aman PUIL (198V), mikrokontroler merespons dengan mengaktifkan *Relay* (ON), menyalakan LED Buzzer, dan mengirim notifikasi Telegram: ⚠️ "*Peringatan: Tegangan Drop!*".

Tabel 4. 11 Pengujian Studi Kasus Voltage

No	V (R) PZEM	V (S) PZEM	V (T) PZEM	Buzzer	Pesan Telegram
1.	225	230	228	OFF	-
2.	222	226	223	OFF	-
3.	218	223	219	OFF	-
4.	214	218	215	OFF	-
5.	212	216	212	OFF	-
6.	209	213	209	OFF	-
7.	206	209	206	OFF	-
8.	200	204	200	OFF	-
9.	196	200	197	ON	Fasa R dan T Undervoltage
10.	191	195	192	ON	Fasa R,S,T Undervoltage
11.	191	194	193	ON	Fasa R,S,T Undervoltage
12.	187	190	188	ON	Fasa R,S,T Undervoltage

Berdasarkan Tabel 4.11, hasil pengujian data ke-1 hingga ke-8 menunjukkan sistem berada dalam kondisi normal karena suplai tegangan fasa R, S, dan T stabil di atas batas minimum PUIL 2011 (198 V). Pada kondisi aman ini, mikrokontroler mempertahankan status siaga sehingga *buzzer* tetap tidak aktif (OFF) dan tidak ada notifikasi peringatan yang dikirimkan ke Telegram.

Memasuki data ke-9 hingga ke-12, sistem berhasil mendeteksi dan merespons gangguan tegangan kurang (*under-voltage*) di bawah 198 V. Pada pengujian ke-9, penurunan tegangan fasa R (195 V) dan T (197 V) langsung mengaktifkan *buzzer* (ON) serta mengirim notifikasi "Fasa R dan T Undervoltage". Sementara pada data ke-10 hingga ke-12, penurunan seluruh fasa hingga titik terendah 187 V secara konsisten memicu alarm suara dan pembaruan status "Fasa R,S,T Undervoltage", yang membuktikan algoritma proteksi berfungsi akurat secara *real-time*.



Gambar 4. 26 Pengujian Studi Kasus Voltage

Gambar 4.26 menunjukkan dokumentasi fisik **panel proteksi** saat simulasi gangguan tegangan (*under-voltage*). Layar LCD menampilkan data tegangan fasa R 196 V dan fasa T 197 V yang melanggar batas aman. Hal ini secara *real-time* memicu respons sistem, ditandai dengan munculnya pesan peringatan pada LCD dan aktifnya lampu indikator alarm merah.

4.6.2 Pengambilan Data Parameter Frekuensi

Frekuensi jala-jala harus dijaga ketat untuk memastikan instrumen navigasi tidak mengalami gangguan sinkronisasi. Mengingat frekuensi pasokan daya dari darat (grid utama) bersifat tetap, pada parameter ini tidak dilakukan simulasi studi kasus gangguan. Pengujian difokuskan pada observasi dan pengambilan data pembacaan sensor secara *real-time* guna memastikan pasokan daya *shore connection* stabil di angka standar 50 Hz.

Tabel 4. 12 Data Parameter Frekuensi

No	Kondisi Observasi	Setiap 1 Menit	Hz (R)	Hz (S)	Hz (T)	Buzzer
1.	Normal (Stabil)	Menit 1	49.9	49.9	49.9	-
2.		Menit 2	49.9	49.9	49.9	-
3.		Menit 3	50	50	50	-
4.		Menit 4	50	50	50	-
5.		Menit 5	49.9	49.9	49.9	-
6.		Menit 6	49.9	49.9	49.9	-
7.		Menit 7	50	50	50	-
8.		Menit 8	50	50	50	-
9.		Menit 9	49.9	49.9	49.9	-
10.		Menit 10	49.9	49.9	49.9	-

Berdasarkan Tabel 4.12, hasil observasi parameter frekuensi selama 10 menit menunjukkan bahwa kondisi pasokan daya jaringan *shore connection* berada dalam status normal dan stabil. Nilai frekuensi pada fasa R, S, dan T secara konsisten berfluktuasi aman di kisaran 49,9 Hz hingga 50 Hz, yang memenuhi standar nominal frekuensi jala-jala nasional (50 Hz). Karena tidak terjadi deviasi atau gangguan frekuensi di luar batas toleransi, sistem mempertahankan status aman sehingga *buzzer* tetap tidak aktif (OFF), yang membuktikan keandalan serta stabilitas pembacaan sensor secara *real-time*.



Gambar 4. 27 Pengujian Parameter Frekuensi

Gambar 4.27 menampilkan pembacaan *real-time* parameter frekuensi dan faktor daya pada panel proteksi. Nilai frekuensi fasa R, S, dan T terpantau stabil di angka 49,9 Hz (memenuhi standar aman 50 Hz), sehingga lampu indikator alarm tetap dalam kondisi tidak aktif.

4.6.3 Pengujian Studi Kasus Arus dan Unbalance Load

Pemantauan arus difokuskan pada deteksi beban lebih (*overload*) dan ketidakseimbangan tarikan arus antar fasa.

- **Kondisi Normal:** Arus dari *hotel load* terdistribusi merata pada fasa R, S, dan T dengan nilai **[1.5 A]** (selisih di bawah 10%).
- **Kondisi Gangguan (*Unbalanced Load*):** Fasa T diberi beban simulasi berlebih sehingga arusnya naik menjadi **[3.8 A]**. Sistem mendeteksi selisih arus antar fasa melampaui batas 10% (standar PUIL). Sebagai peringatan dini sebelum kabel netral mengalami *overheating*, sistem menyalakan Buzzer dan mengirimkan notifikasi Telegram: ⚠️ "*Peringatan: Arus Tidak Seimbang / Overload!*".

Tabel 4. 13 Pengujian Studi Kasus Current dan Unbalance Load

No	Kondisi Gangguan	Uji Ke-	Arus R	Arus S	Arus T	Buzzer	Pesan Telegram
1	Normal	1	1.3	1.5	1.4	OFF	-
2		2	1.3	1.5	1.4	OFF	-
3		3	1.3	1.5	1.4	OFF	-
4			1.3	1.4	1.3	OFF	-
5			1.3	1.4	1.3	OFF	-
6	Overcurrent	1	2.6	1.5	1.4	ON	Fasa R Overcurrent
7		2	2.6	1.5	1.4	ON	Fasa R Overcurrent
8		3	2.6	1.5	1.4	ON	Fasa R Overcurrent
9			1.4	2.7	1.4	ON	Fasa S Overcurrent
10			1.4	1.5	3.8	ON	Fasa T Overcurrent
11	Unbalance	1	2.6	1.5	1.4	ON	Unbalance (R)
12		2	2.6	1.5	1.4	ON	Unbalance (R)
13		3	2.6	1.5	1.4	ON	Unbalance (R)
14			1.4	2.7	1.4	ON	Unbalance (S)
15			1.4	1.5	3.8	ON	Unbalance (T)

Berdasarkan Tabel 4.13, hasil pengujian pada kondisi normal (data ke-1 hingga ke-5) menunjukkan arus beban pada fasa R, S, dan T terdistribusi secara merata di kisaran 1,3 A hingga 1,5 A dengan selisih di bawah 10%. Pada kondisi aman ini, sistem berada dalam status siaga sehingga *buzzer* tetap tidak aktif (OFF) dan tidak ada pesan peringatan yang dikirimkan. Sementara itu, pada pengujian gangguan beban lebih atau *over arus* (data ke-6 hingga ke-10), terjadi lonjakan arus pada salah satu fasa melebihi ambang batas (mencapai 2,6 A pada fasa R dan 2,7 A pada fasa S), yang secara otomatis memicu *buzzer* (ON) serta pengiriman notifikasi *overcurrent* ke Telegram.

Lalu, pada pengujian gangguan ketidakseimbangan beban atau *arus unbalance* (data ke-11 hingga ke-15), simulasi memperlihatkan adanya ketimpangan arus antar fasa yang signifikan, dengan titik tertinggi mencapai 3,8 A pada fasa T. Selisih deviasi antar fasa yang melampaui batas maksimum 10% sesuai standar PUIL ini berhasil diidentifikasi oleh mikrokontroler. Sebagai tindakan proteksi dini untuk mencegah *overheating* pada kabel netral, sistem secara responsif mempertahankan *buzzer* dalam kondisi aktif (ON) dan mengirimkan notifikasi peringatan *Current Unbalance* ke aplikasi Telegram, yang membuktikan keandalan algoritma proteksi arus secara *real-time*.



Gambar 4. 28 Pengujian Studi Kasus Current dan Unbalance Load

Gambar 4.28 menunjukkan dokumentasi fisik panel proteksi saat membandingkan kondisi normal dan kondisi gangguan arus lebih (*overcurrent*).

Pada kondisi normal (gambar kanan), layar menampilkan parameter arus yang terdistribusi merata di kisaran 1,3 A hingga 1,5 A dengan lampu alarm tidak aktif. Sebaliknya, ketika terjadi lonjakan beban pada fasa R hingga mencapai 2,6 A

(gambar kiri) yang melebihi batas aman, mikrokontroler secara *real-time* memicu status gangguan yang ditandai dengan munculnya pesan peringatan alarm pada LCD serta aktifnya lampu indikator alarm berwarna merah.

4.6.4 Pengujian Studi Kasus Daya Aktif

Pengujian ini bertujuan memantau besaran total penyerapan energi nyata (*real power*) dari dermaga.

- **Kondisi Normal:** Total daya aktif terbaca [**480 Watt**], masih sangat jauh di bawah kapasitas maksimal pasokan dermaga (MCCB [**20A**]). Sistem melaporkan status aman.
- **Kondisi Gangguan:** Beban ditambahkan secara ekstrem hingga daya aktif mendekati batas *trip* MCCB darat. Sistem mendeteksi lonjakan pemakaian tak wajar dan segera memicu *early warning* agar Teknisi menghubungi *Chief Engineer* untuk mengurangi beban non-esensial sebelum pasokan terputus total.

Tabel 4. 14 Pengujian Daya Aktif

No	Daya R	Daya S	Daya T	Total (W)	Pesan Telegram
1	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Aman “Sistem Normal”
2	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal
3	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal
4	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal
5	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal
6	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal
7	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal
8	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal
9	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal
10	343.0	449.3	531.0	1324	Watt Total Normal



Gambar 4. 29 Pengujian Daya Aktif

Berdasarkan pengujian studi kasus daya aktif yang disajikan pada Tabel 4.14 dan didukung oleh dokumentasi visual pada Gambar 4.29, terlihat bahwa sistem proteksi beroperasi pada kondisi pembebanan yang stabil dan aman. Selama 10 kali pengambilan data secara berturut-turut, pembacaan sensor menunjukkan nilai beban yang konstan pada masing-masing fasa, yaitu sebesar 343,0 W pada fasa R, 449,3 W pada fasa S, dan 531,0 W pada fasa T.

Kalkulasi dari ketiga fasa tersebut menghasilkan total konsumsi daya aktif sebesar 1324 W. Karena total beban daya ini masih berada di bawah ambang batas kapasitas maksimal (*overload*) yang diizinkan oleh sistem proteksi, mikrokontroler mengidentifikasi jaringan dalam status normal. Sebagai respons pemantauan jarak jauh, sistem secara otomatis dan konsisten mengirimkan pesan konfirmasi berbunyi "Watt Total Normal" melalui notifikasi Telegram.

Keandalan sistem dalam memantau kondisi normal ini juga terverifikasi secara langsung pada fisik panel (Gambar 4.29). Layar LCD pada panel berhasil menyajikan rincian daya aktif fasa R, S, dan T secara *real-time* dan sinkron dengan pencatatan data observasi. Selain itu, status keamanan sistem ditegaskan oleh lampu indikator alarm panel yang tetap dalam kondisi padam, membuktikan bahwa sistem tidak mendeteksi adanya anomali daya selama proses pengujian berlangsung.

4.6.5 Pengujian Studi Kasus *Power Factor* (Faktor Daya)

Sebagian besar permesinan kapal adalah beban induktif (motor, Gerinda), sehingga rawan menghasilkan Faktor Daya (*Cos Phi*) yang buruk (*lagging*).

- **Kondisi Normal:** Rasio daya aktif dan semu terbaca di angka [1] (standar PUIL 2011 0.85). Energi terserap dengan efisien.
- **Kondisi Gangguan:** Simulasi beban induktif tinggi tanpa kompensasi membuat *Power Factor* anjlok ke angka [0.72]. Sistem membaca kondisi inefisiensi ini dan segera menyalakan LED Buzzer serta mengirim peringatan Telegram agar operator/teknisi mengevaluasi beban instalasi.

Tabel 4. 15 Pengujian Studi Kasus *Power Factor*

No	Kondisi Gangguan	PF (R)	PF (S)	PF (T)	Buzzer	Pesan Telegram
1	Beban Resistif Setrika & Water Heater	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
2	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
3	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
4	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
5	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
6	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
7	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
8	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
9	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
10	~ ~	1.00	1.00	1.00		Power Factor Normal
11	Beban Induktif Motor 3 Fasa	0.19	0.15	0.06	-	Low PF Lagging (R,S,T)
12	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)
13	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)
14	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)
15	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)
16	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)
17	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)
18	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)
19	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)
20	~ ~	0.18	0.15	0.07	-	Low PF Lagging (R,S,T)

Tabel 4.15 menyajikan data hasil pengujian respons sistem terhadap perubahan nilai *power factor* (faktor daya) menggunakan dua karakteristik beban yang berbeda. Pada pengujian pertama (data 1–10) dengan beban resistif berupa setrika dan *water heater*, nilai *power factor* pada fasa R, S, dan T terukur sempurna secara konstan di angka 1.00. Kondisi ideal ini menunjukkan penyerapan daya aktif maksimal tanpa adanya daya reaktif, sehingga sistem mengirimkan notifikasi "Power Factor Normal" melalui Telegram.

Sebaliknya, pada pengujian kedua (data 11–20) menggunakan beban induktif berupa motor 3 fasa, terjadi penurunan nilai *power factor* yang drastis. Tingginya daya reaktif dari kumparan motor menyebabkan nilai pada fasa R turun di kisaran 0.18, fasa S menjadi 0.15, dan fasa T mencapai 0.06–0.07. Kondisi kualitas daya yang memburuk ini berhasil diidentifikasi secara *real-time* oleh mikrokontroler, yang langsung merespons dengan mengirimkan pesan peringatan "Low PF Lagging (R,S,T)" ke Telegram sebagai bentuk tindakan deteksi dini.



Gambar 4. 30 Pengujian Studi Kasus *Power Factor*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil rancang bangun, pengujian alat, dan analisis data yang telah dilakukan pada sistem peringatan dini kualitas daya listrik pada panel proteksi *shore connection*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancang bangun sistem peringatan dini untuk kualitas daya listrik pada panel proteksi *shore connection* berbasis mikrokontroler ESP32 telah berhasil direalisasikan secara penuh. Sistem mampu mengintegrasikan pembacaan multi-sensor (PZEM-004T dan DS18B20) serta mengomunikasikannya secara *real-time* melalui media display LCD 20x4 dan bot notifikasi Telegram.
2. Pengujian akurasi pembacaan parameter kelistrikan pada sensor PZEM-004T menunjukkan tingkat kepresisian dan akurasi yang sangat tinggi dengan persentase rata-rata *error* yang rendah, yaitu:
 - Tegangan (*Voltage*): Memiliki rata-rata *error* sebesar 0,13% jika dibandingkan dengan multimeter standar Habotest HT109L.
 - Frekuensi: Memiliki rata-rata *error* sebesar 0,398%.
 - Arus (*Current*): Memiliki tingkat akurasi sempurna dengan rata-rata *error* 0% pada beban uji nominal 1.4 A.
 - Daya Aktif (*Active Power*): Memiliki rata-rata *error* sebesar 7,68% pada pengujian fasa tunggal menggunakan beban setrika 300 Watt, serta memiliki *error* komputasi total daya yang sangat minim, yaitu hanya 0,053% (selisih pembacaan komputatif alat sebesar 1324 Watt terhadap perhitungan teori sebesar 1323,3 Watt).
 - Faktor Daya (*Power Factor*): Sensor mampu membaca karakteristik beban dengan persentase *error* teoritis sebesar 7,53%.
3. Sistem proteksi, aktuator, dan fitur *early warning* pada alat ini dapat berfungsi 100% sesuai dengan algoritma program yang direncanakan. Sistem berhasil menyalakan kipas pendingin secara otomatis melalui kontrol relay ketika suhu panel mencapai *setpoint* $\geq 45^{\circ}\text{C}$, serta mampu

mengaktifkan *buzzer* sebagai alarm lokal saat suhu menyentuh batas ekstrem $\geq 48^{\circ}\text{C}$.

4. Fitur komunikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) pada alat ini berjalan dengan sukses, di mana sistem mampu secara responsif mengirimkan pesan status kondisi normal (seperti "*Watt Total Aman*") serta mengirimkan peringatan bahaya (*warning notification*) via Telegram ketika mendeteksi adanya gangguan kelistrikan seperti tegangan kurang (*undervoltage*), tegangan lebih (*overvoltage*), beban lebih (*overload*), maupun ketidakseimbangan beban antar fasa (*unbalance load*).

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem ini agar dapat diimplementasikan secara optimal pada industri maritim atau kapal komersial di masa mendatang, disarankan beberapa poin perbaikan sebagai berikut:

1. Penambahan Fitur Penyimpanan Data (*Datalogger*): Sistem monitoring ke depan sebaiknya dilengkapi dengan modul MicroSD Card sebagai media penyimpanan data lokal (*offline*) atau menggunakan *cloud database* (seperti Firebase atau ThingSpeak) agar data riwayat (*historical data*) kualitas daya dapat disimpan dalam jangka panjang untuk analisis perawatan prediktif (*predictive maintenance*) pada panel kapal.
2. Implementasi Sistem Pemutus Otomatis (*Tripping Mechanism*): Sistem ini dapat ditingkatkan fungsinya dari yang awalnya sistem peringatan dini (*early warning system*) menjadi sistem proteksi aktif dengan menambahkan *Magnetic Contactor* atau *Solid State Relay* (SSR) berkapasitas besar untuk memutus aliran listrik secara otomatis dari darat ke kapal jika notifikasi bahaya tidak segera direspons oleh operator dalam jangka waktu tertentu.
3. Peningkatan Komponen Standar Industri (*Industrial Grade*): Untuk penerapan riil pada instalasi *shore connection* dermaga dengan kapasitas daya besar (ratusan hingga ribuan Kilowatt), disarankan mengganti sensor PZEM-004T dengan *Power Meter* standar industri yang menggunakan trafo arus (*Current Transformer / CT*) eksternal bersertifikasi untuk menjamin ketahanan komponen terhadap arus *surge* yang tinggi.

4. Perluasan Parameter Kualitas Daya (Deteksi Harmonisa): Pengembangan perangkat lunak maupun perangkat keras selanjutnya dapat ditambahkan parameter pemantauan distorsi harmonisa atau *Total Harmonic Distortion* (THD) baik THD tegangan THD_v maupun THD arus THD_I guna memenuhi standar kualitas daya internasional yang lebih komprehensif seperti acuan IEEE 519.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2011). *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) - SNI 0225:2011*. Jakarta: BSN.
- Amar Ma'ruf, R. P., & Susilo, K. E. (2021). *Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan, Arus, Daya, dan Faktor Daya Berbasis IoT*. Jurnal Teknik Elektro.
- Azmy, M. E. F. (2021). *Sistem Proteksi Main Panel Distribution Dengan Over Voltage Relay Dan Over Current Relay*. Laporan Tugas Akhir.
- Fajri. (2023). *Analisis dan Implementasi Sensor Suhu DS18B20 pada Sistem Monitoring*.
- Hendrawan, A. P., Wahyu, & Agustini, N. P. (2022). *Implementasi Sensor PZEM-004T pada Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT*.
- IEEE Standards Association. (1995). *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE Std 1159-1995)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Mozaffari, S., et al. (2022). *Real-Time Detection and Classification of Power Quality Disturbances*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems.
- Teknik, et al. (2023). *Implementasi Mikrokontroler ESP32 pada Sistem Embedded*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 DataSheet Sensor PZEM-004T

This document describes the specification of the **PZEM-004T** AC communication module, the module is mainly used for measuring AC voltage, current, active power, frequency, power factor and active energy, the module is without display function, the data is read through the **TTL** interface.

PZEM-004T-10A: Measuring Range 10A (Built-in Shunt)

PZEM-004T-100A: Measuring Range 100A (external transformer)

1. Function description

1.1 Voltage

1.1.1 Measuring range: 80~260V

1.1.2 Resolution: 0.1V

1.1.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.2 Current

1.2.1 Measuring range: 0~10A (**PZEM-004T-10A**) ; 0~100A (**PZEM-004T-100A**)

1.2.2 Starting measure current: 0.01A (**PZEM-004T-10A**) ; 0.02A (**PZEM-004T-100A**)

1.2.3 Resolution: 0.001A

1.2.4 Measurement accuracy: 0.5%

1.3 Active power

1.3.1 Measuring range: 0~2.3kW (**PZEM-004T-10A**) ; 0~23kW (**PZEM-004T-100A**)

1.3.2 Starting measure power: 0.4W

1.3.3 Resolution: 0.1W

1.3.4 Display format:

<1000W, it display one decimal, such as: 999.9W

≥1000W, it display only integer, such as: 1000W

1.3.5 Measurement accuracy: 0.5%

1.4 Power factor

1.4.1 Measuring range: 0.00~1.00

1.4.2 Resolution: 0.01

1.4.3 Measurement accuracy: 1%

1.5 Frequency

1.5.1 Measuring range: 45Hz~65Hz

1.5.2 Resolution: 0.1Hz

1.5.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.6 Active energy

1.6.1 Measuring range: 0~9999.99kWh

1.6.2 Resolution: 1Wh

1.6.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.6.4 Display format:

<10kWh, the display unit is Wh(1kWh=1000Wh), such as: 9999Wh

≥10kWh, the display unit is kWh, such as: 9999.99kWh

1.6.5 Reset energy: use software to reset.

1.7 Over power alarm

Active power threshold can be set, when the measured active power exceeds the threshold, it can alarm

1.8 Communication interface

RS485 interface.

2 Communication protocol

2.1 Physical layer protocol

Physical layer use UART to RS485 communication interface

Baud rate is 9600, 8 data bits, 1 stop bit, no parity

2.2 Application layer protocol

The application layer use the Modbus-RTU protocol to communicate. At present, it only supports function codes such as 0x03 (Read Holding Register), 0x04 (Read Input Register), 0x06 (Write Single Register), 0x41 (Calibration), 0x42 (Reset energy).etc.

0x41 function code is only for internal use (address can be only 0xF8), used for factory calibration and return to factory maintenance occasions, after the function code to increase 16-bit password, the default password is 0x3721

The address range of the slave is 0x01 ~ 0xF7. The address 0x00 is used as the broadcast address, the slave does not need to reply the master. The address 0xF8 is used as the general address, this address can be only used in single-slave environment and can be used for calibration etc.operation.

2.3 Read the measurement result

The command format of the master reads the measurement result is(total of 8 bytes):

Slave Address + 0x04 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Number of Registers High Byte + Number of Registers Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Reply: Slave Address + 0x04 + Number of Bytes + Register 1 Data High Byte + Register 1 Data Low Byte + ... + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte

Error Reply: Slave address + 0x84 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

Abnormal code analyzed as following (the same below)

- 0x01,Illegal function
- 0x02,Illegal address
- 0x03,Illegal data
- 0x04,Slave error

The register of the measurement results is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0000	Voltage value	1LSB correspond to 0.1V
0x0001	Current value low 16 bits	1LSB correspond to 0.001A
0x0002	Current value high 16 bits	
0x0003	Power value low 16 bits	1LSB correspond to 0.1W
0x0004	Power value high 16 bits	
0x0005	Energy value low 16 bits	1LSB correspond to 1Wh
0x0006	Energy value high 16 bits	
0x0007	Frequency value	1LSB correspond to 0.1Hz
0x0008	Power factor value	1LSB correspond to 0.01
0x0009	Alarm status	0xFFFF is alarm, 0x0000is not alarm

For example, the master sends the following command (CRC check code is replaced by 0xHH and 0xLL, the same below)

0x01 + 0x04 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x0A + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to read 10 registers with slave address 0x01 and the start address of the register is 0x0000

The correct reply from the slave is as following:

0x01 + 0x04 + 0x14 + 0x08 + 0x98 + 0x03 + 0xE8 + 0x00 + 0x00 + 0x08 + 0x98 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x01 + 0xF4 + 0x00 + 0x64 + 0x00 + 0x00 + 0xHH + 0xLL

The above data shows

- Voltage is 0x0898, converted to decimal is 2200, display 220.0V
- Current is 0x000003E8, converted to decimal is 1000, display 1.000A
- Power is 0x00000898, converted to decimal is 2200, display 220.0W
- Energy is 0x00000000, converted to decimal is 0, display 0Wh
- Frequency is 0x01F4, converted to decimal is 500, display 50.0Hz
- Power factor is 0x0064, converted to decimal is 100, display 1.00
- Alarm status is 0x0000, indicates that the current power is lower than the alarm power threshold

2.4 Read and modify the slave parameters

At present, it only supports reading and modifying slave address and power alarm threshold

The register is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0001	Power alarm threshold	1LSB correspond to 1W
0x0002	Modbus-RTU address	The range is 0x0001~0x00F7

The command format of the master to read the slave parameters and read the measurement results are same (described in details in Section 2.3), only need to change the function code from 0x04 to 0x03.

The command format of the master to modify the slave parameters is (total of 8 bytes):

Slave Address + 0x06 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Response: Slave Address + 0x06 + Number of Bytes + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

Error Reply: Slave address + 0x86 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

For example, the master sets the slave's power alarm threshold:

0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x01 + 0x08 + 0xFC + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to set the 0x0001 register (power alarm threshold) to 0x08FC (2300W).

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

For example, the master sets the address of the slave

0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x02 + 0x00 + 0x05 + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to set the 0x0002 register (Modbus-RTU address) to 0x0005

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

2.5 Reset energy

The command format of the master to reset the slave's **energy** is (total 4 bytes):

Slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Correct reply: slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Error Reply: Slave address + 0xC2 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

2.6 Calibration

The command format of the master to calibrate the slave is (total 6 bytes):

0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Correct reply: 0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Error Reply: 0xF8 + 0xC1 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

It should be noted that the calibration takes 3 to 4 seconds, after the master sends the command, if the calibration is successful, it will take 3 ~ 4 seconds to receive the response from the slave.

2.7 CRC check

CRC check use 16bits format, occupy two bytes, the generator polynomial is $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$, the polynomial value used for calculation is 0xA001.

The value of the CRC check is a frame data divide all results of checking all the bytes except the CRC check value.

3 Functional block diagram

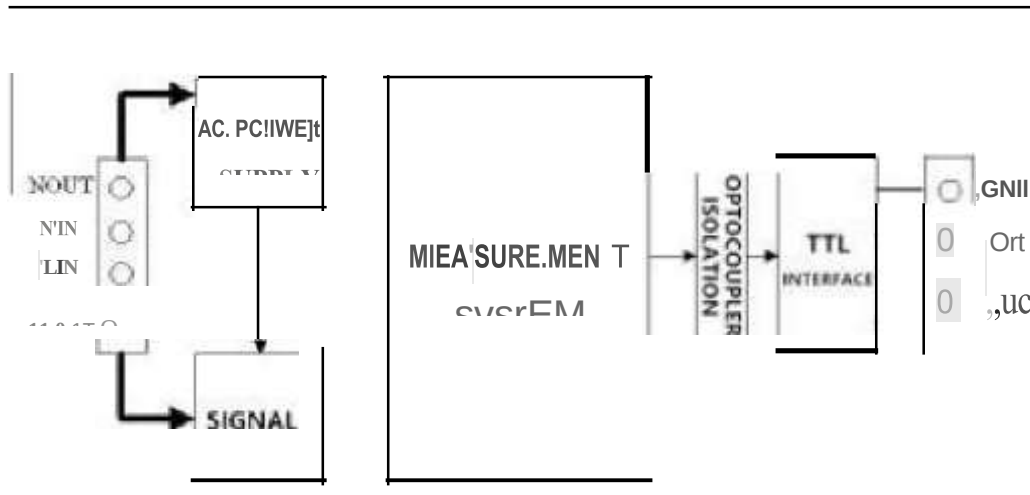


Figure 3: PZEM-004T-10A module wiring diagram

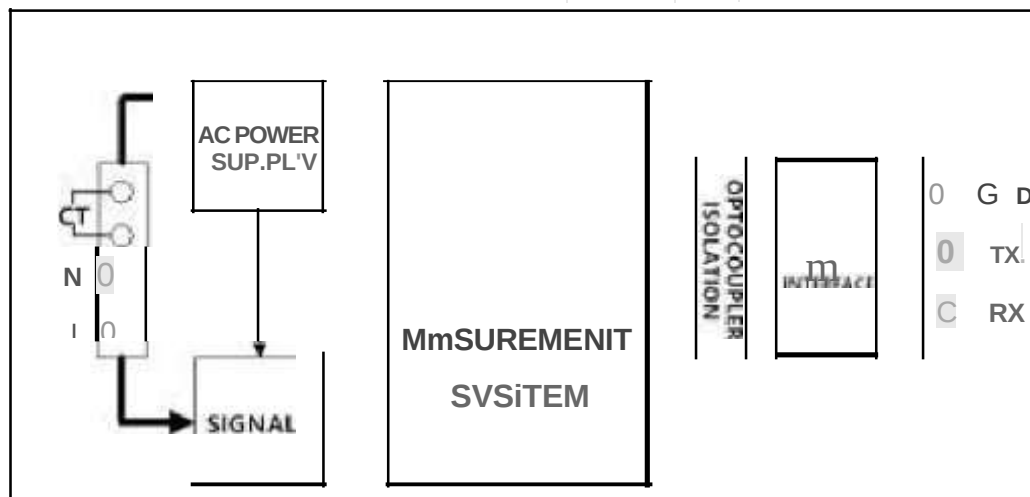


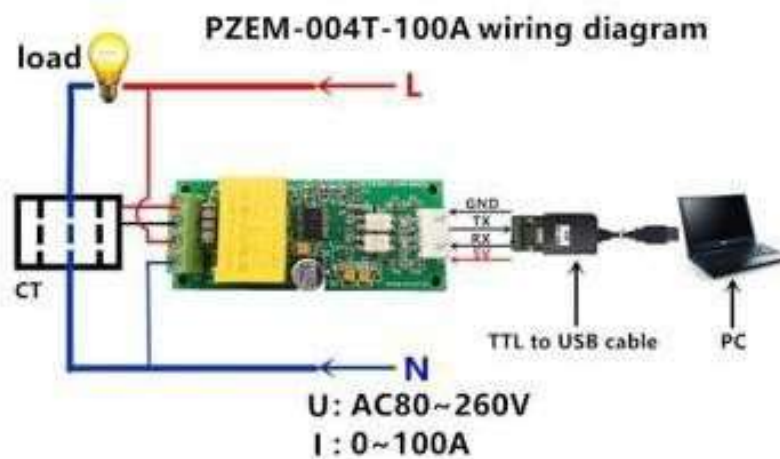
Figure 4: PZEM-004T-10A module wiring diagram

4. Wiring diagram

PZEM-004T-10A wiring diagram



Figure 4.1: PZEM-004T-10A module wiring diagram



5 Other instructions

5.1 The TTL interface of this module is a passive interface, it requires external 5V power supply, which means, when communicating, all four ports must be connected (5V, RX, TX, GND), otherwise it cannot communicate.

5.2 Working temperature

-20°C ~ +60°C.



More info about DOIT Esp32 DevKit v1 can be found [here](#).

Flash Layout

The internal flash of the ESP32 module is organized in a single flash area with pages of 4096 bytes each. The flash starts at address 0x00000, but many areas are reserved for Esp32 IDF SDK and Zerynth VM. There exist two different layouts based on the presence of BLE support.

In particular, for non-BLE VMs:

Start address	Size	Content
0x00009000	16Kb	Esp32 NVS area
0x0000D000	8Kb	Esp32 OTA data
0x0000F000	4Kb	Esp32 PHY data
0x00010000	1Mb	Zerynth VM
0x00110000	1Mb	Zerynth VM (FOTA)
0x00210000	512Kb	Zerynth Bytecode
0x00290000	512Kb	Zerynth Bytecode (FOTA)
0x00310000	512Kb	Free for user storage
0x00390000	448Kb	Reserved



DALLAS
SEMICONDUCTOR

www.dalsemi.com

PRELIMINARY

DS18B20

**Programmable Resolution
1-Wire[®] Digital Thermometer**

FEATURES

- Unique 1-Wire interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to +125°C. Fahrenheit equivalent is -67°F to +257°F
- $\pm 0.5^\circ\text{C}$ accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer resolution is programmable from 9 to 12 bits
- Converts 12-bit temperature to digital word in 750 ms (max.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

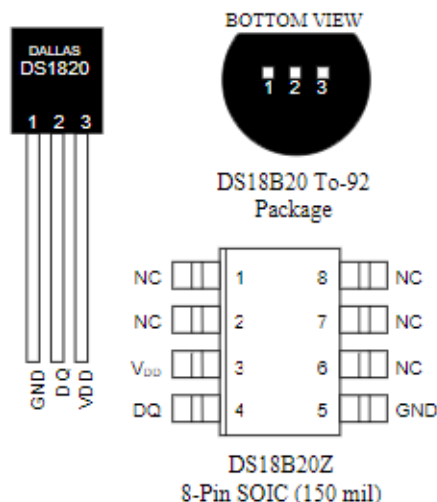
DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit (configurable) temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS18B20 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS18B20. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

Because each DS18B20 contains a unique silicon serial number, multiple DS18B20s can exist on the same 1-Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control.

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
 DQ - Data In/Out
 VDD - Power Supply Voltage
 NC - No Connect

Lampiran 4 Program integrasi sistem keseluruhan

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// ===== KONFIGURASI WIFI & TELEGRAM =====
const char* ssid = "bri";
const char* password = "00000000";
#define BOTtoken "8693713175:AAEA7Ssc8t6so0xKm4QkRURNfiDqDy3E7Xk"
#define CHAT_ID "8603775730"

WiFiClientSecure client;
UniversalTelegramBot bot(BOTtoken, client);

// ===== KONFIGURASI PIN =====
#define R_RX 32
#define R_TX 33
#define S_RX 25
#define S_TX 26
#define T_RX 27
#define T_TX 14

#define PIN_RELAY_UTAMA 18
#define PIN_FAN 19
#define ONE_WIRE_BUS 4
#define PIN_BUZZER 17

// ===== THRESHOLD PARAMETER =====
const float V_MIN = 198.0;
const float V_MAX = 230.0;
const float I_MAX = 2.5;
const float PF_MIN = 0.85;
const float T_MAX = 40.0;
const float F_MIN = 49.5;
const float F_MAX = 50.5;
const float UNBALANCE_MAX = 10.0;

// --- FILTER TEGANGAN DROP ---
const float GHOST_V_FILTER = 10.0;
```

```

// ===== INISIALISASI OBJEK =====
PZEM004Tv30 pzemR(Serial2, R_RX, R_TX);
PZEM004Tv30 pzemS(Serial1, S_RX, S_TX);
PZEM004Tv30 pzemT(Serial1, T_RX, T_TX);

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

unsigned long timerDisplay = 0;
unsigned long timerTelegramUlang = 0;
unsigned long timerTelegramPF = 0;
unsigned long timerTelegramUnb = 0;
unsigned long timerTelegramOverI = 0; // [DITAMBAHKAN] Timer untuk
alarm arus berlebih
unsigned long timerResetLCD = 0;
unsigned long timerBuzzerLock = 0;
const unsigned long DURASI_BUZZER_ON = 3000;

unsigned long timerTelegramRutinAman = 0;
int halaman = 1;

bool lastStatusListrik = false;
bool lastStatusSuhu = false;
bool lastStatusPF = false;
bool lastStatusUnb = false;
bool lastStatusOverI = false; // [DITAMBAHKAN] Status
riwayat arus berlebih

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    sensors.begin();

    pinMode(PIN_RELAY_UTAMA, OUTPUT);
    pinMode(PIN_FAN, OUTPUT);
    pinMode(PIN_BUZZER, OUTPUT);

    digitalWrite(PIN_RELAY_UTAMA, HIGH);
    digitalWrite(PIN_FAN, HIGH);
    digitalWrite(PIN_BUZZER, LOW);

    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("CONNECTING WIFI...");

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.setTxPower(WIFI_POWER_8_5dBm);

```

```

WiFi.begin(ssid, password);
client.setInsecure();

int counter = 0;
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && counter < 20) {
    delay(500);
    counter++;
}

lcd.clear();
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    lcd.print("WIFI ONLINE");
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "🛡️ *Sistem Proteksi Panel Aktif!*",
"Markdown");
} else {
    lcd.print("WIFI OFFLINE");
}
delay(2000);
}

void loop() {
    // --- BACA SENSOR SUHU ---
    sensors.requestTemperatures();
    float suhuC = sensors.getTempCByIndex(0);

    // --- BACA SENSOR FASA R ---
    float vR = pzemR.voltage();
    float iR = (vR > GHOST_V_FILTER) ? pzemR.current() : 0;
    float pR = (vR > GHOST_V_FILTER) ? pzemR.power() : 0;
    float fR = (vR > GHOST_V_FILTER) ? pzemR.frequency() : 0;
    float pfR = (vR > GHOST_V_FILTER) ? pzemR.pf() * 0.84375 : 0;

    // --- BACA SENSOR FASA S ---
    Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, S_RX, S_TX); delay(100);
    float vS = pzemS.voltage();
    float iS = (vS > GHOST_V_FILTER) ? pzemS.current() : 0;
    float pS = (vS > GHOST_V_FILTER) ? pzemS.power() : 0;
    float fS = (vS > GHOST_V_FILTER) ? pzemS.frequency() : 0;
    float pfS = (vS > GHOST_V_FILTER) ? pzemS.pf() * 0.8375 : 0;
    Serial1.end();

    // --- BACA SENSOR FASA T ---
    Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, T_RX, T_TX); delay(100);
    float vT = pzemT.voltage();
    float iT = (vT > GHOST_V_FILTER) ? pzemT.current() : 0;
    float pT = (vT > GHOST_V_FILTER) ? pzemT.power() : 0;

```

```

float fT = (vT > GHOST_V_FILTER) ? pzemT.frequency() : 0;
float pfT = (vT > GHOST_V_FILTER) ? pzemT.pf() * 0.7588 : 0;
Serial1.end();

// --- HITUNG DAYA TOTAL ---
float pTotal = pR + pS + pT;

// --- LOGIKA EVALUASI GANGGUAN DETIL ---
bool rOverI = (iR > I_MAX);
bool sOverI = (iS > I_MAX);
bool tOverI = (iT > I_MAX);
bool gngOverI = rOverI || sOverI || tOverI; // [DITAMBAHKAN]
Logika evaluasi arus berlebih

bool gngR = isnan(vR) || (vR < V_MIN) || (vR > V_MAX) || rOverI ||
(fr < F_MIN) || (fr > F_MAX);
bool gngS = isnan(vS) || (vS < V_MIN) || (vS > V_MAX) || sOverI ||
(fs < F_MIN) || (fs > F_MAX);
bool gngT = isnan(vT) || (vT < V_MIN) || (vT > V_MAX) || tOverI ||
(ft < F_MIN) || (ft > F_MAX);

bool gngListrik = gngR || gngS || gngT;
bool gngSuhu = (suhuC > T_MAX && suhuC != -127.0);

// --- LOGIKA EVALUASI PF DROPPING SPESIFIK ---
bool rLowPF = (pfR < PF_MIN && pR > 3.0);
bool sLowPF = (pfS < PF_MIN && pS > 3.0);
bool tLowPF = (pfT < PF_MIN && pT > 3.0);
bool gngPF = rLowPF || sLowPF || tLowPF;

// --- LOGIKA HITUNG KETIDAKSEIMBANGAN ARUS (UNBALANCE) ---
float iAvg = (iR + iS + iT) / 3.0;
bool gngUnbalance = false;
float persenUnbalance = 0.0;
String fasaUnbalanceDominan = "";

if (iAvg > 0.01) {
    float devR = abs(iR - iAvg);
    float devS = abs(iS - iAvg);
    float devT = abs(iT - iAvg);

    float maxDev = devR;
    fasaUnbalanceDominan = "R";
    if (devS > maxDev) { maxDev = devS; fasaUnbalanceDominan = "S";
}
    if (devT > maxDev) { maxDev = devT; fasaUnbalanceDominan = "T";
}
}

```

```

persenUnbalance = (maxDev / iAvg) * 100.0;

if (persenUnbalance > UNBALANCE_MAX) {
    gngUnbalance = true;
}
}

// --- KENDALI OUTPUT (RELAY UTAMA & KIPAS) ---
digitalWrite(PIN_FAN, gngSuhu ? LOW : HIGH);
digitalWrite(PIN_RELAY_UTAMA, (gngListrik || gngSuhu) ? LOW :
HIGH);

// --- KENDALI BUZZER (DENGAN LOCK TIMER) ---
if (gngListrik || gngSuhu || gngPF || gngUnbalance) {
    timerBuzzerLock = millis();
}

if (gngListrik || gngSuhu || gngPF || gngUnbalance || (millis() -
timerBuzzerLock < DURASI_BUZZER_ON && timerBuzzerLock > 0)) {
    digitalWrite(PIN_BUZZER, HIGH);
} else {
    digitalWrite(PIN_BUZZER, LOW);
}

//
=====
===
// --- REVISI: SISTEM NOTIFIKASI TELEGRAM DENGAN STRING DINAMIS --
-
//
=====
===

String judulListrik = "⚠️ *ALARM BAHAYA TERDETEKSI!*";
String judulPeningatListrik = "🔔 *PENGINGAT: GANGGUAN MASIH
ADA*";

// Cek spesifik Undervoltage untuk modifikasi judul
bool rUV = (vR < V_MIN && vR > GHOST_V_FILTER);
bool sUV = (vS < V_MIN && vS > GHOST_V_FILTER);
bool tUV = (vT < V_MIN && vT > GHOST_V_FILTER);

if (rUV || sUV || tUV) {
    String fasaUV = "";
    if (rUV) fasaUV += "R,";
    if (sUV) fasaUV += "S,";

```

```

        if (tUV) fasaUV += "T,";

        if (fasaUV != "") {
            fasaUV.remove(fasaUV.length() - 1); // Hilangkan koma
            terakhir

            // Logika khusus penggunaan kata "dan" jika tepat 2 fasa
            if (fasaUV == "R,S") fasaUV = "R dan S";
            else if (fasaUV == "R,T") fasaUV = "R dan T";
            else if (fasaUV == "S,T") fasaUV = "S dan T";

            judulListrik = "⚠️ *ALARM: Fasa " + fasaUV + "
Undervoltage!*";
            judulPeningatListrik = "🔔 *PENGINGAT: Fasa " + fasaUV +
" Undervoltage!*";
        }
    }

    if ((gngListrik || gngSuhu) && (lastStatusListrik == false &&
lastStatusSuhu == false)) {
        sendSpesifikTelegramReport(judulListrik, suhuC, vR, vS, vT,
iR, iS, iT, pR, pS, pT, fR, fS, fT, pfR, pfS, pfT, persenUnbalance,
gngR, gngS, gngT, rOverI, sOverI, tOverI, pTotal);
        timerTelegramUlang = millis();
        recoveryLCD();
    }
    else if (gngListrik || gngSuhu) {
        if (millis() - timerTelegramUlang > 10000) {
            sendSpesifikTelegramReport(judulPeningatListrik, suhuC,
vR, vS, vT, iR, iS, iT, pR, pS, pT, fR, fS, fT, pfR, pfS, pfT,
persenUnbalance, gngR, gngS, gngT, rOverI, sOverI, tOverI, pTotal);
            timerTelegramUlang = millis();
        }
    }

    // --- [BARU] LIVE REPORT RUTIN 1 MENIT SEKALI (SAAT KONDISI AMAN
/ NORMAL) ---
    if (!(gngListrik || gngSuhu || gngPF || gngUnbalance)) {
        if (millis() - timerTelegramRutinAman >= 60000) {
            sendSpesifikTelegramReport("📊 *LAPORAN BERKALA:
MONITORING PANEL AMAN*", suhuC, vR, vS, vT, iR, iS, iT, pR, pS, pT,
fR, fS, fT, pfR, pfS, pfT, persenUnbalance, gngR, gngS, gngT,
rOverI, sOverI, tOverI, pTotal);
            timerTelegramRutinAman = millis();
        }
    }
    else {
        timerTelegramRutinAman = millis();
    }

```

```

}

//
=====
===
// --- REVISI: NOTIFIKASI TELEGRAM KHUSUS POWER FACTOR ---
//
=====
===
    if (gngPF) {
        String fasaPF = "";
        if (rLowPF) fasaPF += "R,";
        if (sLowPF) fasaPF += "S,";
        if (tLowPF) fasaPF += "T,";

        if (fasaPF != "") {
            fasaPF.remove(fasaPF.length() - 1); // Hilangkan koma
            terakhir
        }

        String judulPF = "🚨 *ALARM: Low PF Lagging (" + fasaPF +
            ")*";
        String judulPeningatPF = "🔔 *PENGINGAT: Low PF Lagging (" +
            fasaPF + ")*";

        if (lastStatusPF == false) {
            sendSpesifikPFReport(judulPF, pfR, pfS, pfT, rLowPF,
            sLowPF, tLowPF);
            timerTelegramPF = millis();
        }
        else if (millis() - timerTelegramPF > 10000) {
            sendSpesifikPFReport(judulPeningatPF, pfR, pfS, pfT,
            rLowPF, sLowPF, tLowPF);
            timerTelegramPF = millis();
        }
    }

    // --- [DITAMBAHKAN] NOTIFIKASI TELEGRAM KHUSUS UNBALANCE
    (DIMODIFIKASI DINAMIS) ---
    if (gngUnbalance && lastStatusUnb == false) {
        String msgUnb = "🚨 *ALARM: BEBAN TIDAK SEIMBANG (PUIL
        2011)!*\n\n";
        msgUnb += "🌀 *FASA BERMASALAH: Fasa " + fasaUnbalanceDominan
        + ")*\n\n";
        msgUnb += "Penyimpangan arus terbesar ada di Fasa " +
        fasaUnbalanceDominan + " yang mencapai *" + String(persenUnbalance,

```

```

1) + "%* melebihi batas PUIL (" + String(UNBALANCE_MAX, 0) +
"%).\n\n";
    msgUnb += "🔧 *Detail Arus Real-Time:*\n";
    msgUnb += " | Fasa R: " + String(iR, 2) + " A\n";
    msgUnb += " | Fasa S: " + String(iS, 2) + " A\n";
    msgUnb += " | Fasa T: " + String(iT, 2) + " A\n";
    msgUnb += "Rata-rata Arus: " + String(iAvg, 2) + " A";
    bot.sendMessage(CHAT_ID, msgUnb, "Markdown");
    timerTelegramUnb = millis();
}

// --- [DITAMBAHKAN] NOTIFIKASI TELEGRAM KHUSUS ARUS BERLEBIH
(OVERCURRENT) DINAMIS ---
    if (gngOverI && lastStatusOverI == false) {
        sendSpesifikOverIReport("⚡ *ALARM: ARUS BERLEBIH
(OVERCURRENT)!*", iR, iS, iT, rOverI, sOverI, tOverI);
        timerTelegramOverI = millis();
    }
    else if (gngOverI) {
        if (millis() - timerTelegramOverI > 10000) {
            sendSpesifikOverIReport("🔔 *PENGINGAT: ARUS MASIH
BERLEBIH!*", iR, iS, iT, rOverI, sOverI, tOverI);
            timerTelegramOverI = millis();
        }
    }
}

// --- LOG RECOVERY ---
    if (!(gngListrik || gngSuhu) && (lastStatusListrik == true ||
lastStatusSuhu == true)) {
        sendSpesifikTelegramReport("✅ *KONDISI KEMBALI NORMAL*\nSemua
fasa dan suhu sudah aman.", suhuC, vR, vS, vT, iR, iS, iT, pR, pS,
pT, fR, fS, fT, pfR, pfS, pfT, persenUnbalance, false, false, false,
false, false, false, pTotal);
        recoveryLCD();
    }

    if (!gngPF && lastStatusPF == true) {
        bot.sendMessage(CHAT_ID, "✅ *POWER FACTOR NORMAL*\nNilai PF
seluruh fasa sudah kembali di atas 0.85.", "Markdown");
    }

    if (!gngUnbalance && lastStatusUnb == true) {
        bot.sendMessage(CHAT_ID, "✅ *BEBAN KEMBALI
SEIMBANG*\nPersentase unbalance arus sudah kembali di bawah 10%.",
"Markdown");
    }
}

```

```

// --- [DITAMBAHKAN] LOG RECOVERY ARUS BERLEBIH ---
if (!gngOverI && lastStatusOverI == true) {
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "✅ *KONDISI ARUS NORMAL*\nArus pada
semua fasa sudah kembali di bawah batas maksimum (" + String(I_MAX,
1) + " A).", "Markdown");
}

lastStatusListrik = gngListrik;
lastStatusSuhu = gngSuhu;
lastStatusPF = gngPF;
lastStatusUnb = gngUnbalance;
lastStatusOverI = gngOverI; // [DITAMBAHKAN] Update status arus
berlebih

// --- AUTO-RECOVERY SISTEM INTEGRITAS LAYAR LCD ---
if (millis() - timerResetLCD > 12000) {
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
    timerResetLCD = millis();
}

if (millis() - timerDisplay > 4000) {
    halaman++;
    if (halaman > 4) halaman = 1;
    timerDisplay = millis();
    lcd.clear();
}

renderLCD(halaman, gngListrik, gngSuhu, gngUnbalance, vR, vS, vT,
iR, iS, iT, pR, pS, pT, suhuC, fR, pFR, fS, pFS, fT, pFT,
persenUnbalance);
}

void recoveryLCD() {
    delay(150);
    lcd.clear();
    timerDisplay = millis() - 5000;
}

// ===== FUNGSI NOTIFIKASI TELEGRAM DETIL
=====
void sendSpesifikTelegramReport(String judul, float suhu, float vr,
float vs, float vt, float ir, float is, float it, float pr, float
ps, float pt, float fr, float fs, float ft, float pfr, float pfs,
float pft, float unb, bool gR, bool gS, bool gT, bool rI, bool sI,
bool tI, float pTotal) {
    String msg = judul + "\n\n";

```

```

msg += "🔌 *STATUS GANGGUAN PANEL:*\\n";
msg += (pTotal >= 10000.0) ? "💎 *Watt Total Overload*\\n" : "💎
*Watt Total Aman*\\n";
msg += (gR) ? "🟡 *FASA R: GANGGUAN*\\n" : "🟢 FASA R: Normal\\n";
msg += (gS) ? "🟡 *FASA S: GANGGUAN*\\n" : "🟢 FASA S: Normal\\n";
msg += (gT) ? "🟡 *FASA T: GANGGUAN*\\n" : "🟢 FASA T: Normal\\n";
msg += (suhu > T_MAX && suhu != -127.0) ? "🔥 *Suhu Panel
Overheat*\\n" : "💎 *Suhu Panel Normal*\\n";

msg += "\\n📊 *DATA PENGUKURAN REAL-TIME:*";

msg += "\\n\\n🟡 *FASA R:*";
msg += "\\n | Tegangan : " + String(vr, 1) + " V";
msg += "\\n | Arus      : " + String(ir, 2) + " A";
msg += "\\n | Daya Aktif: " + String(pr, 1) + " W";
msg += "\\n | Frekuensi : " + String(fr, 1) + " Hz";
msg += "\\n | Pow.Factor: " + String(pfr, 2);

msg += "\\n\\n🟢 *FASA S:*";
msg += "\\n | Tegangan : " + String(vs, 1) + " V";
msg += "\\n | Arus      : " + String(is, 2) + " A";
msg += "\\n | Daya Aktif: " + String(ps, 1) + " W";
msg += "\\n | Frekuensi : " + String(fs, 1) + " Hz";
msg += "\\n | Pow.Factor: " + String(pfs, 2);

msg += "\\n\\n🟢 *FASA T:*";
msg += "\\n | Tegangan : " + String(vt, 1) + " V";
msg += "\\n | Arus      : " + String(it, 2) + " A";
msg += "\\n | Daya Aktif: " + String(pt, 1) + " W";
msg += "\\n | Frekuensi : " + String(ft, 1) + " Hz";
msg += "\\n | Pow.Factor: " + String(pft, 2);

msg += "\\n\\n🌐 *PARAMETER GLOBAL & KONDISI PANEL:*";
msg += "\\n | 📊 TOTAL DAYA : " + String(pTotal, 1) + " Watt";
msg += "\\n | ⚖️ UNBALANCE : " + String(unb, 1) + " %";
msg += "\\n | 🌡️ SUHU PANEL : " + String(suhu, 1) + " °C";

bot.sendMessage(CHAT_ID, msg, "Markdown");
}

// ===== FUNGSI NOTIFIKASI TELEGRAM KHUSUS POWER FACTOR
=====
void sendSpesifikPFReport(String judul, float pfR, float pfS, float
pfT, bool rLow, bool sLow, bool tLow) {
    // REVISI: Kalimat statis lama dihapus agar judul dinamis dari
    void loop (seperti "Low PF Lagging (R)") menjadi sorotan utama

```

```

String msg = judul + "\n\n";
msg += "📊 *DETAIL POWER FACTOR FASA:* \n";

if (rLow) {
    msg += "🔴 *FASA R:* PF RENDAH (" + String(pfR, 2) + ") \n";
} else {
    msg += "🟢 FASA R: NORMAL (" + String(pfR, 2) + ") \n";
}

if (sLow) {
    msg += "🔴 *FASA S:* PF RENDAH (" + String(pfS, 2) + ") \n";
} else {
    msg += "🟢 FASA S: NORMAL (" + String(pfS, 2) + ") \n";
}

if (tLow) {
    msg += "🔴 *FASA T:* PF RENDAH (" + String(pfT, 2) + ") \n";
} else {
    msg += "🟢 FASA T: NORMAL (" + String(pfT, 2) + ") \n";
}

bot.sendMessage(CHAT_ID, msg, "Markdown");
}

// ===== [DITAMBAHKAN] FUNGSI NOTIFIKASI TELEGRAM KHUSUS
// ARUS BERLEBIH =====
void sendSpesifikOverIReport(String judul, float ir, float is, float
it, bool rOver, bool sOver, bool tOver) {
    String msg = judul + "\n\n";
    msg += "Terdeteksi arus melebihi batas maksimal (" + String(I_MAX,
1) + " A)! \n\n";
    msg += "⚠️ *DETAIL FASA BERMASALAH:* \n";

    if (rOver) msg += "🔴 *FASA R:* OVERLOAD (" + String(ir, 2) + "
A) \n";
    else msg += "🟢 FASA R: Aman (" + String(ir, 2) + " A) \n";

    if (sOver) msg += "🔴 *FASA S:* OVERLOAD (" + String(is, 2) + "
A) \n";
    else msg += "🟢 FASA S: Aman (" + String(is, 2) + " A) \n";

    if (tOver) msg += "🔴 *FASA T:* OVERLOAD (" + String(it, 2) + "
A) \n";
    else msg += "🟢 FASA T: Aman (" + String(it, 2) + " A) \n";

    bot.sendMessage(CHAT_ID, msg, "Markdown");
}

```

```

void renderLCD(int hal, bool gL, bool gS, bool gU, float vR, float
vS, float vT, float iR, float iS, float iT, float pR, float pS,
float pT, float suhu, float fR, float pfR, float fS, float pfS,
float fT, float pfT, float unb) {
    if (hal == 1) {
        lcd.setCursor(0,0); lcd.print(gL ? "! VOLT/AMP ALARM !" : "---
VOLT & AMP ---");
        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("R:"); lcd.print(vR,0);
        lcd.print("V "); lcd.print(iR,1); lcd.print("A");
        lcd.setCursor(0,2); lcd.print("S:"); lcd.print(vS,0);
        lcd.print("V "); lcd.print(iS,1); lcd.print("A");
        lcd.setCursor(0,3); lcd.print("T:"); lcd.print(vT,0);
        lcd.print("V "); lcd.print(iT,1); lcd.print("A");
    } else if (hal == 2) {
        lcd.setCursor(0,0); lcd.print("--- DAYA & SUHU ---");
        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("WATT TOT: ");
        lcd.print(pR+pS+pT,0); lcd.print(" W");
        lcd.setCursor(0,2); lcd.print("SUHU PAN: "); lcd.print(suhu,1);
        lcd.print(" C");
        lcd.setCursor(0,3); lcd.print(gS ? "STATUS: OVERHEAT!" :
"STATUS: SUHU AMAN");
    } else if (hal == 3) {
        lcd.setCursor(0,0); lcd.print( (pfR < PF_MIN || pfS < PF_MIN ||
pfT < PF_MIN) ? "! PF LOW ALARM !" : "-- FREQ & PF --");
        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("R:"); lcd.print(fR,1);
        lcd.print("Hz PF:"); lcd.print(pfR,3);
        lcd.setCursor(0,2); lcd.print("S:"); lcd.print(fS,1);
        lcd.print("Hz PF:"); lcd.print(pfS,3);
        lcd.setCursor(0,3); lcd.print("T:"); lcd.print(fT,1);
        lcd.print("Hz PF:"); lcd.print(pfT,3);
    } else {
        lcd.setCursor(0,0); lcd.print(gU ? "! UNBALANCE ALARM !" : "--
BEBAN 3 FASA --");
        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("UNBALANCE: "); lcd.print(unb, 1);
        lcd.print("%");
        lcd.setCursor(0,2); lcd.print("MAX LIMIT: ");
        lcd.print(UNBALANCE_MAX, 0); lcd.print("%");
        lcd.setCursor(0,3); lcd.print(gU ? "STATUS: TIDAK STABIL" :
"STATUS: SEIMBANG");
    }
}
}

```


BIODATA PENULIS



Nama Lengkap	: Febrian Kuncoro Putro
NRP	: 042
Progam Studi	: D3 Teknik Kelistrikan Kapal
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Agama	: Islam
Tempat, Tanggal Lahir	: Purworejo, 1 Februari 2005
Alamat	: Desa Condongsari, Kec. Banyuurip, Kab. Purworejo, Jawa Tengah
No. Telp/Hp	: 082325602678
Email	: kuncorofebri520@gmail.com
Nama Orang Tua/Wali	
Ayah	: Sutrisno
Ibu	: Sri Badriyah
Alamat Orang Tua/Wali	: Desa Condongsari, Kec. Banyuurip, Kab. Purworejo, Jawa Tengah