

**SISTEM KENDALI DAN PROTEKSI ARUS BERLEBIH PADA ALAT
RUMAH TANGGA BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar S1 pada
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung
Semarang



DISUSUN OLEH:

REGGY YUDHA SEPTIYANTO

30602200231

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
AGUSTUS 2025**

FINAL PROJECT

**CONTROL AND OVERCURRENT PROTECTION SYSTEM FOR
HOUSEHOLD APPLIANCES BASED ON THE *INTERNET OF THINGS***

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung Semarang*



ARRANGED BY:

REGGY YUDHA SEPTIYANTO

30602200231

MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING

INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

AGUSTUS 2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**SISTEM KENDALI DAN PROTEKSI ARUS BERLEBIH PADA ALAT RUMAH TANGGA BERBASIS *INTERNET OF THINGS***” ini disusun oleh:

Nama : Reggy Yudha Septiyanto

NIM : 30602200231

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 21 Agustus 2025

Pembimbing


Dr. Ir. Muhammad Khosvi'in, ST., MT., IPM.
NIDN. 0625077901

Mengetahui,

Ketua Pogram Studi Teknik Elektro




Jenny Putri Hapsari, ST., MT.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**SISTEM KENDALI DAN PROTEKSI ARUS BERLEBIH PADA ALAT RUMAH TANGGA BERBASIS *INTERNET OF THINGS***” ini telah dipertahankan di depan dosen penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 21 Agustus 2025

TIM PENGUJI

Penguji I

Dr. Ir. Muhammad Khosyi'in, ST., MT., IPM

NIDN. 0625077901

Penguji II

Ir. Suryani Alifah, M.T., Ph.D.

NIDN. 0615036901

Ketua Penguji

Dr. Bustanul Arifin, S.T., M.T.

NIDN. 0614117701

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reggy Yudha Septiyanto

NIM : 30602200231

Fakultas : Teknologi Industri

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang** dengan judul **“Sistem Kendali dan Proteksi Arus Berlebih pada Alat Rumah Tangga Berbasis *Internet of Things*”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 09 Agustus 2025

Yang Menyatakan

Mahasiswa



Reggy Yudha S

NIM.30602200231



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reggy Yudha Septiyanto

NIM : 30602200231

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul: SISTEM KENDALI DAN PROTEKSI ARUS BERLEBIH PADA ALAT RUMAH TANGGA BERBASIS *INTERNET OF THINGS*.

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 09 Agustus 2025

Yang menyatakan

Mahasiswa



Reggy Yudha Septiyanto

HALAMAN MOTTO

Motto:

“Karena sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 6)

“Jika kamu menghadapi kesulitan, ingatlah bahwa sesungguhnya kesabaran itu adalah kunci dari setiap urusan.”

(Umar bin Khattab – Khalifah Rasyidin ke-2)

“Bersedihlah bukan karena kamu tidak dihargai, tetapi karena kamu tidak menjadi pribadi yang layak dihargai.”

(Imam Al-Ghazali – Ulama besar dan ahli tasawuf)

“The way to get started is to quit talking and begin doing.”

(Walt Disney – Kreator animasi dan pendiri Disney)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang atas segala Rahmat dan Nikmat-Nya sehingga masih diberi kesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat. Shalawat serta salam tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammada SAW, semoga kelak kita menerima syafaatnya. Aamiin Ya Rabbalaalamin.

Penyusunan Perancangan ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Tugas Akhir ini tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan secara moril maupun juga materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Gunarto, SH., MH. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, ST., MT. IPU. ASEAN Eng sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Ir. Budi Pramono Jati, MM., MT. selaku dosen wali Teknik Elektro kelas mitra 2022 yang telah memberikan arahan selama menempuh studi.
5. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khosyi'in, ST., MT., IPM. selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang sekaligus dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, arahan, dukungan, serta sabar, membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Kedua orang tua saya beserta segenap keluarga yang saya cintai, yang telah memberikan dukungan baik materil maupun non materil serta senantiasa

memberikan doa, semangat, perhatian, kesabaran, dan kasih sayang yang tiada hentinya kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

8. Teruntuk teman-teman Teknik Elektro kelas mitra 2022 atas segala bantuan dan dukungannya.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan, doa, semangat, dan perhatian kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis juga menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini memiliki banyak kekurangan, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Penulis mohon maaf dan mohon kritik serta saran yang membangun dari berbagai disiplin ilmu agar laporan ini dapat lebih baik di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi para pembaca khususnya penulis, dan dapat menambah wawasan.

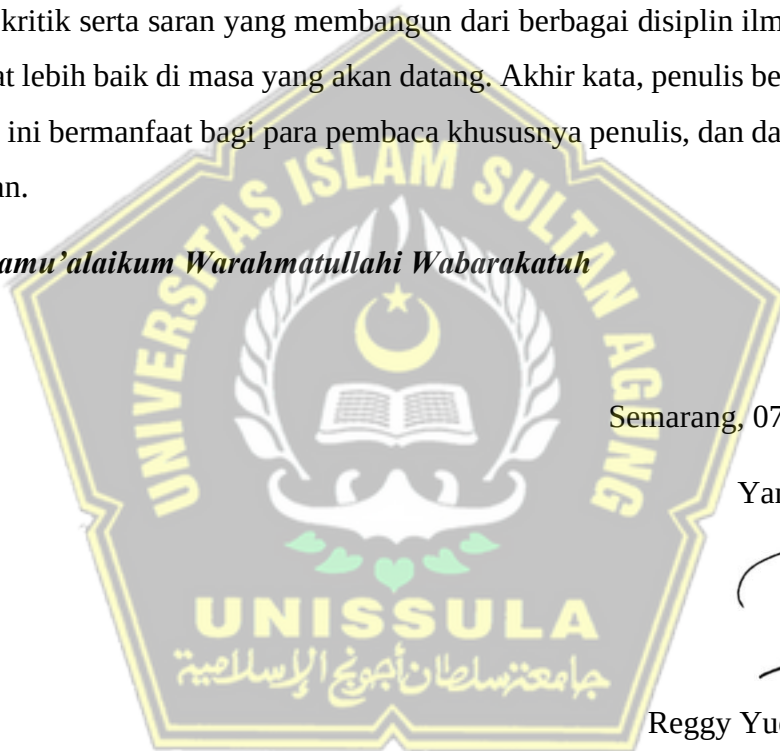
Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, 07 Agustus 2025

Yang menyatakan



Reggy Yudha Septiyanto



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (BAHASA INDONESIA).....	i
HALAMAN JUDUL (BAHASA INGGRIS)	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Studi Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Node MCU ESP 8266	8
2.2.2 Sensor PZEM 004T.....	9
2.2.3 Relai	11
2.2.4 OLED I2C 0,96	12
2.2.5 Rumus Mencari Nilai Deviasi dan Deviasi Rata-Rata.....	12
2.2.6 Rumus Mencari Nilai <i>Error</i> dan Akurasi.....	13
2.2.7 VRMS (<i>Voltage Root Mean Square</i>)	13
2.2.8 IRMS (<i>Current Root Mean Square</i>).....	14
2.2.9 XAMPP	14

2.2.10 Framework Laravel	15
2.2.11 PhpMyAdmin.....	15
2.2.12 Visual Studio Code	16
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Analisis Kebutuhan.....	17
3.2 Desain Sistem.....	18
3.3 Pembuatan Perangkat Keras	20
3.3.1 Rangkaian Perangkat Keras	20
3.3.2 Diagram Alir Perangkat Keras	21
3.3.3 Pengukur Nilai Tegangan dan Arus	22
3.3.4 Tombol Kendali Secara Langsung.....	23
3.3.5 Penampil Nilai.....	23
3.3.6 Pemutus Aliran.....	24
3.4 Pembuatan Perangkat Lunak.....	24
3.4.1 Diagram Alir Perangkat Lunak.....	24
3.4.2 Desain Website.....	25
3.4.3 Proteksi Arus pada Website	26
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS	28
4.1 Pengukuran Tegangan.....	28
4.2 Pengukuran Beban Arus	31
4.3 Hasil Kendali Sistem Secara Manual dan Website.....	33
4.4 Pengujian Proteksi Alat Rumah Tangga	33
BAB 5 KESIMPULAN.....	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Node MCU ESP8266	9
Gambar 2.2 Modul PZEM-004T	10
Gambar 2.3. Diagram Blok PZEM-004T.....	10
Gambar 2.4 Relai 250V/10A.....	12
Gambar 2.5 OLED Display 0.96 inci.....	12
Gambar 2.6 Laravel (Sumber: https://laravel.com).....	15
Gambar 2.7 phpMyAdmin Logo (Sumber: https://www.phpmyadmin.net/).....	16
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Kendali dan Proteksi Arus Berlebih pada Alat Rumah Tangga Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT)	19
Gambar 3.2 Rangkaian Perangkat Keras	21
Gambar 3.3 Diagram Alir Perangkat Keras	22
Gambar 3.4 Diagram Alir Perangkat Lunak	25
Gambar 3.5 Tampilan Website	26
Gambar 3.6 Notifikasi Masukan Batasan Arus.....	26
Gambar 3.7 Peringatan Notifikasi.....	27
Gambar 4.1 Pengukuran Tegangan.....	28
Gambar 4.2 Pengukuran Arus pada Beban	31
Gambar 4.3 Pengujian Proteksi Alat Rumah Tangga	34

DAFTAR TABEL

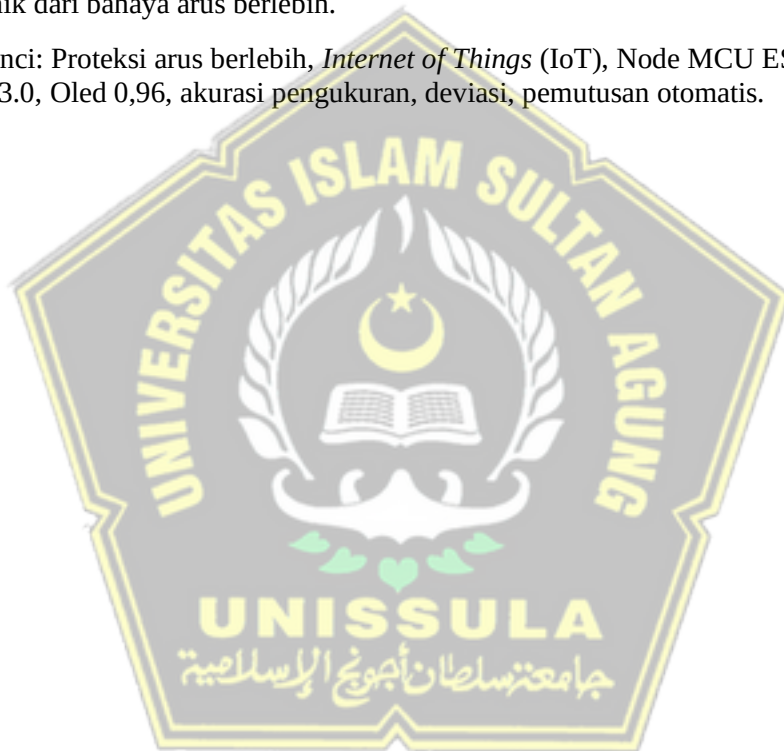
Tabel 2.1 Posisi Tugas Akhir	7
Tabel 3.1 Tabel Analisis Kebutuhan.....	18
Tabel 3.2 Pin PZEM-004T	23
Tabel 3.3 Pin Tombol Kendali On/Off	23
Tabel 3.4 Pin Tombol Pembatasan Arus.....	23
Tabel 3.5 Pin Oled 0,96.....	23
Tabel 3.6 Pin Relai.....	24
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pengukuran Tegangan	28
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pengukuran Beban Arus	32
Tabel 4.3 Hasil pengujian kendali secara manual maupun melalui website	33
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pengujian Alat Rumah Tangga.....	34



ABSTRAK

Peralatan rumah tangga dapat mengalami kerusakan akibat arus listrik yang melebihi ambang batas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali serta proteksi arus berlebih pada alat rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler Node MCU ESP8266 dan sensor PZEM-004T V3.0. Sistem ini dirancang untuk melakukan pemantauan dan pemutusan arus listrik secara otomatis apabila melebihi nilai set poin yang ditentukan, dengan pemantauan melalui OLED 0,96 inci dan penampil website. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi pengukuran arus rata-rata mencapai 93,89% dengan deviasi 0,012, sedangkan akurasi pengukuran tegangan mencapai 99,43% dengan deviasi sebesar 0,282. Sistem ini menunjukkan keandalan fungsi proteksi dengan rata-rata akurasi ketepatan pemutusan sebesar 99,51% dan deviasi sebesar 0,005. Adapun waktu tunda rata-rata dalam merespons arus lebih tercatat selama 0,49 detik. Dengan akurasi tinggi, deviasi rendah, serta kemampuan pemutusan otomatis yang cepat dan presisi, sistem ini efektif digunakan sebagai solusi proteksi perangkat elektronik dari bahaya arus berlebih.

Kata kunci: Proteksi arus berlebih, *Internet of Things* (IoT), Node MCU ESP8266, PZEM-004T V3.0, Oled 0,96, akurasi pengukuran, deviasi, pemutusan otomatis.



ABSTRACT

Household appliances are susceptible to damage if the electrical current exceeds a certain threshold. Therefore, this study aims to design a control and overcurrent protection system for household electrical devices based on the Internet of Things (IoT), utilizing the Node MCU ESP8266 microcontroller and the PZEM-004T V3.0 sensor. The system is designed to monitor and automatically disconnect electrical current when it exceeds a predefined set point, with monitoring interfaces provided through a 0.96-inch OLED display and a web-based dashboard. Test results show that the system achieves an average current measurement accuracy of 93.89% with a deviation of 0.012, while voltage measurement accuracy reaches 99.43% with a deviation of 0.282. The system demonstrates reliable protection performance, with an average cut-off accuracy of 99.51% and a deviation of 0.005. The average response delay time to overcurrent events is recorded at 0.49 seconds. With high accuracy, low deviation, and a fast, precise disconnection mechanism, this system proves effective as a protective solution for electronic devices against overcurrent risks.

Keywords: Overcurrent protection, Internet of Things (IoT), Node MCU ESP8266, PZEM-004T V3.0, OLED 0.96, measurement accuracy, deviation, automatic cut-off.



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan dalam teknologi kelistrikan telah memberikan banyak kemudahan dalam kehidupan rumah tangga. Berbagai perangkat listrik seperti kompor listrik, mesin cuci, dan peralatan rumah tangga lainnya kini menjadi bagian dari kebutuhan sehari-hari. Namun, penggunaan peralatan ini juga membawa risiko, seperti adanya anomali pada sistem kelistrikan yang dapat menyebabkan kerusakan perangkat atau bahkan bahaya yang lebih besar, seperti kebakaran.

Beberapa contoh anomali yang umum terjadi meliputi korsleting listrik yang disebabkan oleh isolasi kabel rusak atau hubungan langsung antara kabel fasa dan netral, *overload* (beban berlebih) ketika peralatan menarik arus lebih besar dari kapasitas jaringan listrik, *overheating* (pemanasan berlebih) akibat saklar atau stopkontak yang berkualitas rendah, serta fluktuasi tegangan atau lonjakan tegangan listrik. Lonjakan tegangan dapat merusak peralatan sensitif seperti komputer atau televisi, dan peralatan listrik di dapur, sementara fluktuasi tegangan dapat mengganggu kinerja peralatan rumah tangga seperti kulkas atau mesin cuci (Ridwan et al., 2024). Anomali-anomali ini tidak hanya berpotensi merusak peralatan rumah tangga, tetapi juga dapat membahayakan keselamatan penghuni rumah.

Peralatan rumah tangga sering kali tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang memadai. Untuk mengatasi masalah ini, penambahan sistem proteksi arus berlebih dan hubung singkat pada alat sangat diperlukan. Dengan adanya sistem proteksi ini, diharapkan alat yang digunakan dapat bertahan lebih lama dan terhindar dari kerusakan alat. Melihat kemajuan teknologi di era sekarang ini, diusulkan sebuah gagasan untuk membuat Sistem Kendali dan Proteksi Arus Berlebih pada Alat Rumah Tangga Berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini menggunakan web

berbasis IoT yang dapat diakses di mana saja menggunakan telepon cerdas atau komputer. Melalui web atau secara manual, sistem ini dapat mengendalikan dan memberikan proteksi pada peralatan rumah tangga.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka ada beberapa perumusan masalah yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Bagaimana cara merancang sistem kendali dan proteksi arus berlebih pada alat rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT)?
2. Bagaimana cara sistem mendeteksi terjadinya arus berlebih dan bagaimana mekanisme proteksinya bekerja?
3. Bagaimana sistem dapat merubah nilai proteksi arus sesuai kebutuhan?

1.3 Batasan Masalah

Terdapat batasan terhadap pembuatan alat pemantauan genset ini, yaitu:

1. Sistem terbatas digunakan pada beban satu fasa.
2. Sensor PZEM-004T digunakan untuk membaca data tegangan, dan arus.
3. Alat dan komputer atau telepon cerdas harus tersambung dengan internet agar dapat mengirimkan data dan memberikan batasan proteksi arus. Oleh karena itu, lokasi pemasangan harus terjangkau koneksi internet.

1.4 Tujuan

Tujuan dari perancangan penelitian ini yaitu:

1. Mengembangkan sistem kendali dan proteksi arus berlebih pada alat rumah tangga yang efektif dan efisien.
2. Merancang dan membangun sistem kendali dan proteksi arus berlebih berbasis IoT yang mudah diimplementasikan dan diakses.
3. Menciptakan sistem yang fleksibel dan responsif terhadap kebutuhan pengguna.

1.5 Manfaat

Penelitian ini bermanfaat untuk:

1. Mengetahui batasan arus alat yang digunakan untuk alat rumah tangga.
2. Dapat dirancang untuk kompatibel dengan berbagai jenis peralatan rumah tangga dan dapat ditingkatkan skalanya sesuai kebutuhan pengguna.
3. Dapat memantau dan memberikan batasan arus yang lebih baik terhadap alat listrik hanya melalui website.
4. Memberikan kemudahan dan fleksibilitas dalam mengendalikan dan memproteksi alat rumah tangga.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka terhadap perancangan yang telah dilakukan, serta segala sesuatu yang berhubungan secara umum terkait pemahaman sistem pengaman dan pelacak brankas dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode Perancangan, proses perancangan perangkat keras, dan proses pemrograman perangkat lunak.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini membahas hasil dari perancangan sistem pengaman dan pelacak brankas yang telah dirancang.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil perancangan sistem pengaman dan pelacak brankas dan saran untuk Perancangan Tugas Akhir kedepannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Penelitian Terdahulu

Berkaitan dengan judul yang ditentukan tersebut, berikut ini akan dikemukakan beberapa penelitian yang berhubungan dengan Analisis ini, diantaranya adalah:

- [1.] Implementasi Sistem Proteksi Arus Beban Lebih pada Rumah Tinggal Sederhana menggunakan *Internet of Things* (IoT) dengan Aplikasi Blynk (Kurniawan & Amirullah, 2024). Penelitian ini memanfaatkan aplikasi Blynk pada smartphone berbasis Android untuk melakukan pemantauan, pemutusan beban, serta pengendalian penggunaan listrik di rumah secara jarak jauh melalui koneksi internet. Sistem yang dirancang mampu memantau hingga 10 perangkat listrik, yaitu: setrika, kipas angin, lemari es, solder, charger ponsel, charger laptop, raket nyamuk, lampu hemat energi, lampu LED, dan lampu pijar.
- [2.] Perancangan Sistem Pengukuran Arus dan Proteksi Arus Lebih pada Sistem Kontrol dan Monitoring Stop Kontak (Danniswara et al., 2020). Pembacaan sensor ZMCT103C menunjukkan hasil yang hampir identik dengan amperemeter, dengan rata-rata selisih yang sangat kecil. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh interferensi dari perangkat listrik lain yang aktif di sekitar sensor, yang memengaruhi tingkat sensitivitasnya. Secara keseluruhan, pengujian sistem proteksi arus menunjukkan keberhasilan, karena seluruh parameter dan skenario pengujian berhasil dicapai. Namun, terdapat kendala pada pengujian menggunakan rangkaian dimmer, di mana lampu LED tidak dapat diredupkan. Hal ini terjadi karena jenis LED yang digunakan adalah *non-dimmable*, yang memiliki rangkaian driver internal untuk mengubah arus AC menjadi DC, sehingga tidak kompatibel dengan pengaturan menggunakan dimmer berbasis resistor variabel.
- [3.] Monitoring Penggunaan Listrik Di Ruang Berbasis *Internet of Things* (IoT) (Lubis et al., 2023). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar

konsumsi energi listrik yang digunakan setiap harinya. Sistem monitoring konsumsi energi berbasis IoT ini memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor PZEM-004T. Dari hasil pengujian, terdapat tingkat error pada pembacaan tegangan sebesar 0,27% dan arus sebesar 1,96%. Untuk meningkatkan fungsionalitas, sistem ini perlu dilengkapi dengan fitur pemutusan beban melalui aplikasi, sehingga pengguna dapat mematikan peralatan listrik dari jarak jauh dan menghindari pemborosan biaya.

- [4.] Implementasi Visual Studio pada Sistem Monitoring Daya dan Proteksi Rele Arus Lebih Menggunakan *Automatic Transfer Switch/Automatic Main Failure* (ATS/AMF) Disuplai oleh Kombinasi Grid dan *Photovoltaic* (PV) (Riftianto & Amirullah, 2024). Penelitian ini mengusulkan penerapan sistem untuk memantau arus dan tegangan keluaran dari ATS/AMF yang menerima suplai daya dari dua sumber, yaitu jaringan listrik PLN dan pembangkit tenaga surya (*photovoltaic*/PV). Sistem ini dirancang untuk secara otomatis mengelola kombinasi kedua sumber energi tersebut. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada beban keluaran ATS/AMF, sementara Arduino Uno berperan dalam mengendalikan relai proteksi guna memutus atau menyambung arus beban sesuai kebutuhan. Seluruh parameter seperti arus, tegangan, daya, serta performa relai proteksi dipantau melalui aplikasi Visual Studio. Namun, perangkat ini masih dibatasi untuk digunakan pada beban kecil sebesar 0,6 A sehingga kemampuan dan performanya masih tergolong terbatas.
- [5.] Perancangan Prototype Proteksi Arus Beban Lebih Pada Beban DC Menggunakan Mikrokontroler (Suyanto & Yusuf, 2013). Penelitian ini menghasilkan prototipe sistem proteksi arus lebih yang terdiri dari berbagai komponen, antara lain Sensor Arus ACS712 5 Ampere, mikrokontroler Arduino Uno, LCD 16x2, ULN 2003, relai 12 Volt DC, power supply AC to DC, Buck Converter DC to DC, serta komponen pendukung lainnya. Agar sistem dapat bekerja dengan akurat dalam melindungi saluran, diperlukan proses kalibrasi menggunakan potensiometer untuk mengatur batas maksimal arus dan *Buck Converter* untuk mengontrol tegangan. Namun, sistem ini belum

dilengkapi dengan kemampuan pemantauan dan pengendalian perangkat secara jarak jauh.

- [6.] Prototipe Pengawas Sistem Proteksi Arus Lebih Elektronik Secara Nirkabel (A. R. Anwar & Siswanto, 2020). Sistem proteksi ini terdiri dari beberapa komponen utama seperti relai arus lebih, catu daya, baterai, dan *circuit breaker*. Seluruh komponen dirakit menjadi satu kesatuan sistem menggunakan kabel, yang dalam praktiknya masih berisiko mengalami kendur, terlepas, atau gangguan lain yang belum dapat terpantau secara *real-time*, sehingga berpotensi menimbulkan kegagalan fungsi proteksi. Sistem ini dirancang untuk memantau tegangan dari catu daya dan baterai melalui port input analog, serta mengawasi kondisi rangkaian kabel trip *coil* menggunakan *optocoupler* PC017 sebagai sensor digital input pada Arduino. Data yang diperoleh Arduino Uno kemudian dikirim ke database online melalui modul WiFi ESP8266 dan ditampilkan pada aplikasi di ponsel Android.
- [7.] Perancangan Stop Kontak Pengendali Energi Listrik dengan Sistem Keamanan Hubung Singkat dan Fitur Notifikasi Berbasis *Internet Of Things* (IoT) (Fahrudin Nur Iksan & Gunawan Tjahjadi, 2018). Penelitian ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32, aplikasi Blynk, serta beberapa sensor pendukung, yaitu tiga sensor TA12-100 untuk pengukuran arus dan satu sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu. Sistem yang dikembangkan memungkinkan stop kontak dikendalikan melalui aplikasi Blynk menggunakan koneksi internet, serta dilengkapi fitur pengaman terhadap arus berlebih, suhu tinggi, dan notifikasi peringatan. Hasil pengujian sensor menunjukkan bahwa sensor arus TA12-100 dengan rata-rata pembacaan sebesar 0,6 A memiliki selisih rata-rata masing-masing sebesar 0,004 A, 0,01 A, dan 0,002 A pada tiap power socket. Sementara itu, sensor suhu DS18B20 menunjukkan rata-rata suhu 29,29 °C dengan selisih rata-rata sebesar 0,492 °C. Adapun standar deviasi untuk sensor arus TA12-100 masing-masing adalah 0,018 A, 0,025 A, dan 0,028 A, sedangkan untuk sensor suhu DS18B20 sebesar 0,00516 °C.

Pada perancangan sistem ini, fungsi alat telah ditingkatkan melalui penambahan tombol tekan yang memungkinkan pengguna untuk mengatur batas arus serta mengendalikan relai secara lokal. Selain itu, sistem juga terhubung dengan website berbasis framework Laravel, yang digunakan sebagai antarmuka pemantauan dan pengendalian perangkat dari jarak jauh melalui jaringan internet.

Penggunaan Laravel memberikan keleluasaan yang lebih besar dalam merancang dan menyesuaikan fitur pada website, baik dari segi tampilan maupun fungsionalitas. Tidak seperti platform siap pakai seperti Blynk yang terbatas pada menu dan komponen bawaan, Laravel memungkinkan merancang sistem sesuai kebutuhan, seperti menambahkan logika kontrol khusus, atau integrasi dengan layanan eksternal.

Selain fleksibilitasnya, sistem ini juga memiliki kemampuan deteksi arus yang sangat akurat, dengan ketelitian mencapai 0,01 Ampere. Tingkat ketelitian ini memungkinkan sistem memberikan respons cepat dan presisi terhadap perubahan arus, sehingga lebih andal dalam melindungi perangkat dari arus berlebih.

Perbandingan tinjauan pustaka dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Posisi Tugas Akhir

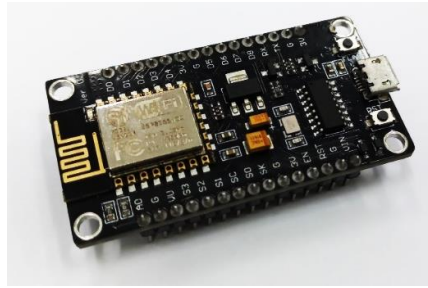
Perbandingan	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	Tugas akhir yang akan dibuat
Pemroses								
Node MCU ESP 8266	√		√	√				√
Arduino UNO	√			√	√	√		
ESP 32		√					√	
Modul Wifi Shield ESP8266						√		
Masukan								
PZEM-004T	√		√	√				√
Push Button								√
Sensor Arus ZMCT103C		√						
Rangkaian Dimmer		√						
Sensor Arus ACS 712 5A					√			
Potensiometer					√			

Perbandingan	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	Tugas akhir yang akan dibuat
Masukan								
<i>Current Transformator</i>						√		
Sensor Optocoupler						√		
Sensor Suhu DS18B20							√	
Sensor Arus TA12-100							√	
Luaran								
Relai	√	√		√	√	√	√	√
Oled 0.96								√
Website Laravel								√
Bel/Buzzer								√
Blynk	√		√					
LCD 16x2			√		√		√	

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Node MCU ESP 8266

Node MCU ESP8266 merupakan salah satu mikrokontroler yang biasa digunakan untuk kepentingan *Internet of Things* (IoT) dikarenakan fasilitasnya yang sudah dilengkapi dengan wifi untuk terkoneksi dengan internet. Node MCU adalah sebuah platform IoT yang bersifat sumber terbuka. Terdiri dari perangkat keras berupa sistem pada Cip ESP8266 dari ESP8266 buatan Espressif System, juga perangkat tegak yang digunakan, yang menggunakan bahasa pemrograman scripting Lua. Node MCU bisa dianalogikan sebagai papan arduino pada ESP8266. Dalam memprogram ESP8266 diperlukan beberapa teknik pengawatan serta tambahan modul USB to serial untuk mengunduh program. Namun, Node MCU telah memaketkan ESP8266 ke dalam sebuah papan yang kompak dengan berbagai fitur layaknya mikrokontroler dan kapabilitas akses terhadap Wifi juga cip komunikasi USB to serial. Sehingga untuk memprogramnya hanya diperlukan ekstensi kabel data USB persis yang digunakan sebagai kabel data dan kabel pengisi daya telepon cerdas Android. Bentuk fisik Node MCU ESP8266 ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Artiyasa et al., 2020).



Gambar 2.1 Node MCU ESP8266

Spesifikasi Node MCU ESP8266 adalah sebagai berikut:

Mikrokontroler: Tensilica 32-bit RISC CPU Xtensa LX106

Tegangan operasi: 3.3V

Pin Digital I/O (DIO): 8

Pin Analog Input (ADC): 1

UARTs: 2

SPIs: 1

I2Cs: 1

Flash Memory: 4 MB

SRAM: 64 KB

Clock Speed: 80 MHz

PCB Antenna

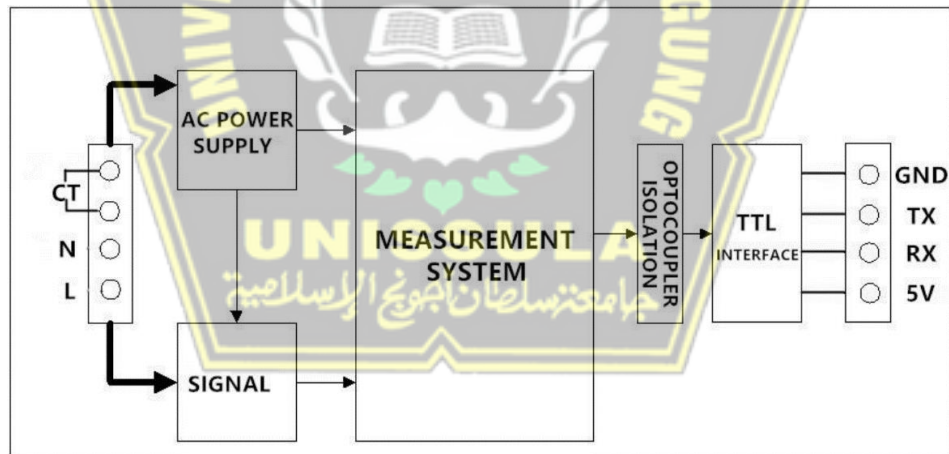
2.2.2 Sensor PZEM 004T

PZEM-004T merupakan Modul komunikasi AC, modul ini terutama digunakan untuk mengukur tegangan AC, arus, daya aktif, frekuensi, faktor daya dan energi aktif, modul tanpa fungsi tampilan, data dibaca melalui TTL Antarmuka. Dimensi fisik dari papan PZEM-004T adalah $3,1 \times 7,4$ cm. Modul PZEM-004T dibundel dengan kumparan trafo arus diameter 3mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal sebesar 100A. PZEM-004T dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini. (S. Anwar et al., 2019).



Gambar 2.2 Modul PZEM-004T

Modul ini terutama digunakan untuk mengukur tegangan AC, arus, daya aktif, dan frekuensi. Data dibaca melalui antarmuka TTL. Antarmuka TTL dari modul ini adalah antarmuka pasif, membutuhkan catu daya eksternal 5V, yang berarti ketika berkomunikasi, keempat port harus terhubung (5V, RX, TX, GND), jika tidak modul sensor PZEM 004T tidak dapat berkomunikasi. Gambar 2.3 merupakan diagram blok dari Modul PZEM-004T.



Gambar 2.3. Diagram Blok PZEM-004T

Deskripsi fungsi PZEM-004T yaitu:

- 1 Tegangan
 - a Rentang pengukuran: 80~260V
 - b Resolusi: 0.1V
 - c Error: 0.5%

2 Arus

- a Rentang pengukuran: 0~100A (PZEM -004T-100A).
- b Mulai mengukur arus: 0.02A (PZEM-004T-100A).
- c Resolusi: 0.001A.
- d Error: 0.5%.

3 Daya

- a Rentang pengukuran: 0~23kW (PZEM-004T-100A).
- b Mulai mengukur daya: 0.4W.
- c Resolusi: 0.1W.
- d Error: 0.5%.

4 Frekuensi

- a Rentang pengukuran: 45Hz~65Hz
- b Resolusi: 0.1 Hz
- c Error: 0.5%.

(S. Anwar et al., 2019)

2.2.3 Relai

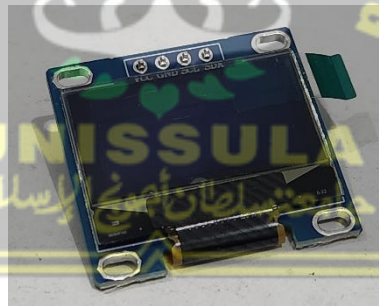
Relai merupakan *switch* yang memiliki *coil* (Elektromagnet) dan mekanikal (seperangkat saklar) dan dioperasikan secara elektrik. Relai memiliki arus listrik kecil dan menggunakan prinsip elektromagnetik untuk dapat menghantarkan listrik hingga tegangan tinggi. Relai bekerja menggunakan tegangan 5V dan 50mA dan pada umumnya mudah dicari, serta mampu menggerakkan kontak relai (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik hingga tegangan AC 250V/10A. Relai dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Relai 250V/10A

2.2.4 OLED I2C 0,96

OLED Display 0,96 adalah layar tampilan kecil berbasis teknologi OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) dengan ukuran diagonal 0,96 inci. Layar ini sering digunakan dalam berbagai proyek elektronik, termasuk perangkat portabel, sistem tertanam (*embedded systems*), dan aplikasi IoT (*Internet of Things*), karena memiliki berbagai keunggulan seperti konsumsi daya rendah, kontras tinggi, dan visibilitas yang baik (Setiabudi et al., 2024). Bentuk fisik OLED display dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 OLED Display 0.96 inci

2.2.5 Rumus Mencari Nilai Deviasi dan Deviasi Rata-Rata

Rumus mencari rata-rata dapat menggunakan persamaan 2.1. Rumus deviasi absolut menggunakan persamaan 2.2 dan untuk mencari nilai rata-rata deviasi dapat menggunakan persamaan 2.3 (Khosyi'in, 2014).

Untuk mencari rata-rata merujuk pada persamaan 2.1.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

Untuk mencari deviasi absolut merujuk pada persamaan 2.2.

$$d_n = |x_n - \bar{x}| \quad (2.2)$$

Untuk mencari rata-rata deviasi merujuk pada persamaan 2.3.

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + |d_3| + |d_n|}{n} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = Rata – rata pengukuran

x_n = Pengukuran ke – n

n = Jumlah pengukuran

d_n = Selisih pengukuran ke – n terhadap nilai rata – rata pengukuran

D = Deviasi rata – rata

2.2.6 Rumus Mencari Nilai *Error* dan Akurasi

Rumus mencari nilai *error* dapat menggunakan persamaan 2.4 dan untuk mencari nilai akurasi menggunakan persamaan 2.5 (Khosyi'in et al., 2017).

Untuk mencari *error* merujuk pada persamaan 2.4.

$$Error(\%) = \left| \frac{V_{pengukuran} - V_{referensi}}{V_{referensi}} \right| \times 100\% \quad (2.4)$$

Untuk mencari akurasi merujuk pada persamaan 2.5.

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error\% \quad (2.5)$$

2.2.7 VRMS (*Voltage Root Mean Square*)

VRMS atau tegangan efektif adalah nilai akar rata-rata kuadrat dari tegangan AC (bolak-balik) dalam satu periode. VRMS memberikan representasi nilai tegangan AC yang setara secara termal dengan tegangan DC. Artinya, jika

suatu perangkat diberi VRMS AC dan tegangan DC dengan nilai yang sama, maka efek pemanasan yang ditimbulkan akan setara (Amiel et al., 2022).

Secara matematis, nilai VRMS dari tegangan sinusoidal murni didefinisikan sebagai:

$$V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}}$$

Namun, untuk bentuk gelombang selain sinusoidal, nilai VRMS dihitung dengan rumus integral:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt}$$

2.2.8 IRMS (*Current Root Mean Square*)

IRMS atau arus efektif merupakan nilai akar rata-rata kuadrat dari arus AC dalam satu periode. Seperti halnya VRMS, nilai IRMS memberikan gambaran arus yang setara secara daya dengan arus DC (Monteiro et al., 2019).

Untuk arus sinusoidal:

$$I_{RMS} = \frac{I_P}{\sqrt{2}}$$

Untuk bentuk gelombang kompleks atau tidak teratur, IRMS dihitung dengan:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i(t)]^2 dt}$$

2.2.9 XAMPP

XAMPP adalah perangkat lunak *open source*, yang mendukung untuk banyak sistem operasi, yang merupakan kompilasi dari beberapa program. Fungsi XAMPP sendiri adalah sebagai server yang berdiri sendiri (*localhost*), yang terdiri beberapa program antara lain: Apache HTTP Server, MySQL database, dan penerjemah bahasa yang ditulis dengan bahasa pemrograman PHP dan Perl (Hartiwati, 2022).

2.2.10 Framework Laravel

Dalam perancangan system informasi berbasis web digunakan sebuah Laravel sebagai framework. Laravel adalah salah satu framework PHP yang bisa membantu dalam menggunakan PHP lebih mudah, cepat dan efisien dalam proses pengembangan website. PHP menjadi bahasa pemrograman yang paling dinamis, apalagi dengan adanya update rilis PHP versi terbaru. Saat ini Laravel juga tidak mau ketinggalan, biasanya framework ini akan melakukan update dan memunculkan teknologi baru juga (Sweetania & Herawati, 2022).



Gambar 2.6 Laravel
(Sumber: <https://laravel.com>)

2.2.11 PhpMyAdmin

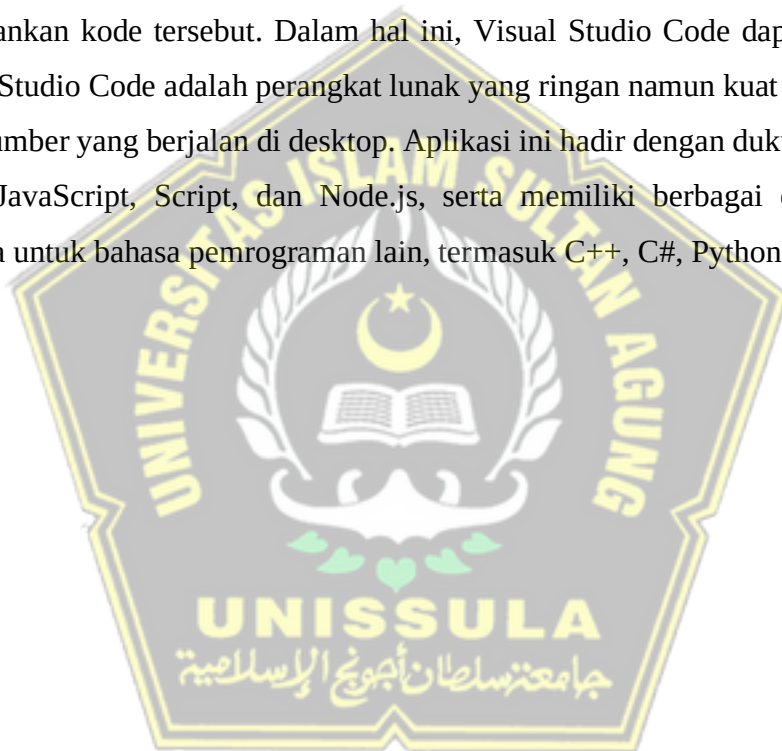
PhpMyAdmin adalah sebuah aplikasi/perangkat lunak bebas (*open source*) yang ditulis dalam bahasa pemrograman PHP yang digunakan untuk menangani administrasi database MySQL melalui jaringan lokal maupun internet. phpMyAdmin mendukung berbagai operasi MySQL, diantaranya (mengelola basis data, tabel-tabel, bidang, relasi, indeks, pengguna, perijinan, dan lain. Perbedaan phpMyAdmin dengan MySQL terletak pada fungsi. PhpMyAdmin merupakan alat untuk memudahkan dalam mengoperasikan database MySQL, sedangkan MySQL adalah database tempat penyimpanan data. Phpmyadmin sendiri digunakan sebagai alat untuk mengolah/ mengatur data pada MySQL (Hartiwati, 2022).



Gambar 2.7 phpMyAdmin Logo
(Sumber: <https://www.phpmyadmin.net/>)

2.2.12 Visual Studio Code

Untuk membuat kode-kode program, diperlukan aplikasi yang dapat menjalankan kode tersebut. Dalam hal ini, Visual Studio Code dapat digunakan. Visual Studio Code adalah perangkat lunak yang ringan namun kuat sebagai editor kode sumber yang berjalan di desktop. Aplikasi ini hadir dengan dukungan bawaan untuk JavaScript, Script, dan Node.js, serta memiliki berbagai ekstensi yang tersedia untuk bahasa pemrograman lain, termasuk C++, C#, Python, dan PHP.



BAB 3

METODE PENELITIAN

Untuk model penelitian ini menggunakan Node MCU ESP 8266 sebagai pusat pemroses dari rangkaian. Masukan sensor yang digunakan adalah PZEM-004T sebagai sensor tegangan, dan arus. Sistem IoT menggunakan Node MCU ESP 8266 yang terhubung dengan website dan di dalam website tersebut ada beberapa fitur untuk memantau dan mengendalikan sistem pada alat yang dibuat. Luaran yang dapat dikendalikan adalah relai sebagai pemutus dan penyambung aliran listrik.

3.1 Analisis Kebutuhan

Sistem kendali dan proteksi arus berlebih ini dirancang sebagai solusi pengganti *fuse* konvensional pada peralatan rumah tangga. *Fuse* atau sekring merupakan perangkat proteksi sekali pakai yang akan putus saat arus melebihi batas, namun perlu diganti secara manual setelah kejadian tersebut. Berbeda dengan *fuse*, sistem ini dirancang agar dapat digunakan berulang kali, mampu memutus arus secara otomatis, dan dapat diatur ulang baik secara manual maupun melalui antarmuka berbasis web.

Sistem ini dibutuhkan untuk alat-alat rumah tangga yang rentan terhadap kerusakan akibat arus berlebih, serta membutuhkan proteksi yang lebih cerdas, presisi, dan bisa dikendalikan dari jarak jauh. Beberapa contoh peralatan rumah tangga yang umumnya menggunakan *fuse* atau membutuhkan proteksi arus antara lain:

1. Komputer dan UPS (*Uninterruptible Power Supply*) – rentan terhadap lonjakan arus dan membutuhkan waktu respon cepat untuk menghindari kerusakan pada hardware.
2. Power Station atau Portable Power Supply – umumnya memiliki output tinggi dan rentan overload saat banyak perangkat terhubung.
3. *Microwave* dan Oven Listrik – menggunakan daya tinggi dan rawan korsleting jika ada masalah internal.

4. TV LED dan *Home Theater* – perangkat sensitif terhadap fluktuasi tegangan.
5. Kulkas dan Mesin Cuci – beroperasi dalam siklus motorik, yang menimbulkan arus lonjakan (*inrush current*).
6. Pengisi daya laptop atau perangkat elektronik lainnya – berpotensi rusak jika terjadi arus lebih dari stop kontak atau adaptor.

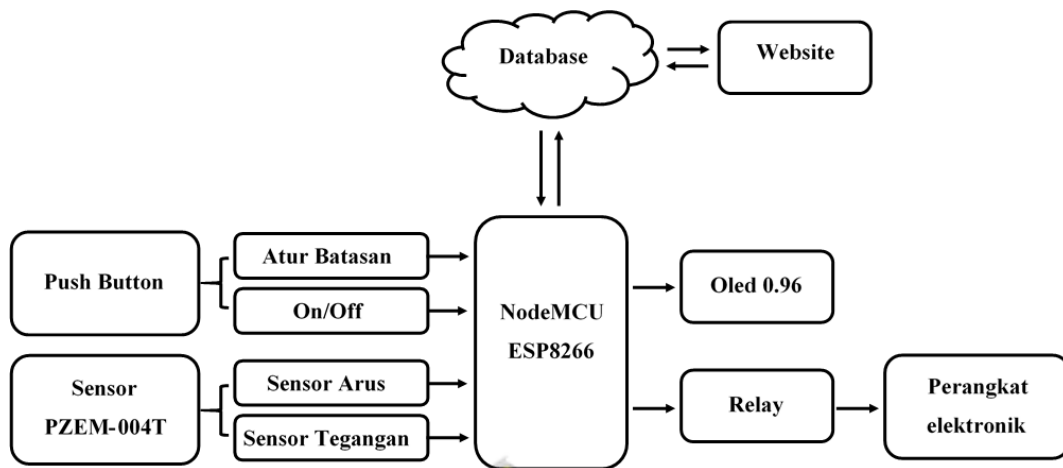
Daftar kebutuhan yang diperlukan untuk membuat Sistem Kendali dan Proteksi Arus Berlebih pada Alat Rumah Tangga Berbasis *Internet of Things* dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Tabel Analisis Kebutuhan

No.	Kebutuhan	Komponen
1.	Pendeteksi tegangan dan arus	Sensor PZEM-004T
2.	Tombol On/Off, dan masukan nilai batasan arus	4 buah Push Button
3.	Pemroses	Node MCU ESP 8266
4.	Tampilan pembacaan dan kendali	Website dan Oled 0,96
5.	Luaran	Relai
6.	Sumber daya	Power suplai 5V

3.2 Desain Sistem

Sistem kendali dan proteksi arus berlebih pada alat rumah tangga berbasis *Interet of Things* dirancang dengan beberapa sistem yang terbagi menjadi tiga bagian. Ketiga bagian ini adalah masukan, pemroses, dan luaran. Komponen masukan pada alat ini adalah sensor PZEM-004T dan push button. Lalu pada bagian pemroses menggunakan Node MCU ESP 8266. Luaran yang digunakan adalah relai dan oled 0.96 dan website. Diagram blok sistem tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Kendali dan Proteksi Arus Berlebih pada Alat Rumah Tangga Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Cara kerja dari blok diagram pada Gambar 3.1 adalah komponen masukan yang digunakan yaitu modul sensor PZEM-004T sebagai sensor tegangan dan arus. PZEM-004T digunakan untuk mendeteksi tegangan dan arus pada alat rumah tangga yang digunakan. Informasi yang didapat dari masukan akan dikirimkan ke penyimpanan awan melalui Node MCU ESP 8266 kemudian website akan menampilkan data yang sudah dikirim tersebut. Komponen luaran terdapat relai yang berfungsi sebagai pemutus dan penyalur aliran listrik pada alat rumah tangga yang digunakan kemudian Oled 0.96 juga sebagai penampil data.

Seperti yang terlihat pada diagram blok, setiap blok memiliki fungsi masing-masing. Berikut merupakan penjelasan dari tiap blok rangkaian alat yang dibuat:

1) Sensor PZEM-004T

PZEM-004T pada sistem ini berfungsi untuk mendeteksi tegangan pada alat rumah tangga yang digunakan sehingga kondisinya dapat dipantau dan dibatasi melalui website dan secara langsung.

2) Push Button

Push button digunakan untuk memberikan nilai batasan arus dan mengendalikan relai pada sistem ini.

3) Node MCU ESP8266

Pemroses pada perangkat ini menggunakan Node MCU ESP8266 yang bertindak sebagai pemroses berbagai masukan dan mengelola luarannya. Pemroses ini juga berfungsi untuk memproses masukan sehingga data dapat dikirim ke penyimpanan awan serta mengendalikan relai berdasarkan batasan arus yang diberikan.

4) Relai

Relai pada sistem ini berfungsi sebagai kendali alat rumah tangga agar alat tersebut dapat terputus dari aliran listrik sesuai dengan batasan arus yang telah ditentukan.

5) Oled 0.96

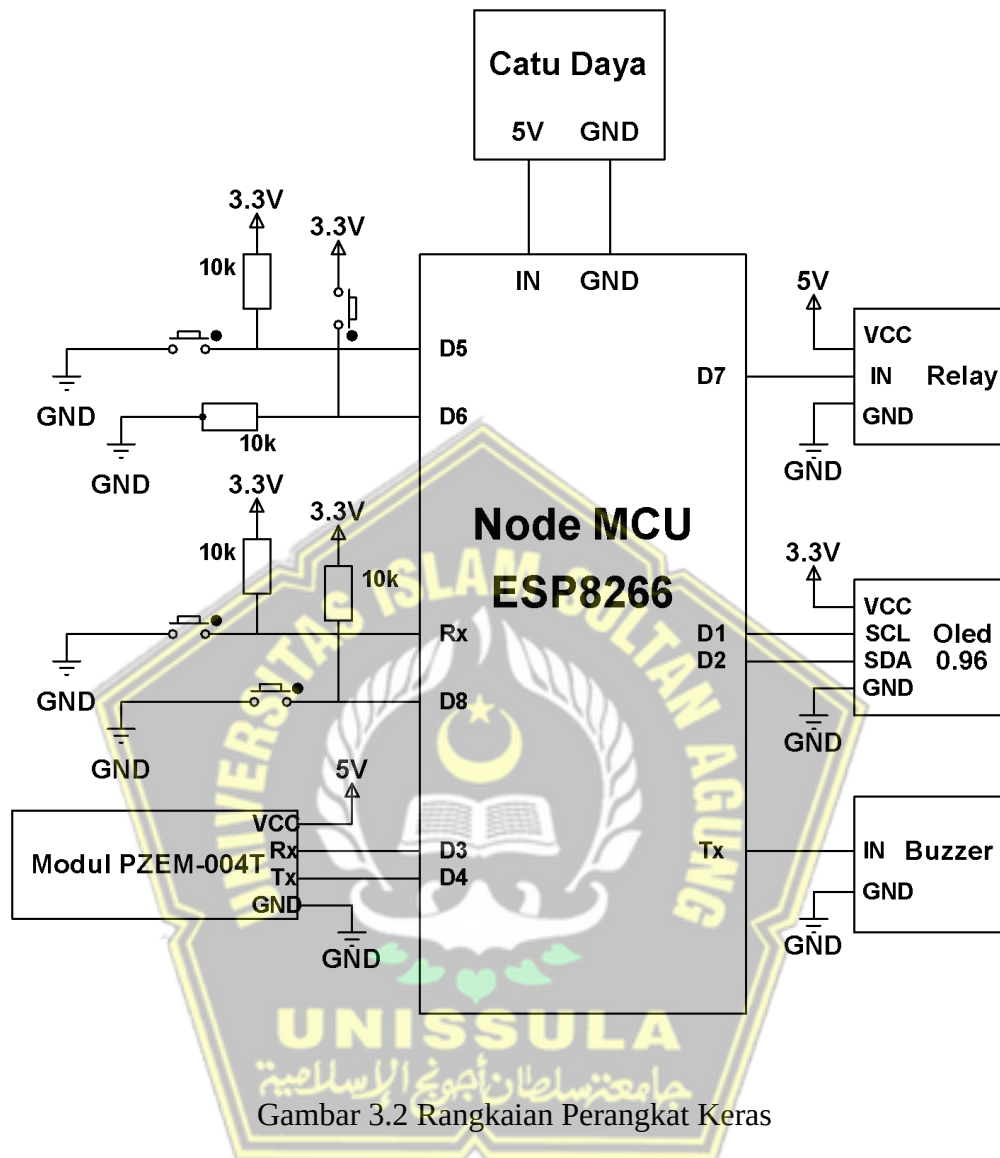
Oled digunakan sebagai tampilan sistem selain menggunakan website. Sehingga sistem dapat dipantau juga tanpa menggunakan website.

3.3 Pembuatan Perangkat Keras

Tahap pembuatan perangkat keras ini berupa mekanik dan rangkaian sistem. Pembuatan perangkat keras dapat dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut:

3.3.1 Rangkaian Perangkat Keras

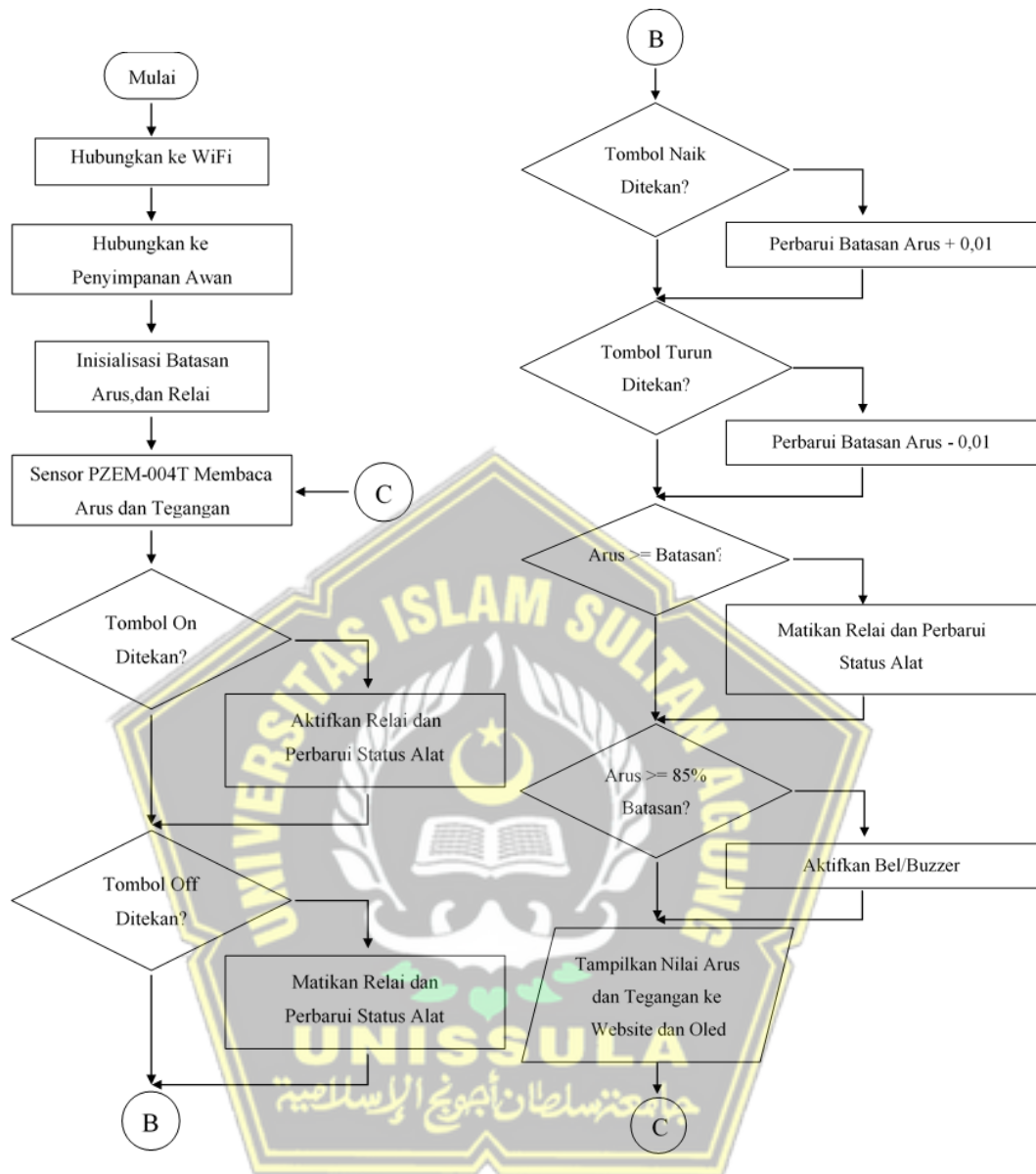
Catu daya mendapat tegangan 220V AC disearahkan kemudian diturunkan menjadi 5V DC sebagai suplai utama sistem ini. Modul Node MCU digunakan untuk membaca signal dari sensor PZEM-004T. Tidak hanya itu, tombol tekan juga terintegrasi dengan Node MCU, ketika tombol ditekan akan mengirimkan sinyal 0 bila rangkaian *pull-up* sedangkan mengirimkan sinyal 1 apabila rangkaian *pull-down*. Node MCU mengirimkan sinyal 0 pada relai untuk menghidupkannya sedangkan mengirimkan sinyal 1 untuk mematikannya. Gambar 3.2 merupakan rangkaian dari perangkat keras.



Gambar 3.2 Rangkaian Perangkat Keras

3.3.2 Diagram Alir Perangkat Keras

Diagram alir digunakan untuk mempermudah pembuatan sistem secara keseluruhan. Selain mempermudah pembuatan program, diagram alir juga dapat digunakan untuk melacak kesalahan selama proses pembuatan program. Gambar 3.3 Menunjukkan diagram alir perangkat keras



Gambar 3.3 Diagram Alir Perangkat Keras

3.3.3 Pengukur Nilai Tegangan dan Arus

Sistem ini menggunakan modul sensor PZEM-004T untuk mendeteksi nilai tegangan dan arus yang mengalir pada alat rumah tangga. Modul ini langsung terhubung pada beban alat rumah tangga. Modul ini merupakan masukan yang terhubung dengan pemroses Node MCU ESP8266. Pin yang terpakai modul sensor PZEM-004T dengan Node MCU ESP8266 ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Pin PZEM-004T

Pin PZEM-004T	Pin Node MCU
Rx	D3
Tx	D4

3.3.4 Tombol Kendali Secara Langsung

Kendali pada relai dapat diakses secara langsung dengan cara menekan tombol yang sudah ada. Apabila tombol (On) ditekan maka relai akan aktif dan ketika tombol (Off) ditekan maka relai akan nonaktif. Pin yang terpakai tombol kendali secara langsung terdapat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Pin Tombol Kendali On/Off

	Pin Node MCU
Tombol On	Rx
Tombol Off	D8

Pemberian Pembatasan arus secara manual dapat dilakukan dengan cara menekan tombol yang ada juga. Apabila tombol (↑) ditekan maka akan menaikkan batasan arus. Sedangkan bila tombol (↓) ditekan maka akan menurunkan batasan arus. Pin yang terpakai tombol pembatas arus ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pin Tombol Pembatasan Arus

	Pin Node MCU
Tombol (↑)	D5
Tombol (↓)	D6

3.3.5 Penampil Nilai

Sistem ini dapat memberikan kendali pembatasan arus secara manual dan website. Oled 0.96 digunakan untuk menampilkan nilai tegangan, arus, batasan arus, dan status alat. Tabel 3.9 merupakan pin oled yang terhubung dengan Node MCU ESP8266.

Tabel 3.5 Pin Oled 0,96

Oled 0,96	Pin Node MCU
SCL	D1
SDA	D2

3.3.6 Pemutus Aliran

Relai digunakan sebagai pemutus aliran menuju alat rumah tangga. Relai juga diprogram sebagai pemutus aliran secara otomatis bila melebihi batas yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan adanya pemutus secara otomatis merupakan fungsi utama sistem sebagai sistem proteksi arus berlebih. Pin relai dapat ditunjukkan pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Pin Relai

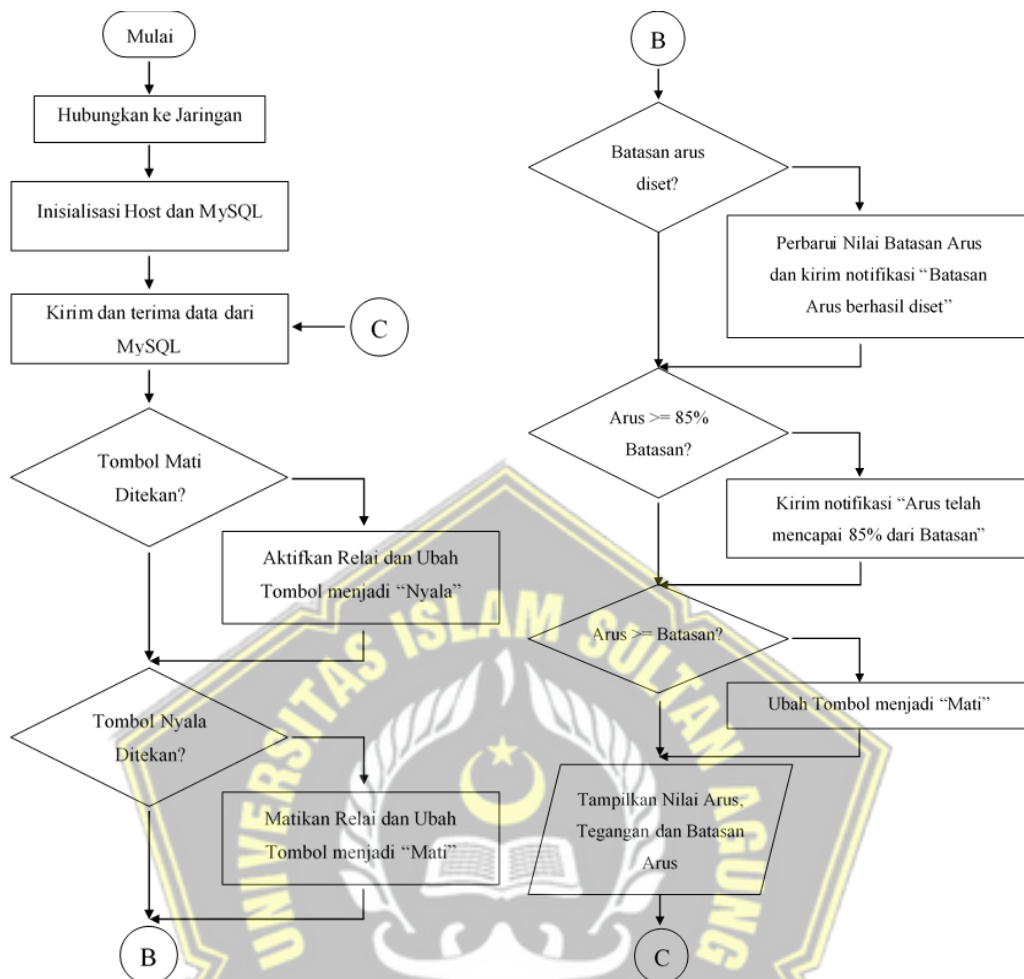
Relai	Pin Node MCU
IN	D7

3.4 Pembuatan Perangkat Lunak

Tahap pembuatan perangkat lunak berupa pemrograman untuk menjalankan sistem dan menghubungkan alat ke penyimpanan awan sekaligus penampil dan kendali dari pembacaan sensor pada website.

3.4.1 Diagram Alir Perangkat Lunak

Diagram alir perangkat lunak dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Alir Perangkat Lunak

3.4.2 Desain Website

Pada sistem ini tidak hanya menggunakan Oled sebagai penampil namun juga website sebagai penampil. Website juga menampilkan nilai tegangan, arus, batasan arus, dan status alat. Gambar 3.5 merupakan tampilan website yang dapat diakses.



Gambar 3.5 Tampilan Website

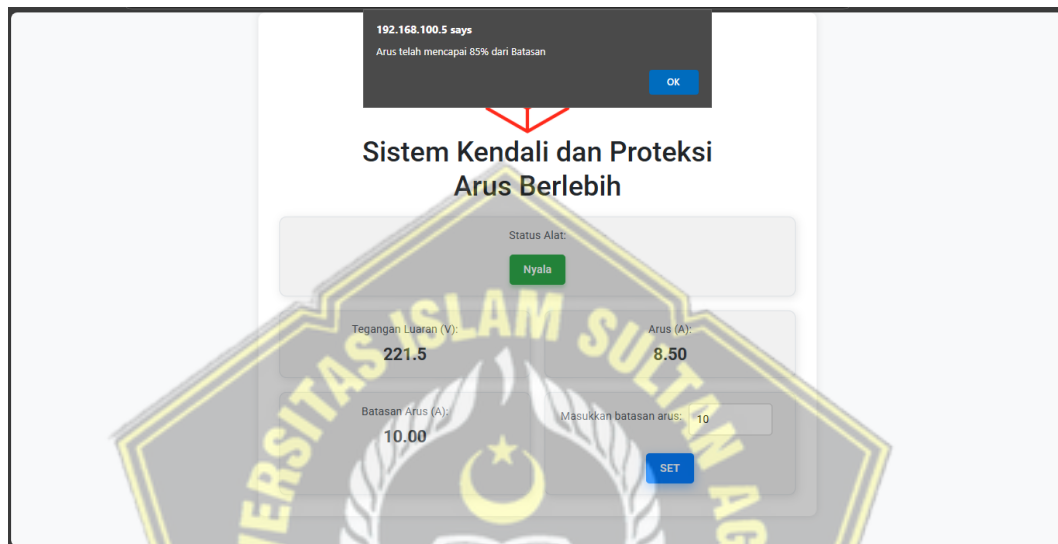
3.4.3 Proteksi Arus pada Website

Proteksi arus melalui website dapat dilakukan dengan mengakses halaman website yang sudah ada, kemudian ketik atau tekan tombol panah yang ada di samping box pengisian nilai. Kemudian tekan tombol “SET” sebagai validasi bahwa batasan arus yang baru sudah ditetapkan. Akan muncul notifikasi “Batas arus berhasil diset!” seperti tertampil pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Notifikasi Masukan Batasan Arus

Ketika nilai batasan arus sudah ditetapkan melalui website atau secara manual. Alat dapat mengirimkan notifikasi bila arus sudah melewati atau sama dengan 85% dari nilai batasan arus yang telah ditetapkan. Peringatan notifikasi berguna sebagai peringatan sebelum terjadinya pemutusan aliran arus pada alat elektronik agar dapat dilakukan penanganan lebih awal. Gambar 3.7 adalah notifikasi yang akan muncul.



Gambar 3.7 Peringatan Notifikasi

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil

4.1 Pengukuran Tegangan

Pengukuran ini dilakukan dengan mengukur tegangan pada stop kontak yang terhubung ke beban dengan tegangan kerja 220 VAC (tegangan referensi pengukuran) menggunakan voltmeter digital. Gambar 4.1. merupakan cara pengukuran tegangan menggunakan voltmeter digital. Hasil pengujian pengukuran tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4.1 Pengukuran Tegangan

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pengukuran Tegangan

Pengukuran Ke-	Pengukuran Tegangan dengan Alat pada Beban (V)				
	Solder	Setrika	Charge Laptop	Kipas Angin	Magiccom
1	223,8	218,3	223,4	221,9	221,7
2	224	217,5	222,7	222,4	222,1
3	223,8	218,3	222,9	221,3	222,2
4	223,6	219	223	222,2	222
5	224	218,5	223,2	221,9	222,3
6	223,8	218,7	223,3	221,5	221,8
7	224	217,9	224	222,4	221,7
8	224,4	218,3	224,2	222,4	221,8

9	223,8	218,7	224	221,8	222
10	223,6	218,7	223,3	221,9	222,4
Tegangan rata-rata (V)	223,880	218,390	223,400	221,970	222,000
Tegangan Multimeter (V)	225	220	225	223	223
Akurasi	99,50%	99,27%	99,29%	99,54%	99,55%
Deviasi rata-rata	0,176	0,330	0,400	0,304	0,200
Akurasi rata-rata	99,43%				
Total Deviasi rata-rata	0,282				

Hasil pengukuran di atas menunjukkan bahwa tegangan pada stop kontak untuk mensuplai beban bekerja dengan sangat baik dengan akurasi 99,43% sehingga aman untuk mensuplai beban alat rumah tangga.

Analisis hasil nilai deviasi rata-rata pada pengukuran di dapat dari penjumlahan deviasi absolut dikurangi jumlah pengukuran, deviasi absolut diperoleh dengan mengurangkan antara hasil pengukuran terhadap nilai rata-rata pengukuran merujuk pada persamaan 2.2, di bawah ini adalah hasil dari perhitungannya:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{223,8 + 224 + 223,8 + 223,6 + 224 + 223,8 + 224 + 224,4 + 223,8 + 223,6}{10}$$

$$\bar{x} = 223,880$$

$$d_n = |x_n - \bar{x}|$$

$$d_1 = |x_1 - \bar{x}|$$

$$d_1 = 223,8 - 223,880$$

$$d_1 = 0,080$$

Semua deviasi di setiap pengukuran dihitung untuk digunakan dalam perhitungan deviasi rata-rata merujuk pada persamaan 2.3,

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + |d_3| + \dots + |d_n|}{n}$$

$$D = \frac{0,08 + 0,12 + 0,08 + 0,28 + 0,12 + 0,8 + 0,12 + 0,52 + 0,08 + 0,28}{10}$$

$$D = 0,176$$

Hasil pengukuran tegangan terhadap lima beban menunjukkan nilai deviasi rata-rata yang bervariasi, dengan nilai terkecil sebesar 0,176 pada beban solder, yang menandakan hasil pengukuran sangat konsisten. Beban magiccom juga menunjukkan konsistensi yang cukup baik dengan deviasi sebesar 0,2. Sebaliknya, beban setrika dan charge laptop memiliki deviasi tertinggi, yaitu masing-masing 0,33 dan 0,4 yang mengindikasikan adanya sedikit fluktuasi antar pengukuran. Secara keseluruhan, nilai deviasi rata-rata dari seluruh beban sebesar 0,282 menunjukkan bahwa sistem pengukuran tergolong cukup konsisten.

Sementara itu, tingkat akurasi pengukuran dihitung berdasarkan perbandingan antara tegangan rata-rata hasil pengukuran dengan nilai tegangan referensi. Misalnya, pada beban solder, diperoleh tegangan rata-rata sebesar 223,880 V dibandingkan dengan pengukuran tegangan menggunakan multimeter 225 V, sehingga menghasilkan akurasi sebesar 99,50%. Rata-rata akurasi dari seluruh beban adalah 99,43%.

Berikut adalah hasil perhitungan nilai *error* menggunakan persamaan 2.4 diperoleh:

$$Error(\%) = \left| \frac{V_{pengukuran} - V_{multimeter}}{V_{multimeter}} \right| \times 100\%$$

$$Error(\%) = \left| \frac{223,88 - 255}{255} \right| \times 100\%$$

$$Error(\%) = \left| \frac{-1,12}{255} \right| \times 100\%$$

$$Error = 0,498\%$$

Hasil perhitungan nilai akurasi menggunakan persamaan 2.5 diperoleh:

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error\%$$

$$Akurasi(\%) = 100\% - 0,498\%$$

$$Akurasi(\%) = 99,50\%$$

4.2 Pengukuran Beban Arus

Pengukuran arus dilakukan menggunakan amperemeter digital yang dipasang pada kabel fasa setelah relai dan sebelum stop kontak yang langsung terhubung ke beban. Penempatan alat ukur ini dimaksudkan untuk mengetahui arus yang mengalir menuju masing-masing beban saat sistem beroperasi. Setiap jenis beban diuji sebanyak tiga kali guna memperoleh nilai rata-rata arus serta mengevaluasi kestabilan pengukuran. Arus referensi digunakan sebagai nilai pembanding, sementara data arus hasil pengukuran dimanfaatkan untuk menilai tingkat akurasi dan deviasi sistem. Skema pemasangan amperemeter digital ditunjukkan pada Gambar 4.2, dan data lengkap hasil pengujian lima jenis beban dapat dilihat pada Tabel 4.2.



Gambar 4.2 Pengukuran Arus pada Beban

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pengukuran Beban Arus

Pengukuran Ke-	Pengukuran Arus dengan Alat pada Beban (A)				
	Solder	Setrika	Charge Laptop	Kipas Angin	Magiccom
1	0,12	1,64	0,31	0,17	0,34
2	0,12	1,63	0,28	0,17	0,34
3	0,11	1,64	0,26	0,17	0,34
4	0,12	1,64	0,3	0,16	0,3
5	0,1	1,6	0,28	0,15	0,32
6	0,11	1,63	0,32	0,17	0,32
7	0,11	1,6	0,3	0,19	0,3
8	0,12	1,64	0,28	0,18	0,33
9	0,1	1,63	0,27	0,15	0,3
10	0,12	1,64	0,26	0,16	0,34
Arus rata-rata (A)	0,113	1,629	0,286	0,167	0,323
Arus Multimeter (A)	0,104	1,577	0,283	0,152	0,3
Akurasi	91,35%	96,70%	98,94%	90,13%	92,33%
Deviasi rata-rata	0,007	0,012	0,017	0,010	0,015
Akurasi rata-rata	93,89%				
Total Deviasi rata-rata	0,012				

Pengujian arus listrik dilakukan pada lima jenis beban dengan tujuan untuk menilai sejauh mana alat mampu mengukur arus secara andal. Masing-masing beban diukur sebanyak tiga kali, lalu dihitung nilai rata-rata arus menggunakan persamaan 2.1. Untuk mengetahui tingkat kestabilan pengukuran, dilakukan perhitungan deviasi rata-rata berdasarkan persamaan 2.3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa deviasi berada dalam rentang 0,007 hingga 0,017, yang menandakan bahwa sistem pengukuran memiliki tingkat konsistensi yang cukup tinggi, dengan sebagian besar beban menunjukkan hasil yang stabil.

Selanjutnya, untuk mengetahui tingkat kedekatan antara hasil pengukuran dan nilai referensi, dilakukan perhitungan *error* menggunakan persamaan 2.4. Dari nilai

error tersebut, dihitung akurasi menggunakan persamaan 2.5, yaitu dengan mengurangi nilai *error* dari 100%. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat akurasi berkisar antara 90,13% hingga 98,94%, dengan nilai tertinggi terdapat pada charge laptop, dan nilai terendah pada kipas angin. Nilai akurasi yang relatif tinggi ini menunjukkan bahwa sistem pengukuran arus memiliki performa yang cukup baik dan dapat diandalkan untuk mendeteksi arus pada berbagai perangkat rumah tangga.

4.3 Hasil Kendali Sistem Secara Manual dan Website

Kendali sistem ini dapat dilakukan secara manual maupun melalui website. Secara manual menggunakan tombol yang terpasang pada alat sedangkan melalui website dapat menekan tombol di bawah tampilan “Status alat”. Hasil pengujian kendali secara manual maupun melalui website dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian kendali secara manual maupun melalui website

No	Kendali		Luaran	
	Tombol manual	Tombol pada website	Relai	Status alat pada Website
1	On ditekan	Menjadi “Hijau”	Aktif	Menjadi “Hijau” bertuliskan Nyala
2	Off ditekan	Menjadi “Merah”	Non-Aktif	Menjadi “Merah” bertuliskan Mati
3	-	“Hijau” ditekan	Aktif	Menjadi “Hijau” bertuliskan Nyala
4	-	“Merah” ditekan	Non-Aktif	Menjadi “Merah” bertuliskan Mati

4.4 Pengujian Proteksi Alat Rumah Tangga

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan satu jenis beban berupa dimmer yang terhubung dengan lampu halogen. Pengujian bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem proteksi ketika arus melebihi batas yang telah ditentukan. Arus dinaikkan secara bertahap menggunakan dimmer hingga mencapai nilai set poin, yang menyebabkan sistem secara otomatis memutus relai sebagai bentuk perlindungan. Pada saat inilah waktu tunda mulai diukur, yaitu selang waktu antara arus melebihi batas hingga relai benar-benar terputus. Gambar 4.3 merupakan ilustrasi dari metode pengujian proteksi menggunakan dimmer dan

beban lampu halogen. Hasil pengujian proteksi alat rumah tangga dapat dilihat pada tabel 4.4.



Gambar 4.3 Pengujian Proteksi Alat Rumah Tangga

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pengujian Alat Rumah Tangga

Set Poin (A)	Arus Cut Off (A)			Cut Off Rata-rata (A)	Akurasi	Waktu Tunda (s)			Waktu Tunda rata-rata (s)	Deviasi rata-rata
	1	2	3			1	2	3		
1,52	1,53	1,53	1,52	1,527	99,56%	0,6	0,5	0,6	0,57	0,004
1,64	1,66	1,65	1,65	1,653	99,19%	0,6	0,6	0,6	0,60	0,004
1,87	1,88	1,88	1,90	1,887	99,11%	0,5	0,6	0,4	0,50	0,009
2,12	2,13	2,12	2,12	2,123	99,84%	0,5	0,3	0,4	0,40	0,004
2,31	2,32	2,31	2,31	2,313	99,86%	0,4	0,3	0,4	0,37	0,004
Rata-rata					99,51%	Rata-rata			0,49	0,005

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat mampu memutus beban secara otomatis dengan akurasi arus cut-off yang tinggi. Setiap nilai arus set point diuji sebanyak tiga kali, dan hasil pengukuran arus cut-off dirata-ratakan menggunakan persamaan 2.1. Hasilnya menunjukkan bahwa arus cut-off rata-rata mendekati nilai set point, dengan akurasi yang dihitung melalui persamaan 2.5 berkisar antara 99,11% hingga 99,86%. Akurasi tertinggi tercatat pada set point 2,31 A dengan nilai 99,86%, sedangkan yang terendah pada set point 1,87 A dengan 99,11%. Nilai akurasi rata-rata keseluruhan sebesar 99,51% menunjukkan bahwa alat memiliki kinerja sangat baik dan andal dalam mendeteksi dan memutus arus sesuai batas yang ditentukan.

Selain itu, dilakukan pula pengukuran waktu tunda sistem saat memutus beban, yang mencerminkan kecepatan respon alat. Waktu tunda dicatat sebanyak tiga kali untuk tiap set point, kemudian dihitung rata-ratanya menggunakan persamaan 2.1, dan deviasi rata-rata dihitung berdasarkan persamaan 2.3. Hasil menunjukkan bahwa waktu tunda berada pada rentang 0,37 hingga 0,60 detik, dengan rata-rata 0,49 detik, dan deviasi rata-rata 0,005. Nilai deviasi yang kecil ini membuktikan bahwa sistem tidak hanya akurat, tetapi juga responnya konsisten dan cepat dalam memutus beban, sehingga sangat layak digunakan untuk perlindungan sistem listrik yang membutuhkan ketepatan batas arus dan kecepatan pemutusan.



BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

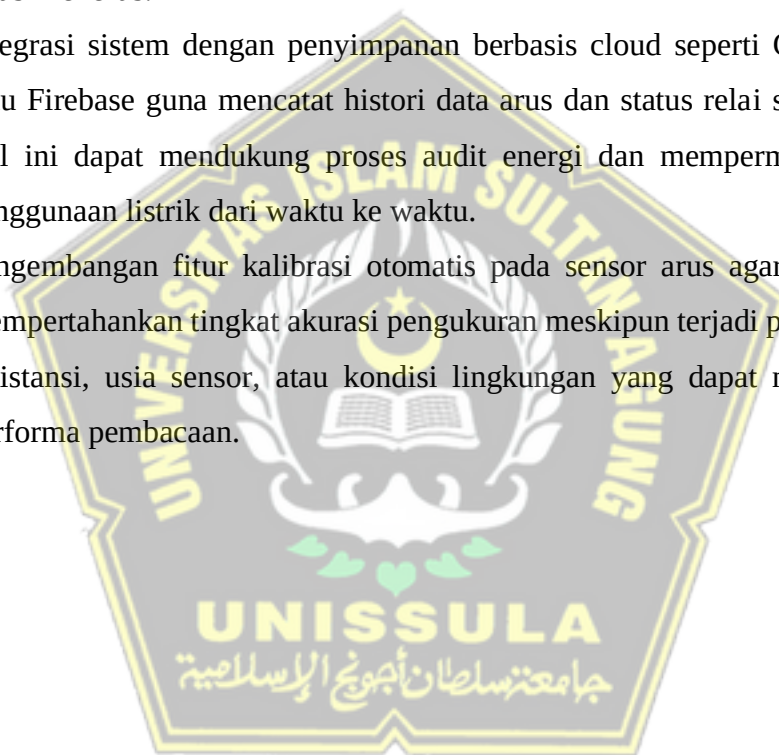
Berdasarkan penelitian sistem kendali dan proteksi arus berlebih pada alat rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem kendali dan proteksi arus berlebih pada alat rumah tangga berbasis IoT dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler Node MCU ESP8266 yang diprogram melalui Arduino IDE. Sistem ini dilengkapi dengan fitur pemantauan dan pengendalian beban secara *real-time* melalui website dengan framework Laravel, serta dapat dioperasikan secara manual melalui tombol fisik dan tampilan Oled 0,96. Ketika arus melebihi batas yang telah ditentukan, sistem secara otomatis memutus beban melalui relai, dan statusnya ditampilkan melalui website.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi pengukuran tegangan rata-rata sebesar 99,43% dengan deviasi rata-rata 0,282. Untuk pengukuran arus, sistem memiliki akurasi rata-rata 93,89% dengan deviasi 0,012. Pada pengujian proteksi arus berlebih, akurasi pemutusan beban mencapai 99,51% dengan rata-rata waktu tunda pemutusan sebesar 0,49 detik.
3. Berdasarkan data dan analisis yang diperoleh, sistem terbukti andal dalam melakukan pemantauan dan proteksi beban terhadap arus lebih. Dengan keakuratan tinggi dan waktu respon yang cepat, sistem ini layak digunakan sebagai solusi proteksi perangkat listrik rumah tangga secara otomatis dan berbasis IoT.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan keterbatasan sistem yang telah dikembangkan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan sistem lebih lanjut, di antaranya sebagai berikut:

1. Penambahan fitur notifikasi real-time melalui media pesan instan seperti WhatsApp atau Telegram agar pengguna dapat memperoleh peringatan secara langsung apabila terjadi arus berlebih tanpa harus memantau antarmuka secara terus-menerus.
2. Integrasi sistem dengan penyimpanan berbasis cloud seperti Google Sheets atau Firebase guna mencatat histori data arus dan status relai secara berkala. Hal ini dapat mendukung proses audit energi dan mempermudah analisis penggunaan listrik dari waktu ke waktu.
3. Pengembangan fitur kalibrasi otomatis pada sensor arus agar sistem dapat mempertahankan tingkat akurasi pengukuran meskipun terjadi perubahan nilai resistansi, usia sensor, atau kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi performa pembacaan.



DAFTAR PUSTAKA

- Amiel, I., Danin, Z., Sitbon, M., & Averbukh, M. (2022). Voltage RMS Estimation during a Fraction of the AC Period. *Sensors*, 22(18). <https://doi.org/10.3390/s22186892>
- Anwar, A. R., & Siswanto, D. (2020). Prototipe Pengawas Sistem Proteksi Arus Lebih Elektronik Secara Nirkabel. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 11(1), 65–76. <https://doi.org/10.24176/simet.v11i1.3650>
- Anwar, S., Artono, T., Nasrul, Dasrul, & Fadli, A. (2019). Pengukuran Energi Listrik Berbasis PZEM-004T. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1).
- Artiyasa, M., Nita Rostini, A., Edwinanto, & Junfithrana, A. P. (2020). Aplikasi Smart Home Node MCU IoT untuk Blynk. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, 7(1), 1–7.
- Danniswara, A., Christyono, Y., & Sukiswo, S. (2020). Perancangan Sistem Pengukuran Arus Dan Proteksi Arus Lebih Pada Sistem Kontrol Dan Monitoring Stop Kontak. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(3), 390–398. <https://doi.org/10.14710/transient.v9i3.390-398>
- Fahrudin Nur Iksan, & Gunawan Tjahjadi. (2018). Perancangan Stop Kontak Pengendali Energi Listrik dengan Sistem Keamanan Hubung Singkat dan Fitur Notifikasi Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Elektro*, 11(2), 83–92. <http://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/JTE/article/view/535%0Ahttp://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/JTE/article/download/535/201>
- Hartiwati, E. N. (2022). Aplikasi Inventori Barang Menggunakan Java Dengan Phpmyadmin. *Cross-Border*, 5(1), 601–610.
- Khosyi'in, M. (2014). *Bahan Ajar Pengukuran dan Alat Ukur Listrik*.
- Khosyi'in, M., Suprajitno, A., & Setiono, E. (2017). Alat Penghitung Volume dan Timer Penggunaan Oksigen. *Alat Penghitung Volume Dan Timer Penggunaan Oksigen, d*, 119–123.
- Kurniawan, A., & Amirullah, A. (2024). Implementasi Sistem Proteksi Arus Beban Lebih pada Rumah Tinggal Sederhana menggunakan Internet of Thinks (IoT) dengan Aplikasi Blynk. *Jurnal SISKOM-KB (Sistem Komputer Dan*

- Kecerdasan Buatan*), 7(2), 130–140.
- Lubis, R. S. D., Muayyadi, A. A., & Perdana, D. (2023). Monitoring Penggunaan Listrik Di Ruang Berbasis Internet of Things (IoT). *E-Proceeding of Engineering*, 10(5), 4231–4236.
- Monteiro, F. P., Monteiro, S. A., Tostes, M. E., & Bezerra, U. H. (2019). Using true RMS current measurements to estimate harmonic impacts of multiple nonlinear loads in electric distribution grids. *Energies*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/en12214132>
- Ridwan, Nurmanita, M., Ticoh, J. D., & Kilis, B. M. H. (2024). *Sosialisasi Kesadaran Masyarakat Akan Bahaya dan Etika Pemakaian Listrik di Rumah pada Kelurahan Taratara Dua*. 5(1), 36–46.
- Riftianto, A. E., & Amirullah, A. (2024). Implementasi Visual Studio pada Sistem Monitoring Daya dan Proteksi Rele Arus Lebih Menggunakan Automatic Transfer Switch/Automatic Main Failure (ATS/AMF) Disuplai oleh Kombinasi Grid dan Photovoltaic (PV). *Rekayasa*, 17(1), 96–107. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v17i1.22151>
- Setiabudi, U. M., Pangeran, J., & No, D. (2024). *Implementasi Sistem Monitoring Suhu dan pH Air Kolam Budidaya Ikan Lele Menggunakan Arduino ESP8266 dan Arduino IDE*. 12(3).
- Suyanto, D., & Yusuf, H. (2013). Perancangan Prototype Proteksi Arus Beban Lebih Pada Beban DC Menggunakan Mikrokontroller. *Elektum : Jurnal Teknik Elektro*, 14(2), 25–34.
- Sweetania, D., & Herawati, M. (2022). Analisis Cara Kerja Framework Laravel Untuk Perancangan E-Commerce Toko Online Hello Kitchen Dengan Metode Dsdm (Dynamic Systemsdevelopment Method). *Jurnal Teknik Dan Science*, 1(2), 01–08. <https://journal.admi.or.id/index.php/JTS/article/view/17/140>