



TUGAS AKHIR – LI1956404

**Perancangan Panel Proteksi dan Monitoring
Multi Channel Pada Sistem Distribusi Daya 220V
Berbasis Mikrokontroler**

Oleh:

Iben Fauzantaro

NRP. 33112301025

Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T. Pembimbing I

Dr. Kukuh Widarsono, M.T. Pembimbing II

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI MADURA

SAMPANG

2026



TUGAS AKHIR – LI1956404

**Perancangan Panel Proteksi dan Monitoring
Multi Channel Pada Sistem Distribusi Daya 220V
Berbasis Mikrokontroler**

Oleh:

Iben Fauzantaro

NRP. 33112301025

Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T. Pembimbing I

Dr. Kukuh Widarsono, M.T. Pembimbing II

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LSITRIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI MADURA
SAMPANG
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mahasiswa Politeknik Negeri Madura, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi:

Nama : Iben Fauzantaro
NRP : 33112301025
Program Studi : D3 Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dengan judul “Perancangan Panel Proteksi dan Monitoring *Multi Channel* Pada Sistem Distribusi Daya 220V Berbasis Mikrokontroler”

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali

pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.

- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang di atas, maka Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Sampang, 1 Juli 2026



Iben Fauzantaro
NRP. 33112301025

LEMBAR PENGESAHAN

Perancangan Panel Proteksi dan Monitoring *Multi Channel* Pada Sistem Distribusi Daya 220V Berbasis Mikrokontroler

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya Teknik (A.Md.T.)

Pada,
Jurusan Teknologi Elektro
Politeknik Negeri Madura

Oleh:
Iben Fauzantaro
NRP. 33112301025

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada rabu, 5 Agustus 2026
dan telah sesuai dengan ketentuan.

Disetujui Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T. (Pembimbing I)
2. Dr. Kukuh Widarsono, M.T. (Pembimbing II)
3. Norma Mahmudah, S.T., M.T. (Penguji I)
4. Moch. Nur Adiwana, M.T. (Penguji II)
5. M. Shohibul Hajah, S.T., M.T. (Penguji III)

Sampang
5 Agustus 2026

LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Perancangan Panel Proteksi dan Monitoring *Multi-Channel* Pada Sistem Distribusi Daya 220V 10A Berbasis Mikrokontroler
Penulis : Iben Fauzantaro
NRP : 33112301025
Program Studi : DIII Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk disidangkan.
Ditandatangani di Gedung A, Politeknik Negeri Madura.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing II



Dr. Kukuh Widarsono, M. T.
NIP. 198502232014041001

Dosen Pembimbing I



Ir. Akhmad Arif Kurnianto, S.ST., M.T
NIP. 198403152021211002

27/28
7

Koordinator Program Studi
Teknik Listrik Industri



Bayu Praharsana, S.ST., M.T.
NIP. 199405312019031009

Ketua Jurusan
Teknologi Elektro



Mohammad Nur, S.Si., M.T.
NIP. 198605082019031007



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

ABSTRAK



POLTERA



**PERANCANGAN PANEL PROTEKSI DAN
MONITORING *MULTI CHANNEL* PADA SISTEM
DISTRIBUSI DAYA 220V BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Nama : Iben Fauzantaro

NRP : 33112301025

Dosen Pembimbing 1 : Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T.

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Kukuh Widarsono, M.T.

ABSTRAK

Listrik merupakan kebutuhan mendasar yang menopang hampir seluruh aktivitas manusia, baik di rumah tangga, perkantoran, maupun industri kecil. Namun, sistem distribusi daya 220V yang banyak digunakan masih memiliki kelemahan, terutama terhadap gangguan arus lebih. Kondisi ini menegaskan perlunya sistem proteksi yang andal sekaligus monitoring *real-time* agar keamanan dan keandalan pasokan listrik tetap terjaga. Penelitian ini bertujuan merancang sebuah panel proteksi dan monitoring *multi-channel* berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560. Sistem ini mengintegrasikan sensor arus ACS712 pada tiap saluran,

modul PZEM-004T untuk pengukuran tegangan dan frekuensi, serta *relay* 8 *channel* (7 digunakan) sebagai aktuator proteksi. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler untuk membaca data sensor, serta pengujian sistem dengan beban nyata. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui OLED I2C, sehingga kondisi tiap saluran dapat dipantau secara langsung. Hasil yang diperoleh yakni alat mampu untuk mendeteksi arus lebih secara akurat, memutus beban melalui *relay*, dan menampilkan parameter listrik secara *real-time*. Dengan demikian, panel proteksi dan monitoring ini tidak hanya meningkatkan keselamatan pengguna, tetapi juga memberikan solusi praktis dan ekonomis untuk distribusi daya skala rumah tangga maupun industri kecil.

Kata Kunci: Panel Proteksi, Monitoring, Arduino Mega 2560, ACS712, Relay



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

ABSTRACT



**PERANCANGAN PANEL PROTEKSI DAN
MONITORING *MULTI CHANNEL* PADA SISTEM
DISTRIBUSI DAYA 220V BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Nama : Iben Fauzantaro

NRP : 33112301025

Dosen Pembimbing 1 : Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T.

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Kukuh Widarsono, M.T.

ABSTRACT

Electricity is a basic requirement that supports almost all human activities, either at home, in offices, or in small industries. However, the commonly used 220V power distribution system with a current capacity of up to 10A still has weaknesses, especially against overcurrent and short circuit disturbances. This condition confirms the need for a reliable protection system as well as real-time monitoring to maintain the safety and reliability of the electricity supply. This research aims to design a multi-channel protection and monitoring panel based on the Arduino Mega 2560 microcontroller. This system integrates ACS712 current

sensors on each channel, a PZEM-004T module for voltage and frequency measurement, and an 8-channel relay (7 used) as a protection actuator. The research methods include hardware design, microcontroller programming to read sensor data, and system testing with real loads. The measurement data is displayed via I2C OLED, so that the condition of each channel can be monitored directly. The results are that the device is capable of accurately detecting overcurrent, disconnecting the load via a relay, and displaying electrical parameters in real time. This means that this protection and monitoring panel not only improves user safety, but also provides a practical and economical solution for household and small industrial power distribution.

Keywords: Protection Panel, Monitoring, Arduino Mega 2560, ACS712, Relay



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

KATA PENGANTAR



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa yang telah memberi kekuatan, kemampuan, dan kesabaran kepada peneliti, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perancangan Panel Proteksi dan Monitoring *Multi-channel* pada Sistem Distribusi Daya 220V Berbasis Mikrokontroler”. Tujuan penulisan tugas akhir adalah memenuhi salah satu persyaratan bagi mahasiswa untuk dapat menyelesaikan pendidikan Diploma-3 Program Studi Teknik Listrik Industri jurusan Teknologi Elektro di Politeknik Negeri Madura.

Laporan TA ini tidak akan selesai dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, dan dorongan dari orang-orang yang berada di sekitar penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Kedua orang tua yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan kepada peneliti.
2. Ibu Laily Ulfiyah, S.T., MT., Direktur Politeknik Negeri Madura .
3. Bapak M. Musta'in, S.T., MT., Wakil Direktur Bidang Akademik.

4. Bapak Mohammad Nur, S.Si., M.T., Ketua Jurusan Teknologi Elektro
5. Bapak Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc., Sekretaris Jurusan Teknologi Elektro
6. Bapak Bayu Praharsena, S.ST., M.T, Koordinator Program Studi D3 Teknik Listrik Industri
7. Bapak Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T., Pembimbing I
8. Bapak Dr. Kuku Widarsono, M.T., Pembimbing II
9. Saudara-saudara peneliti yang selalu memberikan dorongan dan dukungan kepada peneliti.
10. Teman-teman elektro angkatan 12 (VIKING) yang telah menemani masa masa perkuliahan peneliti.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk tugas akhir ini.

Sampang, 1 Juli 2026,

Iben Fauzantaro
NRP. 33112301025



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

DAFTAR ISI



DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG.....	iv
PROPOSAL TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR SIGKATAN DAN LAMBANG.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4

1.4	Tujuan	5
1.5	Manfaat	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA		7
2.1	Penelitian Sebelumnya	7
2.2	Landasan Teori	10
2.2.1.	Sistem Distribusi Daya	10
2.2.2.	Sistem Proteksi Listrik	11
2.2.3.	Sistem Monitoring	13
2.2.4.	Mikrokontroler	14
2.2.5.	Sensor	15
2.2.6.	Panel Proteksi dan Monitoring	17
2.2.7.	Hukum Ohm	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		20
3.1	Tahapan Penelitian	20
3.2	Diagram Alir Sistem Kerja Alat	23
3.3	Diagram Blok Sistem	24
3.4	Desain Alat	27
3.5	Spesifikasi Alat dan Bahan	29

3.6	Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Pengujian Sensor ACS712	32
4.2	Pengujian Sensor PZEM-004T.....	36
4.3	Pengujian <i>Pushbutton</i>	39
4.4	Pengujian Relay & LED.....	41
4.5	Pengujian OLED	42
4.6	Pengujian Proteksi.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		54
BIODATA PENULIS		58



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



DAFTAR TABEL



POLTERA



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Pengambilan Data	27
Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat dan Bahan	29
Tabel 4. 1 Tabel Pengujian ACS712	33
Tabel 4. 2 Tabel Pengujian Arus Sensor PZEM-004T	37
Tabel 4. 3 Tabel Pengujian Tegangan Sensor PZEM-004T	38
Tabel 4. 4 Tabel Pengujian Pushbutton	40
Tabel 4. 5 Tabel Pengujian Relay & LED	41
Tabel 4. 6 Tabel Pengujian OLED	43
Tabel 4. 7 Tabel Pengujian Proteksi	45



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

DAFTAR GAMBAR



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik	11
Gambar 2. 2 Fuse	12
Gambar 2. 3 Miniature Circuit Breaker (MCB)	12
Gambar 2. 4 Modul Relay 1 Channel.....	13
Gambar 2. 5 Rangkaian Sistem Monitoring Arus	14
Gambar 2. 6 Arduino Mega 2560	15
Gambar 2. 7 Modul Sensor Arus ACS712	16
Gambar 2. 8 Modul Sensor PZEM-004T	17
Gambar 2. 9 Panel LVMDP	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 3. 3 Diagram Alir Sistem Kerja Alat	23
Gambar 3. 4 Diagram Blok Sistem	25
Gambar 3. 5 Schematic PCB.....	27
Gambar 3. 6 Desain 3D	28
Gambar 3. 7 Desain 2D	29
Gambar 4. 1 Hasil Perakitan Alat.....	31



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG



DAFTAR SIGKATAN DAN LAMBANG

V	: <i>Volt</i>
A	: <i>Ampere</i>
PLN	: <i>Perusahaan Listrik Negara</i>
MCB	: <i>Miniatur Circuit Breaker</i>
DG	: <i>Distributed Generation</i>
ms	: <i>Mili Second</i>
OCR	: <i>Over Current Relay</i>
SSR	: <i>Solid-state Relay</i>
IDMT	: <i>Inverse Definite Minimum Time</i>
TMS	: <i>Time Multiplier Setting</i>
IC	: <i>Integrated Circuit</i>
AC	: <i>Alternating Current</i>
DC	: <i>Direct Current</i>
MCCB	: <i>Molded Case Circuit Breaker</i>
LCD	: <i>Liquid Crystal Display</i>
OLED	: <i>Organic Light-Emitting Diode</i>
LED	: <i>Light Emitting Diode</i>
ADC	: <i>Analog to Digital Converter</i>



DAFTAR LAMPIRAN



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Tugas Akhir	54
Lampiran 2 QR Code Dokumentasi Video Tugas Akhir	57



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan bagian penting yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan modern. Hampir seluruh aktivitas, baik di rumah, kantor, maupun industri kecil, bergantung pada pasokan listrik yang stabil. Di Indonesia sendiri, sistem distribusi tegangan rendah 220V menjadi standar yang paling umum digunakan. Tegangan ini dianggap cukup aman untuk kebutuhan rumah tangga dan usaha kecil, sekaligus mampu menyuplai daya yang memadai bagi berbagai perangkat elektronik. Namun, jaringan satu fasa dengan kapasitas tersebut tetap memiliki kerentanan, terutama terhadap gangguan seperti arus berlebih (*overcurrent*) dan hubung singkat (*short circuit*)[1]. Data PLN menunjukkan bahwa rata-rata frekuensi gangguan listrik pada jaringan tegangan rendah masih mencapai 3,23 kali per pelanggan per tahun, dengan durasi gangguan sekitar 320 menit per pelanggan per tahun[2]. Kondisi ini menegaskan pentingnya sistem proteksi yang andal agar keselamatan pengguna dan keandalan pasokan listrik tetap terjaga.

Gangguan listrik, khususnya hubung singkat, dapat memicu lonjakan arus dalam hitungan milidetik yang mencapai ribuan ampere. Jika tidak segera ditangani, lonjakan ini berpotensi merusak peralatan dan menurunkan keandalan jaringan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa koordinasi sistem proteksi, misalnya melalui penggunaan *Miniature Circuit Breaker* (MCB) atau *relay* arus lebih, sangat berperan dalam menjaga keberlanjutan pasokan listrik sekaligus melindungi pengguna[3]. Meski proteksi penting, kenyataannya proteksi saja tidak cukup. Sistem distribusi daya juga membutuhkan monitoring agar kondisi jaringan dapat dipantau secara *real-time*.

Monitoring distribusi daya, terutama pada sistem *multi-channel*, memiliki peran krusial dalam mendeteksi gangguan lebih cepat, mengetahui konsumsi daya tiap jalur, serta mengoptimalkan penggunaan energi. Teknologi berbasis mikrokontroler telah banyak dikembangkan untuk membaca data *real-time* dari sensor arus dan tegangan, sehingga memungkinkan pengelolaan distribusi daya yang lebih efisien dan aman[4]. Mikrokontroler modern seperti Arduino, ESP32, atau STM32 memiliki kemampuan *multi-channel input/output* yang mendukung integrasi proteksi dan

monitoring dalam satu sistem. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa sistem berbasis mikrokontroler tidak hanya meningkatkan keandalan distribusi listrik, tetapi juga menawarkan solusi yang lebih ekonomis dan fleksibel dibandingkan sistem proteksi konvensional[5].

Di Indonesia, sistem distribusi 220V memang sudah luas digunakan, baik di rumah tangga, laboratorium, maupun industri kecil. Namun, banyak di antaranya belum dilengkapi dengan proteksi otomatis dan monitoring modern. Akibatnya, risiko gangguan listrik masih cukup tinggi dan dapat berdampak pada keselamatan serta keandalan pasokan energi. Modernisasi sistem distribusi melalui penerapan proteksi otomatis dan monitoring *real-time* menjadi solusi yang relevan untuk menjawab tantangan tersebut[6]. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan pada perancangan panel proteksi dan monitoring *multi-channel* berbasis mikrokontroler pada sistem distribusi daya 220V, yang diharapkan dapat meningkatkan keandalan sekaligus efisiensi sistem listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang panel proteksi yang mampu melindungi beban listrik 220V pada sistem *multi-channel*?
2. Bagaimana sistem monitoring dapat menampilkan kondisi tiap saluran secara *real-time* sehingga gangguan dapat segera terdeteksi?
3. Bagaimana mikrokontroler dapat diintegrasikan untuk mengendalikan fungsi proteksi sekaligus monitoring dalam satu sistem yang efisien?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak melebar, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya difokuskan pada sistem distribusi tegangan rendah 220V.
2. Panel yang dibuat terdiri dari beberapa *channel* (*multi-channel*) distribusi daya, dibatasi maksimal 7 *channel*.

3. Proteksi yang dikaji terbatas pada gangguan arus lebih, tidak mencakup proteksi petir atau gangguan tegangan menengah/tinggi.
4. Sistem proteksi menggunakan *relay* yang dikendalikan oleh mikrokontroler.
5. Penelitian tidak mencakup integrasi dengan sistem IoT atau *smart grid* berskala besar.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang panel proteksi yang mampu melindungi beban listrik 220V pada sistem *multi-channel* dari gangguan arus lebih.
2. Mengembangkan sistem monitoring yang dapat menampilkan kondisi tiap saluran secara *real-time*, sehingga teknisi dapat mendeteksi gangguan lebih cepat.
3. Mengintegrasikan mikrokontroler untuk mengendalikan fungsi proteksi dan monitoring dalam satu sistem yang efisien dan mudah digunakan.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi peneliti (mahasiswa):
 - a. penelitian ini memberikan pengalaman bagi peneliti untuk mengasah keterampilan khususnya di bidang perancangan panel proteksi dan monitoring multi-chanel.
 - b. sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di program studi D3 teknik listrik industri.
2. Bagi akademisi penelitian ini bisa menjadi referensi dalam pengembangan sistem proteksi dan monitoring berbasis mikrokontroler pada jaringan tegangan rendah.
3. Bagi masyarakat penelitian ini diharapkan bisa meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya sistem proteksi dan monitoring listrik, yang bisa meminimalisir resiko kecelakaan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sebagai pendukung penelitian yang akan peneliti lakukan, ada beberapa Hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu yang akan peneliti jadikan dasar, rujukan dan pembeda dari penelitian yang dilaksanakan penulis saat ini.

Pertama ada penelitian yang dilakukan oleh Uma Uzubi Uma dkk yang berjudul “*Adaptive Overcurrent Protection Scheme Coordination in Presence of Distributed Generation Using Radial Basis Neural Network*” penelitian ini menyoroti masalah koordinasi proteksi arus lebih pada jaringan distribusi dengan adanya pembangkit tersebar (*Distributed Generation/DG*). Mereka menawarkan solusi berbasis *Radial Basis Function Neural Network* (RBFNN) yang mampu menyesuaikan pengaturan *relay* secara otomatis sesuai kondisi jaringan. Hasil simulasi menunjukkan metode ini berhasil meningkatkan keandalan proteksi, baik pada sistem dengan satu maupun banyak DG[7]. Penelitian ini menjadi rujukan peneliti untuk membuat sistem proteksi arus

yang bisa beradaptasi dengan perubahan beban pada tiap *channel* nya.

Kemudian ada penelitian yang dilakukan oleh Aceng Daud dengan judul “Rancang Bangun Modul Proteksi Arus Beban Lebih dan Hubung Singkat” penelitian ini berfokus pada pengembangan modul proteksi motor listrik berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Sistem ini menggunakan sensor arus ACS712 untuk mendeteksi arus lebih maupun hubung singkat, kemudian mengaktifkan *relay* untuk memutus kontaktor dan menyalakan indikator alarm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proteksi bekerja efektif ketika arus melebihi batas setting, dengan waktu tunda sekitar 200ms, sehingga mampu melindungi motor dari kerusakan akibat beban berlebih maupun gangguan hubung singkat[8]. Penelitian ini menjadi rujukan peneliti untuk membuat sistem proteksi arus lebih dan hubung singkat menggunakan mikrokontroler dan sensor arus.

Selanjutnya ada penelitian oleh Nur Salim dengan judul “Rancang Bangun *Prototype* Alat Proteksi *Over Current* Menggunakan Kontrol Arduino”, penelitian yang dilakukan Nur Salim ini berfokus pada pengembangan prototipe *overcurrentrelay* (OCR) berbasis mikrokontroler Arduino.

Sistem ini menggunakan sensor arus SCT 013-000 untuk membaca nilai arus, kemudian diproses oleh Arduino guna menentukan waktu trip sesuai karakteristik proteksi, Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu bekerja dengan akurasi tinggi (hingga 98,7%) dalam mendeteksi arus lebih dan memutus beban sesuai perhitungan matematis[9].

Penelitian terkait proteksi *overcurrent* juga dilakukan oleh Ahmed Amirul Arefin bersama timnya, yang berjudul “*ACS712 Based Intelligent Solid-State Relay for Overcurrent Protection of PV-Diesel Hybrid Mini Grid*” mengembangkan sebuah *solid-state relay* (SSR) cerdas berbasis sensor arus ACS712 untuk sistem *mini-grid* hibrida PV-diesel. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai proteksi arus lebih, tetapi juga mampu melakukan monitoring arus secara *real-time* dengan mengirimkan data ke server melalui modul komunikasi nirkabel. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *relay* yang dirancang mengikuti karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) dengan tambahan fitur cerdas berupa alarm dan pemutusan otomatis, sehingga mendukung pemeliharaan preventif dan meningkatkan keandalan sistem *mini-grid* di daerah terpencil[10].

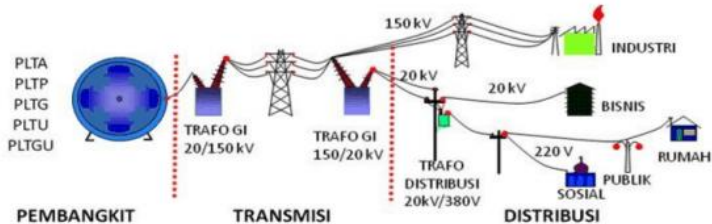
Penelitian hampir serupa juga dilakukan oleh Syukriyadin dkk. berjudul “*Design of a Digital Standard Inverse Overcurrent Relay Using Arduino Uno as a Microcontroller*” mengembangkan prototipe digital *overcurrent relay* dengan karakteristik *standard inverse* sesuai standar IEC 60255. Sistem ini menggunakan sensor arus ACS712 (hingga 30A), Arduino Uno sebagai pengendali utama, serta modul pemutus sirkuit (*circuit breaker*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *relay* mampu bekerja sesuai karakteristik *inverse*: semakin besar arus gangguan, semakin cepat waktu trip yang dihasilkan. Akurasi sensor arus juga sangat baik dengan error kurang dari 0,5%. Dengan variasi *Time Multiplier Setting* (TMS), *relay* terbukti konsisten memenuhi kurva karakteristik IEC, sehingga dapat menjadi solusi proteksi digital yang lebih fleksibel dan presisi dibandingkan *relay* elektromagnetik konvensional[11].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Daya

Sistem distribusi daya adalah bagian penting dari sistem tenaga listrik, yang bertugas menyalurkan energi dari pembangkit hingga sampai ke pengguna akhir. Di Indonesia, standar tegangan rendah yang paling umum digunakan adalah

220 Volt untuk jaringan satu fasa. Tegangan ini dianggap cukup aman untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri kecil, namun tetap mampu menyuplai daya yang besar untuk berbagai peralatan elektronik[1].



Gambar 2. 1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Sumber : [Sistem Distribusi Tenaga Listrik - EDUKASIKINI.COM](http://EDUKASIKINI.COM)

2.2.2 Sistem Proteksi Listrik

Sistem Proteksi Listrik adalah serangkaian perangkat dan mekanisme yang dirancang untuk melindungi sistem kelistrikan dari kerusakan akibat gangguan seperti arus lebih (*overcurrent*), hubungan singkat (*short circuit*), dan tegangan lebih (*overvoltage*). Sistem ini penting untuk menjaga keselamatan manusia, mencegah kerusakan peralatan, serta menjamin kontinuitas pasokan listrik[12]. Ada beberapa perangkat proteksi yang umum digunakan:

- a. Fuse: Bekerja dengan memutuskan aliran listrik ketika kawat pengaman meleleh akibat arus berlebih.



Gambar 2. 2 Fuse

Sumber : 2P Fuse Houlder, 1000VDC Fuse Holder Manufacturers, Factory - Wholesale Discount - NSPV

- a. MCB (*Miniature Circuit Breaker*) : Memutus arus secara otomatis saat terjadi *overcurrent* atau *short circuit*.



Gambar 2. 3 Miniature Circuit Breaker (MCB)

Sumber : MCB (Miniature Circuit Breakers) Guide | RS

- b. *Relay* : Menghubungkan atau memutuskan arus Listrik

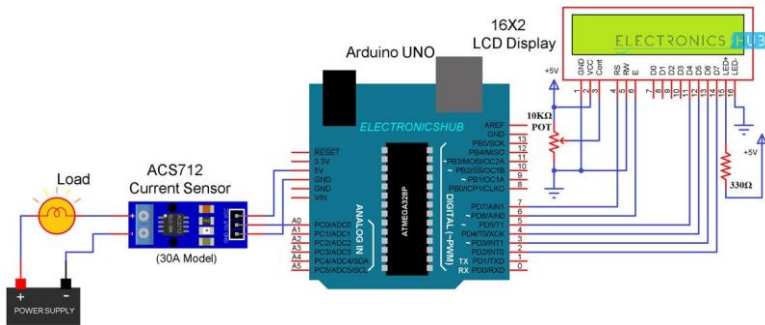


Gambar 2. 4 Modul *Relay 1 Channel*

Sumber : [Lesson 22 – 1-Channel Relay Module « osoyoo.com](#)

2.2.3 Sistem Monitoring

Sistem monitoring merupakan sebuah sistem terintegrasi yang dipasang untuk pemantauan atau pengawasan serta pengumpulan data *real-time* secara otomatis[13]. Sistem ini dilengkapi oleh sensor yang berfungsi untuk membaca data, serta mikrokontroler yang berfungsi untuk mengumpulkan dan mengolah data tersebut, kemudian hasil data yang telah diolah dapat ditampilkan pada sebuah *display*.



Gambar 2. 5 Rangkaian Sistem Monitoring Arus

Sumber : Interfacing ACS712 Current Sensor with Arduino - Measure Current with Arduino

2.2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah *Integrated Circuit* (IC) atau sirkuit terpadu yang dirancang untuk mengatur suatu operasi tertentu dalam sistem tertanam (*embedded system*). Menurut pendapat dari para ahli, mikrokontroler adalah sebuah sistem komputasi yang terintegrasi untuk mengontrol suatu sistem elektronik. Sistem komputasi ini tersusun atas mikroprosesor, perangkat I/O, memori, dan komponen pendukung lainnya[14]. Pada penelitian ini akan digunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560



Gambar 2. 6 Arduino Mega 2560
Sumber : [arduino-mega-1.jpg](#) (1024×1024)

2.2.5 Sensor

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisik seperti tekanan, gaya, besaran listrik, cahaya, gerakan, kelembaban, suhu, kecepatan dan fenomena-fenomena lingkungan lainnya. Setelah mengamati terjadinya perubahan, *Input* yang terdeteksi tersebut akan dikonversi mejadi *Output* yang dapat dimengerti oleh manusia baik melalui perangkat sensor itu sendiri ataupun ditransmisikan secara elektronik melalui jaringan untuk ditampilkan atau diolah menjadi informasi yang bermanfaat bagi penggunaanya[15]. Jenis-jenis sensor pun beragam, bergantung kepada fungsi yang di perlukan, berikut contohnya:

- a. Sensor Arus : Sensor arus adalah perangkat atau komponen atau alat untuk mendeteksi arus pada listrik di dalam sebuah kabel, dan menghasilkan sinyal proporsional dengan besar nya nilai arus yang terdeteksi[16].



Gambar 2. 7 Modul Sensor Arus ACS712

Sumber : ACS712: modul sensor arus

- b. Sensor Tegangan : Sensor tegangan adalah suatu perangkat atau modul yang dirancang untuk mengukur, memonitor, dan menghitung nilai tegangan pada suatu rangkaian elektronika. Fungsi utama sensor tegangan adalah mendeteksi besaran tegangan, baik yang bersifat arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC), sesuai dengan kemampuan dan spesifikasinya[17].



Gambar 2. 8 Modul Sensor PZEM-004T

Sumber : PZEM-004T TTL Modbus AC Power Energy Smart Meter

Multi Ammeter – AMSAN ELECTRONICS

2.2.6 Panel Proteksi dan Monitoring

Panel listrik adalah sebuah kotak kontrol yang berfungsi sebagai pusat distribusi dan pengaturan arus listrik. Komponen ini terdiri dari berbagai perangkat seperti MCB, MCCB, relay, dan busbar yang bekerja bersama untuk memastikan pasokan listrik stabil dan terlindung dari gangguan[18]. panel listrik bukan hanya sekadar tempat penyatuan sirkuit listrik, tetapi juga memiliki peran kritis dalam menjaga keandalan sistem dan keselamatan pengguna[19]. Selain fungsi proteksi pada panel Listrik modern biasanya dilengkapi dengan sistem monitoring digital yang memungkinkan teknisi melihat kondisi aliran listrik secara *real-time*. Informasi ini membantu dalam

deteksi dini masalah listrik, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan serius[20].



Gambar 2. 9 Panel LVMDP

Sumber : Mengenal Jenis-jenis Panel Listrik dan Fungsinya - PT. Istech Utama

2.2.7 Hukum Ohm

Hukum Ohm merupakan prinsip dasar dalam ilmu kelistrikan yang menjelaskan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan pada suatu rangkaian. Secara sederhana, hukum ini menyatakan bahwa besarnya arus yang mengalir melalui suatu penghantar sebanding dengan tegangan yang diberikan, serta berbanding terbalik dengan hambatan penghantar tersebut[21]. Hukum Ohm di tuliskan secara matematis sebagai berikut:

$$V = I \times R$$

Dimana :

V = Tegangan

I = Arus

R = Resistansi

Dalam konteks penelitian ini, hukum Ohm berperan penting karena sensor arus (ACS712) dan sensor tegangan (PZEM-004T) yang digunakan bekerja berdasarkan prinsip hubungan antara tegangan, arus, dan resistansi. Data hasil pengukuran kemudian diolah oleh mikrokontroler untuk menampilkan kondisi jaringan secara real-time. Dengan demikian, hukum Ohm tidak hanya menjadi dasar teoritis, tetapi juga mendukung implementasi sistem proteksi dan monitoring multi-channel yang dirancang



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

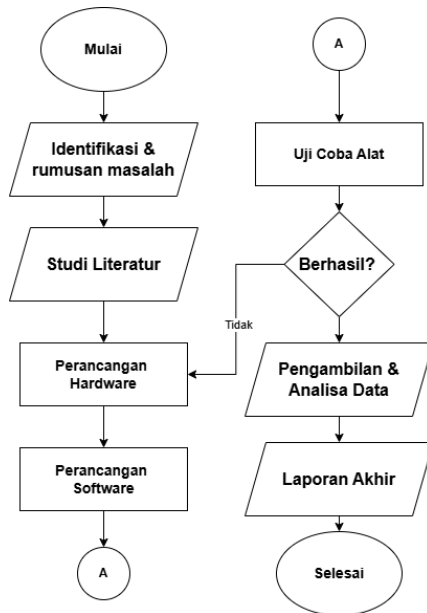


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada Tugas Akhir ini disusun untuk mendukung perancangan dan pembuatan panel proteksi dan monitoring *multi-channel* pada sistem distribusi daya 220V berbasis mikrokontroler. Untuk mempermudah memahami tahapan-tahapan dalam penelitian ini, maka dibuatlah diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian
Sumber : Gambar Pribadi

Gambar 3.1 menjelaskan proses Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dari langkah awal, yaitu menentukan masalah. Peneliti terlebih dahulu mengidentifikasi kondisi nyata di lapangan, sistem distribusi daya 220V yang banyak digunakan di rumah tangga maupun industri kecil ternyata masih minim proteksi dan monitoring modern. Dari sini lahirlah rumusan masalah yang menjadi fokus penelitian, yaitu bagaimana merancang panel proteksi dan monitoring *multi-channel* berbasis mikrokontroler agar sistem lebih aman dan andal.

Setelah masalah dirumuskan, langkah berikutnya adalah studi literatur. Pada tahap ini peneliti mencari jurnal, buku, dan penelitian terdahulu untuk dijadikan acuan dan landasan untuk memahami konsep proteksi listrik, monitoring *multi-channel*, serta teknologi mikrokontroler dan sensor arus.

Dengan bekal teori, peneliti masuk ke tahap perancangan *hardware*. Di sini dipilih komponen utama seperti mikrokontroler (Arduino Mega), sensor arus (ACS712), *relay* proteksi, serta media tampilan seperti LCD. Semua komponen dirancang agar saling terhubung dalam satu panel proteksi dan monitoring.

Selanjutnya adalah perancangan *software*. Mikrokontroler diprogram untuk membaca data sensor, mengaktifkan proteksi saat terjadi gangguan, dan menampilkan informasi monitoring secara *real-time*. Tahap ini memastikan sistem tidak hanya bekerja secara fisik, tetapi juga memiliki logika pengendalian yang cerdas.

Setelah *hardware* dan *software* siap, dilakukan uji coba alat. Sistem diuji dengan beban nyata untuk melihat apakah proteksi bekerja sesuai harapan dan apakah monitoring mampu menampilkan data dengan akurat. Jika hasil uji coba belum sesuai, peneliti kembali ke tahap perancangan untuk memperbaiki desain. Proses ini berulang sampai sistem benar-benar stabil.

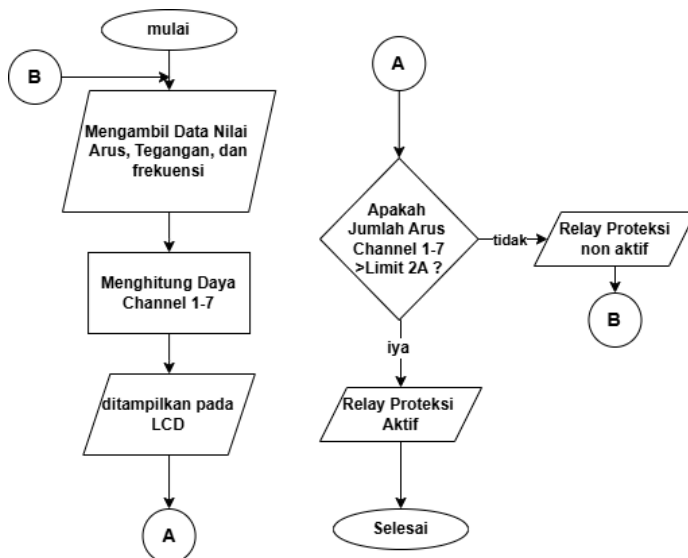
Ketika sistem sudah berhasil, peneliti melanjutkan ke tahap analisis dan pengambilan data. Data hasil pengujian dikumpulkan, lalu dianalisis untuk menilai performa sistem: seberapa cepat proteksi merespons gangguan, seberapa akurat sensor membaca arus dan tegangan, serta seberapa efisien sistem bekerja.

Tahap terakhir adalah penyusunan laporan akhir. Semua proses, mulai dari identifikasi masalah, studi literatur, perancangan, pengujian, hingga analisis, dituangkan dalam

bentuk laporan tugas akhir. Laporan ini menjadi bukti akademis sekaligus dokumentasi teknis dari penelitian yang dilakukan. Setelah laporan selesai, penelitian dinyatakan tuntas.

3.2 Diagram Alir Sistem Kerja Alat

Agar mempermudah memahami sistem kerja alat yang akan dibuat, dibuatlah diagram alir sebagai berikut:

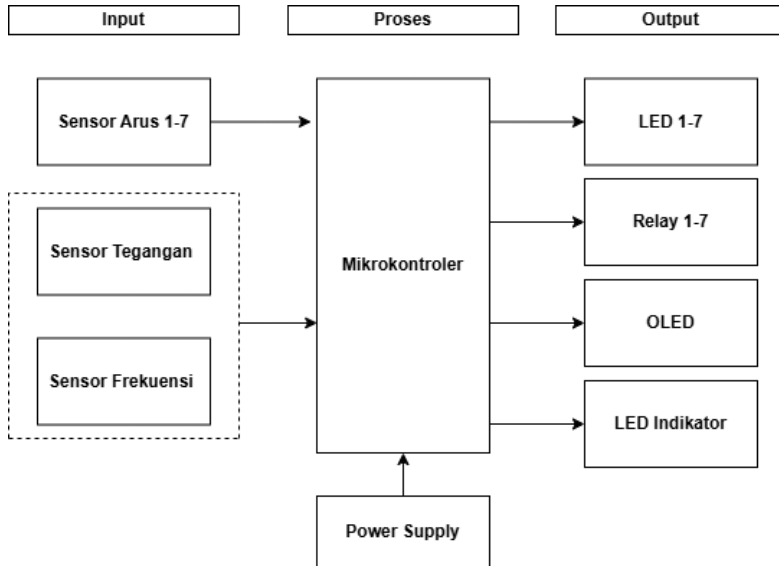


Gambar 3. 2 Diagram Alir Sistem Kerja Alat
Sumber : Gambar Pribadi

Pada Gambar 3.2 dijelaskan cara kerja sistem pada alat yang dirancang. Pertama, alat melakukan pembacaan nilai arus dengan sensor arus dan pembacaan nilai tegangan serta frekuensi dengan modul sensor tegangan dan frekuensi. Hasil pembacaan sensor kemudian diproses untuk menghitung nilai daya, yang ditampilkan secara real-time pada LCD. Perhitungan daya dilakukan untuk setiap channel dengan menggunakan beban resistif rumah tangga, seperti *rice cooker*, setrika, lampu pijar, solder listrik, serta *charger* HP maupun laptop. Selanjutnya, hasil perhitungan dibandingkan dengan batas maksimal arus, yaitu 2A. Jika nilai yang diperoleh tidak melebihi batas, maka relay proteksi tetap tidak aktif dan alat kembali melakukan pembacaan ulang. Sebaliknya, jika nilai arus melebihi batas, sistem segera mengaktifkan relay proteksi sehingga arus terputus.

3.3 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem digunakan untuk menggambarkan hubungan antara bagian *input*, proses, dan *output* pada panel proteksi dan monitoring *multi-channel* ini. Adapun diagram blok yang dibuat Adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem
Sumber : Gambar Pribadi

Pada diagram blok sistem di atas dijelaskan sistem kerja alat secara umum. Sistem ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu *input*, proses, dan *output*, yang saling terhubung untuk menghasilkan kerja sistem yang terintegrasi.

a. *Input*

Pada alat ini memiliki beberapa *Input* berupa sensor, tujuh buah sensor arus yang digunakan untuk melakukan

pembacaan nilai arus untuk *channel* satu sampai dengan *channel* tujuh, kemudian ada juga modul sensor tegangan dan frekuensi yang berfungsi untuk melakukan pembacaan nilai tegangan dan frekuensi pada keseluruhan rangkain. Lalu semua hasil pembacaan tersebut diproses untuk mendapatkan data.

b. Proses

Proses pada alat ini dijalankan oleh mikrokontroler Arduino mega 2560 sebagai pengendali utama. Mikrokontroler menerima data dari *input* kemudian memprosesnya sesuai dengan program yang dibuat agar alat bisa bekerja sesuai cara kerja sistem yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya.

c. Output

Bagian *output* pada alat ini merupakan hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan oleh mikrokontroler. *Output* pada alat ini terdiri dari LED indikator sebagai indikasi bahwasannya alat sedang menyala, kemudian ada LED satu sampai dengan tujuh yang menjadi indikasi bahwasannya masih ada aliran arus pada *channel* tersebut, lalu ada LCD OLED yang menampilkan hasil pembacaan nilai arus pada setiap *channel* dan juga menampilkan nilai

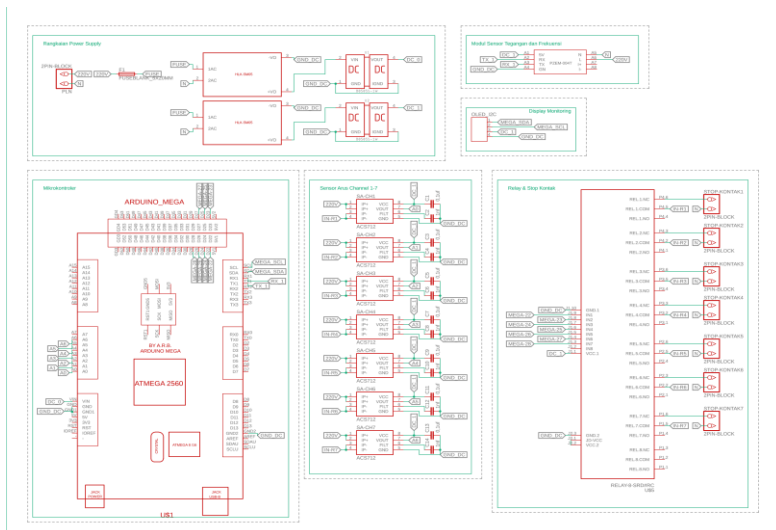
tegangan serta frekuensi keseluruhan rangkaian, dan yang terakhir ada *relay* satu sampai dengan tujuh yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus aliran arus tiap *channel*.

Adapun data yang akan diambil adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Tabel Pengambilan Data

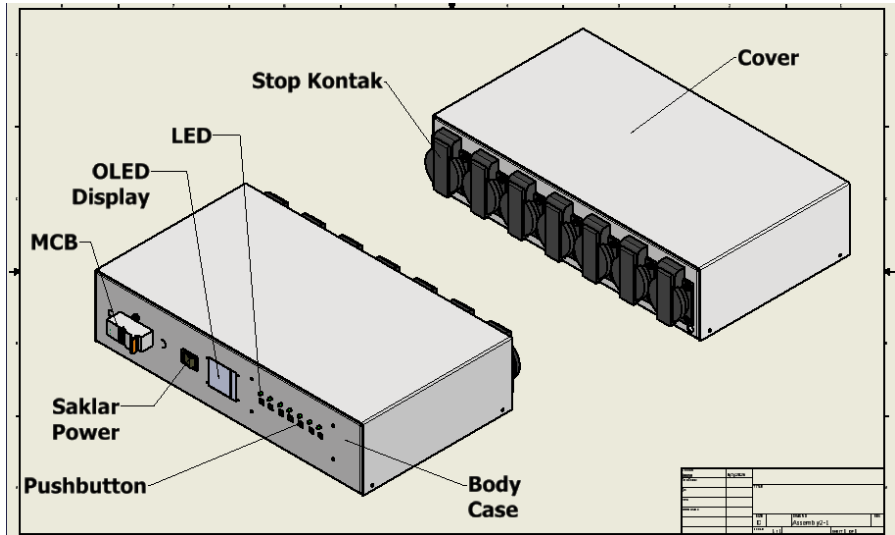
NO	Percobaan		Arus	Tegangan	Kecepatan Proteksi
	Jumlah Channel	ke			
1		I			
		II			
		III			

3.4 Desain Alat



Gambar 3. 4 Schematic PCB

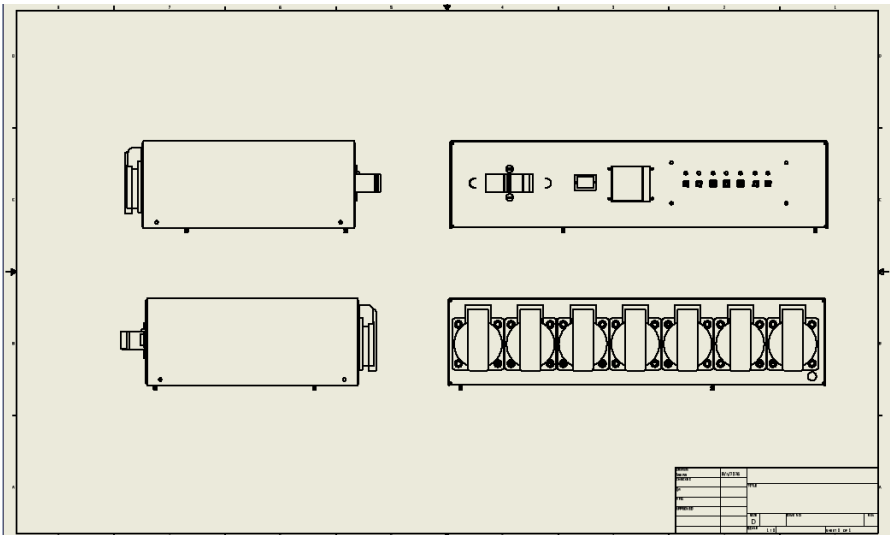
Sumber : Gambar Pribadi



Gambar 3. 5 Desain 3D
Sumber : Gambar Pribadi

Keterangan :

- 1) Body Case : Menggunakan Plat Besi 1mm
- 2) Cover : Menggunakan Plat Besi 1mm
- 3) LED : Diameter 2mm
- 4) OLED : OLED 1.5" I2C
- 5) Stopkontak : Stopkontak Panel Mounting 2 pin
- 6) MCB : 10A
- 7) Pushbutton : Tactile Switch
- 8) Saklar Power : A8L-21-11N3



Gambar 3. 6 Desain 2D
Sumber : Gambar Pribadi

3.5 Spesifikasi Alat dan Bahan

Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Spesifikasi
1	Mikrokontroler	Arduino Mega 2560
2	Sensor Arus	ACS712 20A
3	Sensor Tegangan dan Frekuensi	PZEM-004T
4	Relay	Relay 5V 10A

No	Alat dan Bahan	Spesifikasi
5	<i>Display</i>	OLED 1.5" I2C
6	LED Indikator	LED 3mm
7	Stopkontak	Stopkontak panel mounting
8	<i>Power Supply</i>	Hi-Link 5V 2A

3.6 Waktu dan Tempat Penelitian

1. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Dasar, Gedung A Politeknik Negeri Madura. Kegiatan penelitian dilakukan pada rentang waktu pukul 08:20 hingga 16:00.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab IV akan dipaparkan hasil serta pembahasan dari pengujian alat. Proses pembuatan dimulai dengan pengujian setiap komponen secara terpisah untuk memastikan kinerjanya, kemudian dilanjutkan dengan integrasi antar komponen seperti sensor, mikrokontroler, relay, dan indikator. Setelah itu dilakukan perancangan case dan PCB agar rangkaian lebih rapi dan aman, lalu seluruh komponen dirakit menjadi satu kesatuan.



Gambar 4. 1 Hasil Perakitan Alat
Sumber : Gambar Pribadi

Tahap akhir berupa uji coba dengan memberikan beban listrik, mencatat respon sensor dan relay, serta mengukur

waktu proteksi menggunakan stopwatch. Dalam pengujian ini terdapat enam jenis pengujian utama, yaitu:

1. Pengujian Sensor ACS712
2. Pengujian Sensor PZEM-004T
3. Pengujian *Pushbutton*
4. Pengujian Relay & LED
5. Pengujian OLED
6. Pengujian Proteksi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini secara fungsi dapat memproteksi beban berdasarkan gangguan arus berlebih

4.1 Pengujian Sensor ACS712

Pengujian dilakukan terhadap tujuh buah sensor arus ACS712 yang dipasang pada masing-masing channel sistem proteksi dan monitoring daya. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui konsistensi pembacaan arus, akurasi terhadap alat ukur standar. Pengujian dilakukan menggunakan beban resistif yg biasa ditemui di rumah tangga seperti , *rice cooker* dan setrika.

Tabel 4. 1 Tabel Pengujian ACS712

NO	Sensor	Beban	Arus (A)		Selisih	Error (%)
			Terbaca	Terukur		
1	Channel 1	0	0.15	0.00	0.15	-
		<i>Rice Cooker</i>	1.23	1.26	0.03	0.023
		Setrika	1.43	1.47	0.04	0.027
		Setrika & Rice Cooker	2.60	2.78	0.18	0.064
2	Channel 2	0	0.13	0.00	0.13	-
		<i>Rice Cooker</i>	1.24	1.28	0.04	0.031
		Setrika	1.42	1.48	0.06	0.040
		Setrika & Rice Cooker	2.62	2.81	0.21	0.067
3	Channel 3	0	0.13	0.00	0.13	-
		<i>Rice Cooker</i>	1.30	1.29	0.01	0.007
		Setrika	1.44	1.46	0.02	0.013
		Setrika & Rice Cooker	2.67	2.87	0.20	0.069
4	Channel 4	0	0.12	0.00	0.12	-

NO	Sensor	Beban	Arus (A)		Selisih	Error (%)
			Terbaca	Terukur		
		<i>Rice Cooker</i>	1.25	1.29	0.04	0.031
		Setrika	1.41	1.47	0.06	0.040
		Setrika & <i>Rice Cooker</i>	2.62	2.83	0.21	0.074
5	Channel 5	0	0.13	0.00	0.13	-
		<i>Rice Cooker</i>	1.26	1.28	0.02	0.015
		Setrika	1.41	1.46	0.05	0.034
		Setrika & <i>Rice Cooker</i>	2.57	2.82	0.35	0.088
6	Channel 6	0	0.13	0.00	0.13	-
		<i>Rice Cooker</i>	1.29	1.25	0.04	0.032
		Setrika	1.43	1.46	0.03	0.020
		Setrika & <i>Rice Cooker</i>	2.61	2.78	0.17	0.061
7	Channel 7	0	0.11	0.00	0.11	-
		<i>Rice Cooker</i>	1.24	1.24	0.00	0
		Setrika	1.38	1.45	0.07	0.048

NO	Sensor	Beban	Arus (A)		Selisih	Error (%)
			Terbaca	Terukur		
		Setrika & Rice Cooker	2.57	2.76	0.21	0.068

Data pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pembacaan arus melalui OLED sejalan dengan hasil pengukuran menggunakan clamp ampere. Seluruh sensor arus ACS712 yang diuji memberikan respons linier terhadap kenaikan beban resistif, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan arus dengan akurasi memadai untuk aplikasi sistem proteksi dan monitoring daya. Tingkat akurasi ini dianalisis menggunakan rumus persentase error pada persamaan (4.1) berikut:

$$\text{Error (\%)} = \frac{|I_{\text{sensor}} - I_{\text{ref}}|}{|I_{\text{ref}}|} \times 100\% \quad (4.1)$$

Di mana :

I_{sensor} = hasil pembacaan sensor

I_{ref} = hasil pengukuran dengan alat ukur

Kemudian berdasarkan persamaan (4.1) dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Error (\%)} = \frac{|1.23 - 1.26|}{|1.26|} \times 100\%$$

Dari hasil perhitungan didapat persentase error sebesar 0,023. Selanjutnya, jika seluruh data pengujian dihitung menggunakan persamaan yang sama, diperoleh rata-rata error sebesar 0,040 (4,0%). Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat deviasi pada beberapa titik pengukuran, secara umum sensor ACS712 masih memberikan akurasi yang cukup baik. Deviasi absolut yang muncul relatif kecil. Meskipun beban yang digunakan sama, pembacaan tiap sensor dapat berbeda karena adanya faktor toleransi komponen, noise pada rangkaian, serta perbedaan offset tegangan nol pada masing-masing modul ACS712.

4.2 Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian dilakukan terhadap modul sensor PZEM-004T yang digunakan untuk mengukur parameter tegangan dan arus pada sistem distribusi daya. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam membaca nilai tegangan AC 220V serta arus pada beban resistif rumah

tangga, kemudian dibandingkan dengan alat ukur standar (AVO meter dan clamp meter).

Tabel 4. 2 Tabel Pengujian Arus Sensor PZEM-004T

No	Beban	Arus (A)		Selisih	Error (%)
		Terbaca	Terukur		
1	0	0.00	0.00	0.00	-
2	Rice Cooker	1.37	1.26	0.11	0.087
3	Setrika	1.58	1.46	0.12	0.082
4	Setrika & Rice Cooker	2.90	2.78	0.12	0.043

Pengujian arus dengan beban resistif menunjukkan bahwa PZEM mampu menampilkan nilai arus secara linier sesuai kenaikan beban. Perbandingan dengan clamp meter memperlihatkan adanya selisih, namun tidak signifikan. Dari hasil perhitungan error dengan rumus pada persamaan (4.1) diperoleh nilai 0,087; 0,082; dan 0,043, dengan rata-rata sekitar 0,071 (7,1%). Jika dibandingkan dengan spesifikasi datasheet PZEM-004T yang menyebut akurasi arus $\pm 1\%$ dari nilai terukur, maka hasil praktis ini memang lebih besar dari toleransi teoretis. Hal tersebut dapat terjadi karena toleransi komponen, serta noise pada rangkaian. Meski demikian,

deviasi absolut yang muncul tetap kecil sehingga masih dapat diterima untuk aplikasi monitoring daya rumah tangga, dan sensor tetap layak digunakan karena konsistensi linieritasnya.

Tabel 4. 3 Tabel Pengujian Tegangan Sensor PZEM-004T

No	Beban	Tegangan (V)		Selisih	Error (%)
		Terbaca	Terukur		
1	0	225.0	226.1	1.1	0.0048
2	Rice Cooker	221.3	223.1	2.2	0.0080
3	Setrika	221.6	221.9	0.3	0.0013
4	Setrika & Rice Cooker	218.5	219.6	1.1	0.0050

Sensor PZEM diuji dengan beban resistif pada tegangan nominal 220V. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tegangan yang ditampilkan oleh PZEM berada pada kisaran 218V–222V. Perbandingan dengan AVO meter menunjukkan nilai selisih yang tidak begitu signifikan. Dari hasil perhitungan pengujian berdasarkan persamaan (4.1), diperoleh nilai error tegangan sebesar 0,0048; 0,0080; 0,0013; dan 0,0050. Jika dihitung rata-ratanya, maka diperoleh error rata-rata sebesar 0,0048 (0,48%). Nilai ini

masih berada dalam batas toleransi spesifikasi PZEM, yaitu $\pm 0,5\%$ untuk pengukuran tegangan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM memiliki akurasi yang cukup baik dalam mengukur tegangan pada beban resistif. Deviasi yang muncul relatif kecil dan masih sesuai dengan toleransi pengukuran, sehingga hasil pembacaan dapat diterima untuk aplikasi monitoring daya rumah tangga.

4.3 Pengujian Pushbutton

Pengujian dilakukan terhadap tujuh buah push button yang dihubungkan ke satu pin analog pada mikrokontroler. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai ADC (Analog to Digital Converter) yang dihasilkan setiap tombol, rentang ADC yang terbaca, serta tegangan keluaran masing-masing tombol. Setiap tombol berfungsi sebagai kontrol manual relay, yaitu untuk menyalakan (ON) atau mematikan (OFF) beban sesuai perintah pengguna.

Setiap tombol ditekan secara bergantian, kemudian nilai ADC dibaca melalui OLED. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa setiap tombol memiliki nilai ADC yang berbeda sesuai dengan konfigurasi resistor pembagi tegangan yang

digunakan. Tegangan keluaran tiap tombol berada pada kisaran 0.5V hingga 5V, sehingga masih dalam batas aman untuk input analog Arduino Mega 2560

Tabel 4. 4 Tabel Pengujian *Pushbutton*

No	ADC	Range	Tegangan (V)
1	947	> 900	3.82
2	773	> 700 - < 880	2.18
3	683	> 610 - < 690	1.81
4	545	> 530 - < 600	1.46
5	498	> 478 - < 529	1.09
6	434	> 420 - < 470	0.76
7	398	> 300 - < 415	0.36

Untuk memvalidasi hasil pengujian, digunakan rumus konversi antara nilai ADC dan tegangan input. Hubungan keduanya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$ADC_{value} = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times ADC_{max}$$

Dimana :

V_{in} = Tegangan input ke pin analog

ADC_{value} = Nilai ADC terbaca

ADC_{max} = Nilai ADC maksimal

V_{ref} = Tegangan referensi

Kemudian dari rumus konversi nilai tegangan ke nilai ADC di atas dilakukan contoh perhitungan sebagai berikut :

$$ADC_{\text{value}} = \frac{3,82 \text{ v}}{4,12 \text{ v}} \times 1023$$

Dari hasil perhitungan didapat hasil 948,5 ADC.

4.4 Pengujian Relay & LED

Pengujian dilakukan terhadap tujuh buah LED indikator dan tujuh buah relay yang terhubung ke sistem kontrol berbasis mikrokontroler. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa LED indikator dan relay dapat merespons perintah logika dengan benar, yaitu ON ketika perintah bernilai *true* dan OFF ketika perintah bernilai *false*.

Tabel 4. 5 Tabel Pengujian *Relay* & LED

No	Relay & LED	Perintah	Status
1	Channel 1	True	On
		False	Off
2	Channel 2	True	On
		False	Off
3	Channel 3	True	On
		False	Off
4	Channel 4	True	On

No	Relay & LED	Perintah	Status
		False	Off
5	Channel 5	True	On
		False	Off
6	Channel 6	True	On
		False	Off
7	Channel 7	True	On
		False	Off

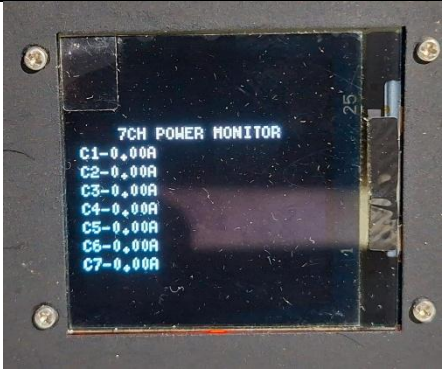
Setiap channel diuji dengan memberikan perintah logika melalui program mikrokontroler. Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Ketika perintah *true*, LED indikator menyala dan relay aktif (kontak tertutup, beban terhubung).
- Ketika perintah *false*, LED indikator mati dan relay nonaktif (kontak terbuka, beban terputus).

4.5 Pengujian OLED

Pengujian dilakukan terhadap modul OLED yang digunakan sebagai media tampilan utama sistem monitoring. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa OLED mampu menampilkan data dari sensor secara jelas, real-time, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Tabel 4. 6 Tabel Pengujian OLED

No	Perintah	Hasil
1	Menampilkan pembacaan ACS712	 <pre> 7CH POWER MONITOR C1-0.00A C2-0.00A C3-0.00A C4-0.00A C5-0.00A C6-0.00A C7-0.00A </pre>
2	Menampilkan Pembacaan PZEM-004T	 <pre> 7CH POWER MONITOR V:225.0V F:50.0Hz P:0.0W Ip:0.00A </pre>
3	Menampilkan pembacaan ACS712 & PZEM-004T	 <pre> 7CH POWER MONITOR C1-0.00A V:224.6V C2-0.00A F:50.0Hz C3-0.00A P:0.0W C4-0.00A Ip:0.00A C5-0.00A It:0.00A C6-0.00A Limit:2.0A C7-0.00A KeyADC:0 </pre>

OLED diuji dengan menampilkan hasil pengukuran arus dari tujuh buah sensor ACS712 yang terpasang pada masing-masing channel dan sebuah sensor PZEM-004T. Hasil pengujian menunjukkan bahwa OLED dapat menampilkan nilai arus, tegangan. Tampilan data stabil, dengan refresh rate cukup cepat sehingga perubahan arus dapat dipantau secara real-time.

4.6 Pengujian Proteksi

Pengujian proteksi dilakukan untuk memastikan sistem mampu mendeteksi gangguan arus dan memutus beban secara otomatis. Dalam pengujian ini ditetapkan ambang batas arus sebesar 2 A. Artinya, ketika beban yang diberikan melebihi nilai tersebut, sistem harus segera memutus relay untuk melindungi beban. Parameter utama yang diuji meliputi akurasi proteksi, yaitu ketepatan sistem dalam mengenali arus yang melewati ambang batas, serta kecepatan proteksi, yaitu seberapa cepat sistem merespons gangguan dengan memutus beban.

Selain itu, pengujian juga dilakukan dengan menghidupkan dua channel secara acak. Pada saat channel kedua dihubungkan, total arus dari kedua channel dapat

melebihi limit 2 A. Dalam kondisi ini, sistem dirancang agar hanya channel yang baru dihubungkan saja yang diputus oleh relay, sementara channel pertama tetap aktif. Hal ini menunjukkan bahwa sistem proteksi tidak hanya mendeteksi total arus, tetapi juga memiliki selektivitas proteksi, yakni kemampuan untuk mengisolasi channel yang menyebabkan kelebihan arus tanpa mengganggu channel lain yang masih bekerja normal.

Tabel 4. 7 Tabel Pengujian Proteksi

No	Kondisi Beban Lebih	Status Proteksi	Keterangan	Waktu Respon Relay (detik)	Waktu Respon MCB (detik)
1	2.10 A	Berhasil	Relay Off	2.1	154
2	2.24 A	Berhasil	Relay Off	0.9	
3	2.43 A	Berhasil	Relay Off	1.5	
4	2.48 A	Berhasil	Relay Off	1.1	
5	2.63 A	Berhasil	Relay Off	2.4	
6	2.67 A	Berhasil	Relay Off	0.7	
7	2.87 A	Berhasil	Relay Off	1.6	
8	2.95 A	Berhasil	Relay Off	2.3	
9	3.05 A	Berhasil	Relay Off	1.4	
10	3.13 A	Berhasil	Relay Off	1.0	

Dari 10 kali percobaan dengan beban lebih dari 2A, sistem berhasil memutus beban sebanyak 10 kali sehingga tingkat keberhasilan proteksi mencapai 100%. Waktu respon diukur menggunakan stopwatch, dimulai saat beban tambahan diberikan dan dihentikan ketika relay OFF, dengan rata-rata 1,5 detik serta variasi antara 0,7–2,4 detik. Hal ini menunjukkan proteksi bekerja cukup cepat dan konsisten. Sebagai perbandingan, pada pengujian MCB dengan beban 3A, waktu yang dibutuhkan untuk trip adalah sekitar 2 menit 30 detik, sehingga sistem proteksi elektronik terbukti jauh lebih responsif dibandingkan MCB konvensional.



BAB V

KESIMPULAN & SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian panel proteksi dan monitoring multi channel, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem monitoring daya mampu menampilkan data tegangan, arus, dan status proteksi secara real-time melalui OLED display.
2. Sensor arus (ACS712) dan sensor PZEM telah diuji dan dikalibrasi sehingga mampu memberikan hasil pengukuran dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Dengan nilai error rata rata pembacaan sensor arus sebesar 4.0% dan error rata rata pembacaan tegangan sensor PZEM sebesar 0.48%.
3. Berdasarkan hasil pengujian proteksi, fungsi proteksi bekerja sesuai tujuan, yaitu memutus beban yang mengalami gangguan tanpa mengganggu channel lain.

4. Secara keseluruhan, alat ini mampu memproteksi beban listrik berdasarkan gangguan arus lebih , serta memberikan monitoring yang akurat dan responsif.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. **Integrasi IoT lebih luas:** Sistem dapat dikembangkan dengan dashboard berbasis web atau aplikasi mobile agar monitoring bisa dilakukan dari jarak jauh secara lebih interaktif.
2. **Memisahkan supply sensor dan supply relay :** hal ini bertujuan untuk menghindari noise terhadap pembacaan sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Syahputra, *Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2021.
- [2] PLN (Persero), “Keandalan Listrik Meningkat, PLN Catat Penurunan Durasi dan Frekuensi Gangguan di 2024,” web.pln.co.id. Accessed: Feb. 24, 2026. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2025/02/keandalan-listrik-meningkat-pln-catat-penurunan-durasi-dan-frekuensi-gangguan-di-2024>
- [3] F. Rohman Syah, “Analisis Hubung Singkat Pada Sistem Distribusi 20 kV PT. Pertamina Ep Asset 4 Field Cepu Distrik Ledok Menggunakan ETAP 12.6.0,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 699–706, 2021.
- [4] F. Maulana Rizqi and I. Hartoyo, “DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN IOT-BASED ELECTRICAL DISTURBANCE PROTECTION AND LOAD MONITORING SYSTEM USING ESP32 MICROCONTROLLER,” 2025. [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/v3/jaeai>
- [5] M. Dwi Cahyo, A. Ubaidillah, and A. Fiqhi Ibadillah, “RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI DAN

MONITORING ENERGI LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER MENGGUNAKAN VISUAL STUDIO Uji Coba Diakses di PT. PANCAWANA INDONESIA,” *CYCLOTRON*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, Jul. 2018.

- [6] D. Agustian *et al.*, “Peran Keandalan Sistem Proteksi Sebagai Strategi Optimalisasi Distribusi Listrik Pada Jaringan Tegangan Menengah,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Komputer dan Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 9–14, 2025, [Online]. Available: <https://prosiding.seminars.id/sainteks>
- [7] U. U. Uma *et al.*, “Adaptive overcurrent protection scheme coordination in presence of distributed generation using radial basis neural network,” *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol. 8, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/s41601-023-00336-4.
- [8] A. Daud, J. Teknik, and K. Energi, “RANCANG BANGUN MODUL PROTEKSI ARUS BEBAN LEBIH DAN HUBUNG SINGKAT,” *Jurnal Teknik Energi*, vol. 9, no. 1, pp. 37–44, Nov. 2019.
- [9] N. Salim, E. A. Soetedjo, S. T. Ni, and P. Agustini, “RANCANG BANGUN PROTOTYPE ALAT PROTEKSI OVER CURRENT MENGGUNAKAN KONTROL

- ARDUINO,” in *Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang Tahun Akademik Ganjil/Genap 2018/2019*, Malang, Jan. 2019, pp. 1–2.
- [10] A. A. Arefin, A. S. Nazmul Huda, Z. Syed, A. Kalam, and H. Terasaki, “ACS712 Based Intelligent Solid-State Relay for Overcurrent Protection of PV-Diesel Hybrid Mini Grid,” in *2020 IEEE Student Conference on Research and Development, SCORED 2020*, Johor: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2020, pp. 59–62. doi: 10.1109/SCORED50371.2020.9251026.
- [11] Syukriyadin, I. D. Sara, and F. Mashuri, “Design of a Digital Standard Inverse Overcurrent Relay Using Arduino Uno as a Microcontroller,” in *2018 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, Banda Aceh: IEEE, Sep. 2018, pp. 45–50.
- [12] E. Surya, “Electrical Protection Systems: Pengertian, Jenis, dan Manfaatnya,” PT Simed Prakarsa Indonesia. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available: <https://simed.co.id/electrical-protection-systems-pengertian-jenis-dan-manfaatnya/>

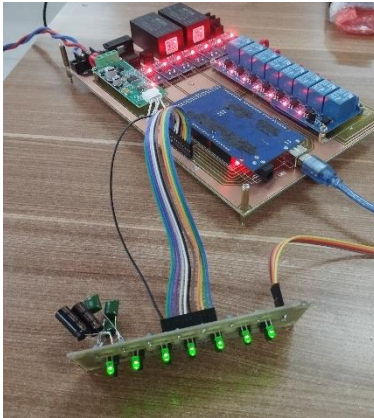
- [13] Agung, “Sistem Monitoring : Pengertian, Jenis dan Tujuan,” Testindo. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available: <https://testindo.co.id/sistem-monitoring-system-pengertian/>
- [14] Robi, “Mikrokontroler: Pengertian, Fungsi, Jenis, dan Cara Kerjanya,” Ilmu Teknik. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available: <https://ilmuteknik.id/mikrokontroler/>
- [15] D. Kho, “Pengertian Sensor dan Jenis-jenis Sensor,” Teknik Elektronika2025. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/pengertian-sensor-jenis-jenis-sensor/>
- [16] J. Sitepu, “Macam-Macam Sensor Arus pada Rangkaian Elektronik,” Mikroavr.com. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available: <https://mikroavr.com/macam-macam-sensor-arus/>
- [17] EmpatPilar.com, “Pengertian Sensor Tegangan dan Cara Kerjanya Secara Lengkap,” EmpatPilar.com. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available: <https://www.empatpilar.com/pengertian-sensor-tegangan/>
- [18] PT Surya Elektrindo Swastika, “Mengenal Panel Listrik: Fungsi, Jenis, dan Peran Pentingnya dalam Instalasi Elektrik,” PT Surya Elektrindo Swastika. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available:

- <https://suryaelektrindoswastika.com/mengenal-panel-listrik-fungsi-jenis-dan-peran-pentingnya-dalam-instalasi-elektrik/>
- [19] PT. Berkah Sejahtera Indonesia Bersama, “Mengenal Sistem Proteksi dan Keamanan dalam Box Panel Listrik,” PT. Berkah Sejahtera Indonesia Bersama. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available: <https://www.solarcellpju.com/blog/mengenal-sistem-proteksi-dan-keamanan-dalam-box-panel-listrik>
- [20] PT. Sindutama Industri Teknik, “Panel LVMDP dan Keamanan Listrik: Apa yang Perlu Anda Tahu,” PT. Sindutama Industri Teknik. Accessed: Jan. 22, 2026. [Online]. Available: <https://www.panel-listrik.co.id/blog/panel-lvmdp-keamanan-listrik>
- [21] Suhinar El, “Hukum Ohm dalam Kelistrikan: Pemahaman Dasar dan Penerapannya dalam Rangkaian Listrik,” www.listrik-praktis.com. Accessed: Feb. 26, 2026. [Online]. Available: https://www.listrik-praktis.com/2024/09/hukum-ohm-dalam-kelistrikan.html?utm_source=copilot.com

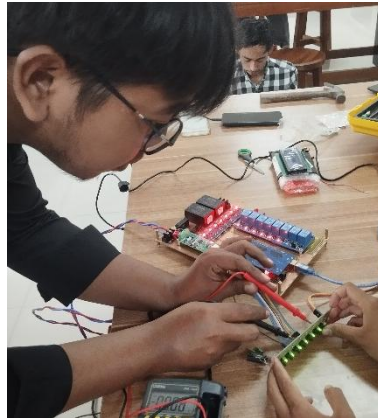
LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Tugas Akhir

Integrasi keseluruhan komponen



Proses pengukuran ADC Tombol



Hasil Pengukuran Tegangan
Output Tombol 1



Hasil Pengukuran Tegangan
Output Tombol 2



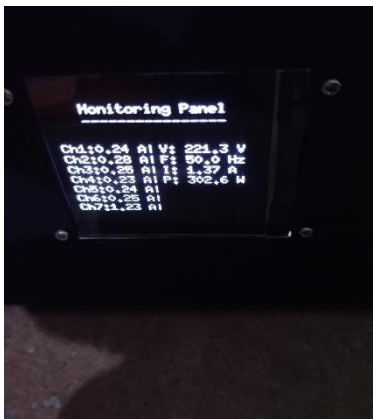
Pengukuran Arus Pada Uji
Sensor ACS712



Pembacaan Arus Pada Uji Sensor
ACS712



Pembacaan Arus dan Tegangan
Pada Uji Sensor PZEM-004T



Pengukuran Arus Pada Uji
Sensor PZEM-004T



Pengukuran Tegangan Pada Uji
Sensor PZEM-004T



Hasil Bending Case



Hasil Perakitan Komponen



Hasil Akhir Alat



Lampiran 2 QR Code Dokumentasi Video Tugas Akhir



BIODATA PENULIS



Iben Fauzantaro lahir di Pamekasan 27 Juli 2003. Penulis merupakan anak ke lima dari lima bersaudara dari pasangan suami istri yang bernama Saiful Bahri dan Indra Susilawati. Riwayat Pendidikan terakhir penulis di TMI Al-Amien Prenduan Sumenep Madura dan lulus di tahun 2022. Penulis memutuskan untuk melanjutkan Pendidikan perguruan tinggi di Politeknik Negeri Madura tepatnya di jurusan Teknologi Elektro prodi D3 Teknik Listrik Industri pada tahun 2023. Selama menempuh Pendidikan penulis mengikuti beberapa kegiatan yaitu UKM Science Community, POLTERA Robotic Team, serta UKM KRS POLTERA . Dalam menempuh Pendidikan ini penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“PERANCANGAN PANEL PROTEKSI DAN MONITORING *MULTI CHANNEL* PADA SISTEM DISTRIBUSI DAYA 220V BERBASIS MIKROKONTROLER”**