

TUGAS AKHIR
PROTOTIPE SISTEM KONTROL PENGALIHAN BEBAN
MENGGUNAKAN SENSOR PZEM-004T
BERBASIS ARDUINO UNO

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

DISUSUN OLEH :

TEUKU ZULFAHMI

2107220037

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
TA 2024-2025

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

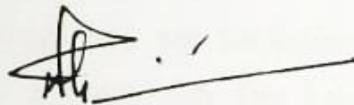
Nama : Teuku Zulfahmi
NPM : 2107220037
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Prototipe Sistem Kontrol Pengalihan Beban Menggunakan
Sensor PZEM-004T Berbasis Arduino Uno
Bidang Ilmu : Sistem Kendali

Telah Berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 September 2025

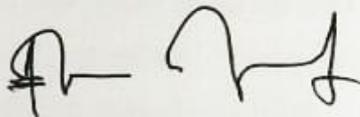
Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM

Dosen Pembanding I



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

Dosen Pembanding II



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Surat yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Teuku Zulfahmi
Tempat / Tanggal Lahir : Medan / 23 Juli 2003
NPM : 2107220037
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“Prototipe Sistem Kontrol Pengalihan Beban Menggunakan Sensor PZEM-004T Berbasis Arduino Uno”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian kerja hasil milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / kesarjanaan saya

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 September 2025

Saya yang menyatakan,



Teuku Zulfahmi

ABSTRAK

Energi listrik merupakan faktor vital dalam kehidupan modern, namun fluktuasi beban dan efisiensi energi sering menimbulkan permasalahan berupa ketidakseimbangan daya, pemborosan energi, hingga risiko kerusakan peralatan. Pada skala kecil, seperti rumah tangga atau pembangkit mandiri. Kondisi ini kerap tidak teratasi secara efisien karena keterbatasan sistem pengendalian. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem otomatis yang mampu mengelola distribusi daya secara real-time dengan biaya terjangkau. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem pengalihan beban otomatis berbasis Arduino Uno yang memanfaatkan sensor PZEM-004T sebagai pengukur parameter listrik, serta relay sebagai aktuator pengendali beban penyeimbang.

Metode penelitian yang digunakan meliputi perancangan perangkat keras yang terdiri atas Arduino Uno, sensor PZEM-004T, relay, LCD I2C 16x2, buzzer, dan LED, dilanjutkan dengan pemrograman logika kendali dengan ambang batas 100 W, serta pengujian eksperimental menggunakan variasi beban rumah tangga. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor PZEM-004T terhadap wattmeter komersial untuk menilai akurasi sistem.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi tinggi dengan deviasi rata-rata 0,2%–3% dibandingkan wattmeter komersial. Relay mampu bekerja otomatis sesuai logika kendali, yaitu aktif (ON) ketika daya utama <100 W dan nonaktif (OFF) ketika daya utama ≥ 100 W. LCD berfungsi optimal menampilkan informasi daya utama, sisa daya, serta status relay, sementara buzzer dan LED bertindak sebagai indikator tambahan ketika daya terhubung pada beban dan melampaui ambang batas. Secara keseluruhan sistem yang dirancang terbukti stabil, responsif, dan andal sehingga berpotensi menjadi solusi alternatif untuk monitoring dan pengendalian beban listrik rumah tangga maupun pembangkit energi listrik skala kecil.

Kata kunci: Arduino Uno, PZEM-004T, relay, pengalihan beban, efisiensi energi.

ABSTRACT

Electrical energy is a vital factor in modern life; however, load fluctuations and inefficient energy use often lead to problems such as power imbalance, energy waste, and even the risk of equipment damage. At a smaller scale, such as in households or stand-alone power generation systems, these issues are often not addressed effectively due to the limitations of conventional control systems. Therefore, an automatic system capable of managing power distribution in real-time at an affordable cost is required. This study aims to design and analyze an automatic load transfer system based on Arduino Uno, utilizing the PZEM-004T sensor to measure electrical parameters and a relay as the actuator to control the balancing load.

The research method includes hardware design consisting of Arduino Uno, PZEM-004T sensor, relay, 16x2 I2C LCD, buzzer, and LED, followed by control logic programming with a threshold of 100 W, as well as experimental testing using various household electrical loads. Validation was conducted by comparing the PZEM-004T sensor readings with a commercial wattmeter to evaluate system accuracy.

The results show that the PZEM-004T sensor achieved high accuracy with an average deviation of 0.2%–3% compared to the commercial wattmeter. The relay operated automatically according to the control logic, remaining active (ON) when the main load was $<100\text{ W}$ and inactive (OFF) when the main load was $\geq 100\text{ W}$. The LCD functioned optimally in displaying main load, remaining load capacity, and relay status, while the buzzer and LEDs served as additional indicators when the load was connected and exceeded the threshold. Overall, the system designed in this study proved to be stable, responsive, and reliable, making it a potential alternative solution for monitoring and controlling household electrical loads as well as small-scale power generation systems.

Keywords: *Arduino Uno, PZEM-004T, relay, load transfer, energy efficiency.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Atas rahmat dan hidayah-Nya penulis bisa menyelesaikan penulisan tugas akhir penelitian yang berjudul “Prototipe Sistem Kontrol Pengalihan Beban Menggunakan Sensor Pzem-004T Berbasis Arduino Uno”.

Penulisan penelitian ini dimaksudkan guna melengkapi sebagian persyaratan meraih gelar sarjana di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara jurusan Teknik Elektro. Dalam menyusun penelitian ini penulis tidak dapat melupakan jasa orang – orang yang telah ikut berperan sehingga penelitian ini dapat selesai.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua saya yakni Bapak Teuku Surya Mitra dan Ibu Popy Marleni yang telah memberikan dukungan moral dan material beserta doa yang tidak pernah berhenti demi kelancaran penulisan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Benny Oktrialdi, S.T., M.T sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian tugas akhir ini.
7. Rimbawati S.T., M.T selaku dosen yang juga membimbing dan mengarahkan penulis pada proyek dalam proposal penelitian tugas akhir ini.

8. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd dan Bapak Assoc.Prof. Faisal Irsan Pasaribu, ST, S.Pd, MT selaku dosen penguji yang telah memberi banyak masukan serta ilmu kepada penulis.
9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman – teman seperjuangan Teknik Elektro yang tidak dapat di sebutkan satu persatu.

Semoga segala bentuk bantuannya mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan baik dari bentuk penyusunan maupun materinya. Kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan penelitian tugas akhir ini, akhir kata semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca sekalian.

Medan, 12 September 2025

Penulis

(Teuku Zulfahmi)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Energi dan Daya Listrik	9
2.2.2 Tegangan Listrik (Voltage)	11
2.2.3 Arus Listrik (Ampere).....	13
2.2.4 Beban Listrik.....	16
2.2.5 Arduino Uno Atmega 328P.....	19
2.2.6 Arduino IDE.....	21
2.2.7 PZEM-004T v3.0	24
2.2.8 Modul Relay.....	27
2.2.9 Miniature Circuit Breaker (MCB).....	30
2.2.10 Current Transformer.....	31
2.2.11 Beban Utama Rangkaian.....	32
2.2.12 Beban Penyeimbang Rangkaian.....	33

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	34
3.1.1 Tempat Penelitian	34
3.1.2 Waktu Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan	35
3.2.1 Bahan Penelitian	35
3.2.2 Alat Penelitian	36
3.3 Perancangan Sistem	38
3.3.1 Wiring Diagram Rangkaian Sistem Pengalihan Beban	38
3.3.2 Flowchart Sistem Pengalihan Beban	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Deskripsi Umum dan Tampilan Sistem Pengalihan Beban	43
4.2 Integrasi Sensor PZEM-004T, Relay, Led dan LCD untuk Sistem Pengalihan Beban	46
4.2.1 Inisialisasi dan Pengaturan Awal Sistem	47
4.2.2 Implementasi Logika Pengalihan Beban dalam Program	48
4.3 Pengujian Kinerja Sistem Pengalihan Beban	52
4.3.1 Pengujian Relay Terhadap Beban Utama	52
4.3.2 Pengujian Sisa Daya	55
4.3.3 Pengujian Buzzer	59
4.3.4 Validasi Sensor PZEM-004T	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Segitiga Daya.....	10
Gambar 2.2 Direct Current	14
Gambar 2.3 Alternating Current.....	15
Gambar 2.4 Gelombang Beban Resistif	16
Gambar 2.5 Gelombang Beban Induktif	17
Gambar 2.6 Gelombang Beban Kapasitif.....	18
Gambar 2.7 Arduino Uno ATmega 328P.....	19
Gambar 2.8 Arduino IDE	22
Gambar 2.9 Sensor PZEM-004T v3.0.....	24
Gambar 2.10 Modul Relay 250VAC/10A.....	27
Gambar 2.11 MCB	30
Gambar 2.12 Current Transformer	31
Gambar 2.13 Catokan Listrik	32
Gambar 2.14 Lampu Pijar	33
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	34
Gambar 3.2 Wiring Diagram Sistem Pengalihan Beban.....	38
Gambar 3.3 Flowchart Sistem Pengalihan Beban	41
Gambar 4.1 Tampak Luar Rangkaian	43
Gambar 4.2 Tampak Dalam Rangkaian	44
Gambar 4.3 Tampak Samping Rangkaian.....	45
Gambar 4.4 Pengujian Relay Terhadap Beban Utama.....	53
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Relay Terhadap Beban Utama	54
Gambar 4.6 Pengujian Sisa Daya	56
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Sisa Daya.....	57
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Buzzer	60
Gambar 4.9 Grafik Pengujian Buzzer	61
Gambar 4.10 Grafik Pengujian Validasi Sensor PZEM-004T	66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel Jadwal Penelitian.....	34
Tabel 3.2 Bahan Penelitian.....	35
Tabel 3.3 Alat Penelitian	36
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Relay Terhadap Variasi Beban Utama.....	52
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sisa Daya	55
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Buzzer	59
Tabel 4.4 Hasil Validasi Sensor PZEM-004T (60s).....	62
Tabel 4.5 Hasil Validasi Sensor PZEM-004T (45s).....	64
Tabel 4.6 Hasil Validasi Sensor PZEM-004T (15s).....	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini, energi listrik telah menjadi tulang punggung peradaban, menggerakkan setiap aspek kehidupan, mulai dari rumah tangga, industri, hingga infrastruktur publik. Namun, ketersediaan sumber energi yang terbatas dan isu-isu lingkungan akibat konsumsi yang tidak terkendali telah mendorong urgensi untuk mencari solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Efisiensi energi bukan lagi sekadar pilihan, melainkan sebuah keharusan untuk menjaga keberlanjutan pasokan dan meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan[1].

Pada sumber energi listrik stabilitas daya umumnya dijaga melalui sistem yang kompleks dan mahal. Namun, pada skala yang lebih kecil, seperti di rumah, industri rumahan, atau pembangkit energi terbarukan mandiri (off-grid), fluktuasi beban seringkali tidak diimbangi dengan baik. Hal ini mengakibatkan pemborosan energi, di mana daya berlebih tidak termanfaatkan, atau sebaliknya, kekurangan daya yang dapat merusak peralatan.

Kualitas energi listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti fluktuasi tegangan, fluktuasi frekuensi, flicker, harmonisa dan kontinuitas jaringan distribusi. Dari kesemua parameter tersebut kestabilan tegangan memiliki peranan yang sangat penting. Ketidakstabilan tegangan akan menyebabkan ketidakstabilan sistem secara keseluruhan, terutama untuk kualitas daya dari pembangkit ke konsumen[2].

Salah satu tantangan utama dalam sistem kelistrikan adalah ketidakseimbangan yang sering terjadi antara ketersediaan pasokan daya dari pembangkit dan permintaan beban yang terus berubah dan tidak dapat diprediksi. Kondisi ini dikenal sebagai ketidakseimbangan beban (unbalanced load), terjadi ketika beban tidak terdistribusi secara merata sehingga menyebabkan arus yang mengalir di setiap fasa menjadi tidak sama.

Jika kondisi ini terus berlanjut, maka akan berdampak buruk pada kualitas daya listrik yang mencakup parameter penting seperti kestabilan tegangan dan frekuensi. Akibatnya, sistem kelistrikan dapat mengalami fluktuasi tegangan dan frekuensi yang signifikan. Kondisi ini pada akhirnya dapat memicu berbagai masalah, mulai dari kerusakan serius pada peralatan elektronik hingga penurunan efisiensi sistem secara keseluruhan yang menyebabkan kerugian energi dan biaya operasional yang lebih tinggi.

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan sebuah sistem cerdas yang mampu mengelola dan mendistribusikan daya secara optimal. Perkembangan teknologi mikrokontroler seperti arduino bersama dengan sensor-sensor pendukungnya seperti PZEM-004T yang dapat bekerja secara realtime memantau arus, tegangan dan daya[3] dan Relay dapat mengendalikan beban, membuka peluang baru untuk merancang sistem manajemen daya yang terjangkau, fleksibel, dan dapat bekerja secara otomatis.

Berdasarkan permasalahan yang ada di atas maka penelitian ini akan membahas tentang sistem pengontrolan pengalihan beban menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Sistem ini secara otomatis bekerja mengatur daya yang disalurkan ke beban penyeimbang setiap terjadi perubahan arus akibat perubahan beban pada beban utama sehingga dapat menjaga keseimbangan daya pada beban utama dan beban penyeimbang.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a) Bagaimana merancang sistem pengalihan beban otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan sensor PZEM-004T yang dapat bekerja secara real time ?
- b) Seberapa besar tingkat sensitivitas dan akurasi sensor PZEM-004T, buzzer dan relay yang dirancang dapat mengalihkan kelebihan daya dari beban utama ke beban penyeimbang untuk menjaga stabilitas dan efisiensi energi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

- a) Untuk merancang sistem pengalihan beban otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan sensor PZEM-004T yang dapat bekerja secara real time.
- b) Untuk menganalisis seberapa besar tingkat sensitivitas dan akurasi sensor PZEM-004T, buzzer dan relay yang dirancang dapat mengalihkan kelebihan daya dari beban utama ke beban penyeimbang untuk menjaga stabilitas dan efisiensi energi.

1.4 Ruang Lingkup

Dengan rumusan dan tujuan masalah tersebut maka akan dibuat suatu batasan masalah sebagai berikut :

- a) Cara merancang sistem pengalihan beban otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan sensor PZEM-004T yang dapat bekerja secara real time.
- b) Menganalisis sensitivitas dan akurasi bagaimana sistem yang dirancang dapat mengalihkan daya dari beban utama ke beban penyeimbang untuk menjaga stabilitas dan efisiensi energi yang berfokus pada sisi manajemen beban dengan skala kecil atau prototipe.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

- a) Memberikan sebuah pengetahuan tentang bagaimana cara merancang sistem pengalihan beban otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan sensor PZEM-004T yang dapat bekerja secara real time.
- b) Memberikan sebuah contoh analisa yang benar dalam hal ini mengetahui bagaimana sistem yang dirancang dapat mengalihkan kelebihan daya dari beban utama ke beban penyeimbang untuk menjaga stabilitas dan efisiensi energi.
- c) Memberikan sebuah ide inovasi pada pengembangan lebih lanjut suatu sistem kelistrikan dengan teknologi kontrol untuk pengaplikasian dengan skala yang lebih besar.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam memperoleh suatu pemahaman yang lebih dalam secara logis dan sistematis dalam hal ini melakukan pengumpulan materi dan literatur secara teratur dan sesuai metode penelitian, maka materi dalam penelitian ini akan dikelompokkan ke dalam beberapa sub bab yaitu sebagai berikut :

a) **BAB I (PENDAHULUAN)**

Bab ini bertindak sebagai pengantar yang menyajikan gambaran umum tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan dalam penelitian ini.

b) **BAB II (TINJAUAN PUSTAKA)**

Bab ini memuat pembahasan teori dan referensi ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian, serta menjelaskan landasan ilmiah yang menjadi dasar penelitian. Dalam tinjauan pustaka, peneliti akan mengkaji berbagai literatur dari berbagai sumber untuk memperkuat argumen dan pemahaman mengenai masalah yang dibahas.

c) **BAB III (METODOLOGI PENELITIAN)**

Bab ini menguraikan metode yang diterapkan dalam penelitian, termasuk tahapan yang diambil untuk mencapai tujuan penelitian. Metodologi penelitian meliputi pendekatan, teknik, dan prosedur yang

digunakan dalam proses pengumpulan dan analisis data, sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

d) BAB IV (HASIL DAN PEMBAHASAN)

Bab ini menyajikan hasil-hasil penelitian yang diperoleh melalui analisis data, kemudian mengulas temuan tersebut secara mendetail untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian.

e) BAB V (PENUTUP)

Bab ini adalah bagian penutup dari skripsi yang menyajikan kesimpulan dan rekomendasi berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan. Selain itu, bab ini juga merangkum temuan utama dan memberikan saran untuk penelitian di masa depan atau penerapan praktis.

f) DAFTAR PUSTAKA

Daftar sumber referensi yang dikumpulkan dan dipergunakan sebagai literatur pada penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan sebuah studi literatur yang merupakan metode pencarian teori berdasarkan referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan dari beberapa sumber seperti jurnal dan lainnya. Penelitian dilakukan dengan ketelitian dari segi pengumpulan data baik dari internet ataupun dari lapangan karena data sangat penting dalam proses penelitian sehingga studi literatur yang tercipta dapat menambah luas wawasan penelitian bagi penulis ataupun pembaca. Berikut ini disajikan beberapa penelitian terdahulu yang sudah dilakukan untuk menjadi referensi teori terkait dengan permasalahan yang akan diselesaikan dari berbagai sumber.

Energi listrik merupakan sumber tenaga yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan manusia pada saat ini. Hampir semua peralatan dengan teknologi yang semakin berkembang membutuhkan energi listrik, sehingga energi listrik menjadi kebutuhan primer atau pokok. Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena energi listrik mudah dikonversikan ke dalam bentuk energi maupun tenaga lain. Oleh karena itu, stabilitas sistem pendistribusian energi listrik harus terjaga supaya dapat digunakan oleh konsumen. Kontinuitas penyaluran energi listrik merupakan salah satu aspek penting untuk mendapatkan keandalan suatu sistem. Keandalan sistem yang baik harus diperhatikan, sistem distribusi maupun sistem jaringan yang terdapat pada beban[4].

Namun seiring berkembangnya zaman, jenis-jenis perangkat elektronik semakin beragam menyebabkan konsumsi listrik semakin lama semakin meningkat. Penghematan dan efisiensi listrik harus dilakukan agar energi listrik mudah didapatkan dan bertahan dalam jangka waktu panjang. Dalam rumah tangga, energi listrik dimanfaatkan untuk menyalakan berbagai macam perangkat elektronik. Pemakaian listrik berlebihan atau tidak termanfaatkan dengan baik merupakan bentuk dari pemborosan energi listrik[5].

Dari meningkatnya penggunaan energi listrik dalam berbagai sektor kehidupan. Perilaku boros, tidak peduli dengan standarisasi peralatan dan kualitas pasokan energi listrik merupakan salah satu faktor yang menyebabkan tingginya konsumsi energi listrik. Untuk itu perlu adanya perubahan perilaku dalam penggunaan energi listrik dimulai dengan pemahaman dan ide inovasi kepada masyarakat berkenaan dengan cara penggunaan energi listrik yang baik[6].

Efisiensi dan penghematan energi adalah tindakan yang bertujuan untuk mengurangi jumlah penggunaan energi. Hal ini bukan berarti kita harus sepenuhnya menghindari penggunaan energi listrik untuk kegiatan yang tidak berguna, melainkan kita dapat mencapai penghematan energi dengan cara menggunakan energi secara efisien sehingga manfaat yang sama bisa diperoleh dengan jumlah energi yang lebih sedikit. Dengan melakukan efisiensi dan penghematan energi, kita bisa mengurangi biaya yang harus dikeluarkan. Selain aspek finansial, efisiensi energi juga memiliki dampak positif terhadap lingkungan, meningkatkan keamanan pribadi, serta menambah kenyamanan dalam kehidupan sehari-hari[7].

Apabila dibandingkan dengan berinvestasi dalam membangun jaringan distribusi skala kecil atau besar yang baru, mengendalikan konsumsi energi listrik dari sisi konsumen (demand side management) menjadi salah satu cara yang paling hemat. Usaha untuk mengatur konsumsi energi listrik di sisi konsumen memerlukan suatu teknologi pengukuran dan pengaturan yang canggih dan inovatif. Dalam hal ini dapat diatasi dengan membangun sebuah system smart energy management yang tidak hanya memonitor konsumsi energi listrik, melainkan memiliki kemampuan untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energi listrik dengan memanfaatkan perkembangan teknologi[8].

Dalam menghadapi kompleksitas dan dinamika pengelolaan energi ada banyak pengembangan penelitian telah diterapkan dengan berbagai macam metode untuk mengoptimalkan efisiensi energi listrik. Seperti teknologi Internet of Things (IoT) muncul sebagai salah satu solusi yang menjanjikan untuk memahami dan mengoptimalkan konsumsi energi. Tantangan dan peluang yang muncul dari penerapan IoT dalam monitoring kebutuhan, konsumsi dan efisiensi energi menawarkan gambaran yang mendalam tentang potensi transformasi dalam manajemen sumber daya[9]. Seperti pada penelitian terdahulu penggunaan smart

energy meter dapat berguna untuk menghemat waktu, usaha, dan uang dengan mengotomatiskan pengumpulan data secara remote[10].

Kemudian telah dilakukan juga penelitian dalam pengembangan sistem pemantauan dan pengendalian energi listrik berbasis Arduino dan IoT, sehingga perangkat yang lupa dimatikan, seperti lampu dan AC, dapat dipadamkan otomatis melalui aplikasi smartphone. Pemantauan dan pengendalian ini dapat dilakukan di mana saja dan kapan saja[11]. Dalam mengembangkan Smart Home yang menggunakan sistem manajemen energi, dapat menggunakan alat yang dapat mengukur atau menyortir penggunaan listrik di gedung dan rumah tangga atau alat elektronik komersial lainnya berdasarkan arus dan tegangan unit dari setiap alat elektronik. Menggunakan Non-Intrusive Appliance Load Monitoring (NILM) yang dikenal sebagai Energi Disagregasi. Dengan konsep Internet of Things (IoT) data hasil yang didapatkan dari pemrosesan tegangan dan arus menggunakan NILM akan dikirim ke server melalui internet menggunakan Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)[12].

Salah satu upaya lainnya dalam efisiensi energi listrik telah dilakukan penelitian dalam bentuk pengembangan rancang bangun alat ukur daya listrik menggunakan sensor ACS712 diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengelolaan energi yang lebih efisien dan mendukung upaya keberlanjutan di berbagai sektor[13]. Lalu sistem yang dirancang memanfaatkan modul PZEM-004T untuk mengukur besaran yang diperlukan, current detector sebagai pendeteksi arus, relay sebagai pengontrol beban melalui web, Arduino Uno sebagai pembaca dan pengirim data, Raspberry Pi sebagai pemroses dan halaman website sebagai interface[14].

Dalam kasus studi lainnya dilakukan juga pengembangan penelitian berupa implementasi sistem kontrol manajemen energi hybrid berbasis mikrokontroler. Dimana penelitian ini bertujuan untuk melihat nilai efisiensi energi yang dihasilkan dari implementasi sistem kontrol energi hybrid yang telah dibuat berbasis mikrokontroler ATMEGA-16[15].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Energi dan Daya Listrik

Energi Listrik merupakan energi yang dihasilkan arus dan tegangan listrik yang dialirkan dari sumber ke beban listrik. Seiring dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat[16]. Sumber energi listrik dapat berasal dari energi terbarukan atau konvensional. Penggunaan energi listrik telah banyak berkembang dan terus diupayakan efisiensi yang baik dalam pemanfaatannya. Satuan energi listrik adalah watt-hour (Wh) yang didapat dari daya listrik yang diserap dikali waktu (detik). Satuan energi listrik adalah watt-hour (Wh) yang didapat dari daya listrik yang diserap dikali waktu (detik) seperti dalam persamaan (1), sedangkan daya listrik dapat dilihat pada persamaan (2)[17].

$$W = P \times t \dots\dots\dots(1)$$

Dan daya listrik (P) adalah:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : W : Energi listrik (Wh)

t : waktu (detik)

P : Daya listrik (Watt)

V : Tegangan (Volt)

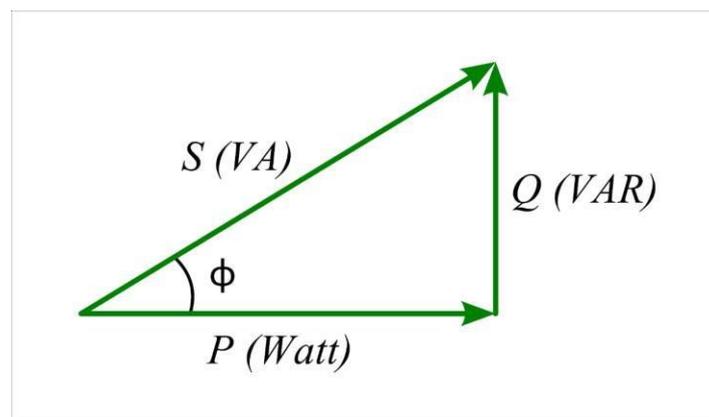
I : Arus Listrik (Ampere)

Daya listrik, dilambangkan dengan huruf P dalam persamaan listrik. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan Hukum Joule, sesuai nama fisikawan Britania James Joule, yang pertama kali menunjukkan bahwa energi listrik dapat berubah menjadi energi mekanik, dan sebaliknya. Satuan daya listrik dalam SI adalah Watt, didefinisikan sebagai berubahnya energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus.

Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya dalam watt diserap oleh suatu beban pada setiap saat sama dengan jatuh tegangan pada beban tersebut (volt) dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban (ampere). Daya dinyatakan dalam P , Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I seperti persamaan diatas.

Dalam Sistem Satuan Internasional, daya listrik dinyatakan dengan satuan Watt (W). Daya listrik juga dapat dinyatakan dalam satuan Joule/detik (J/s). Pada beberapa penerapan praktis, daya listrik dinyatakan dalam kiloWatt (kW) atau MegaWatt (MW).

Segitiga daya adalah sebuah segitiga siku-siku yang menggambarkan hubungan matematika antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri. Berikut gambar segitiga daya listrik yang bisa dilihat pada gambar 1 di bawah.



Gambar 2.1 Segitiga Daya

Jika dilihat dari gambar 2.1 segitiga daya di atas pada dasarnya daya listrik dibagi menjadi tiga yaitu :

- 1) Daya nyata / daya aktif (P) dengan satuan W (WATT)

Daya aktif adalah daya yang digunakan untuk energi sebenarnya dengan kata lain daya ini merupakan daya yang terpakai atau terserap. Daya aktif ini merupakan daya yang tercatat pada kwh meter yang terdapat di rumah-rumah dan daya tersebut merupakan daya yang harus dibayar oleh pelanggan. Daya aktif ini sendiri memiliki satuannya itu Watt (W).

2) Daya semu (S) dengan satuan VA (Volt Ampere)

Daya Semu merupakan suatu daya nyata, dengan kata lain daya semu ini adalah daya yang sebenarnya dihasilkan oleh generator. Daya semu merupakan penjumlahan antara daya aktif dengan daya reaktif. Daya semu ini memiliki persamaanya itu VA.

3) Daya reaktif (Q) dengan satuan VAR (Volt Ampere Reaktif)

Daya Reaktif merupakan suatu daya rugi-rugi dengan kata lain merupakan suatu yang tidak diinginkan dan semaksimal mungkin dapat dihindari. Daya ini bersumber dari komponen reaktif dan memiliki satuan VAR. Dalam perhitungan fasa, daya reaktif ini merupakan perkalian antara tegangan efektif dengan arus efektif serta nilai $\sin[18]$.

Ketiga daya listrik ini terdapat pada listrik AC satu fasa maupun listrik tiga fasa dan saling berkaitan atau berhubungan satu sama lain. Nilai dari ketiga daya ini juga sangat dipengaruhi oleh beban listrik yang terpasang pada rangkaian yang tersebut, beban tersebut adalah komponen beban resistif (R), beban kapasitif (C) dan beban induktif (L). Ketiga beban inilah yang mempengaruhi besar perbedaan fase atau ϕ (ϕ). Selain itu ketiga beban ini menciptakan sebuah impedansi (Z)[19].

2.2.2 Tegangan Listrik (Voltage)

Tegangan listrik, beda potensial listrik, atau voltase adalah ukuran perbedaan potensial listrik yang bekerja pada suatu elemen atau komponen yang memiliki dua titik dengan perbedaan muatan listrik. Secara matematis, kerja yang dilakukan untuk menggerakkan suatu muatan sebesar satu coulomb dapat didefinisikan sebagai perubahan energi yang dikeluarkan(dalam Joule) terhadap perubahan muatan listrik(dalam Coulomb) dengan satuan volt.

Kemungkinan yang bisa terjadi pada tegangan listrik adalah tegangan jatuh atau tegangan naik. Tegangan jatuh terjadi apabila potensial dipandang dari terminal lebih rendah ke tinggi, dan tegangan naik terjadi apabila potensial dipandang dari terminal lebih tinggi ke terminal lebih rendah. Berikut adalah persamaan dari tegangan listrik yaitu :

Tegangan listrik (V) adalah:

$$V = I \times R \dots\dots\dots (3)$$

Dimana : V : Tegangan (Volt)

 I : Arus Listrik (Ampere)

 R : Tahanan/Hambatan Listrik (Ohm)

Tegangan listrik yang digunakan untuk menyuplai perangkat elektronik adalah tegangan listrik 1 phase (220 volt) atau tegangan listrik 3 phase (380 volt). Berdasarkan SPLN No.1:1978, batas toleransi tegangan pelayanan +5% dan -10% dari tegangan nominal. Tegangan nominal yang dimaksud adalah 220 volt sehingga standar tersebut berarti tegangan listrik tidak boleh lebih dari 231 volt atau kurang dari 198 volt.

Standar tersebut dibuat karena peralatan listrik dan elektronik memiliki tegangan kerja di 220 volt. Ketika tegangan listrik yang menyuplainya kurang atau lebih dari standari yang ditetapkan maka peralatan tersebut tidak bekerja maksimal atau akan rusak. Spaning atau spaneng listrik adalah kejadian tidak normal pada sistem kelistrikan yang ditandai dengan tegangan listrik yang tidak stabil (naik turun). Dengan kata lain spaning listrik adalah tegangan listrik yang tidak stabil.

Pembagian daya yang tidak merata atau tidak seimbang dapat menyebabkan tegangan listrik tidak stabil pada sistem satu fasa, meskipun penyebab utamanya adalah beban yang terlalu tinggi atau gangguan pada jaringan listrik. Pada sistem satu fasa, meskipun tidak ada distribusi antar fasa, beban listrik yang tiba-tiba atau terlalu berat dapat menarik arus berlebih, yang menyebabkan sistem tidak dapat merespons perubahan secara cepat dan menyebabkan tegangan turun atau naik secara tidak stabil. Berikut adalah beberapa faktor yang menjadi penyebab utama tegangan tidak seimbang :

- 1) Tegangan sumber listrik (baik PLN atau pembangkitan sendiri) yang memang tidak seimbang.
- 2) Impedansi yang tidak sama dari sistem distribusi tiga fasa.

- 3) Pembebanan tidak seimbang pada kapasitor koreksi faktor daya (seperti sekering putus pada satu fasa).
- 4) Distribusi beban fase tunggal yang tidak merata.
- 5) Beban tidak seimbang meskipun dihubungkan dalam tiga fasa.
- 6) Tapping transformator tidak tepat.

2.2.3 Arus Listrik (Ampere)

Arus listrik adalah laju aliran muatan listrik melewati suatu titik atau bagian. Arus listrik dikatakan ada ketika ada aliran bersih muatan listrik melalui suatu bagian. Muatan listrik dibawa oleh partikel bermuatan, sehingga arus listrik adalah aliran partikel muatan.

Partikel yang bergerak disebut dengan pembawa muatan, sedangkan dalam konduktor yang berbeda mungkin jenis partikel yang berbeda. Pembawa muatan di sirkuit listrik muatan sering kali elektronnya bergerak melalui kawat. Sementara itu, dalam elektrolit pembawa muatannya adalah ion, sedangkan dalam gas terionisasi (plasma) adalah ion dan elektron.

Sistem Satuan Internasional (SI) memberikan satuan dari arus listrik yaitu ampere, yang merupakan aliran muatan listrik melintasi permukaan dengan kecepatan satu coulomb per detik. Ampere (simbol: A) adalah unit dasar SI. Arus listrik diukur menggunakan perangkat yang disebut dengan ammeter.

Arus listrik menyebabkan pemanasan Joule, yang menciptakan cahaya dalam bola lampu pijar. Hal itulah yang juga menciptakan medan magnet, yang digunakan dalam motor, generator, induktor, dan transformator.

Arus listrik juga merupakan aliran elektron dari atom ke atom yang terjadi pada sebuah penghantar dengan kecepatan dalam waktu tertentu. Timbulnya arus listrik dikarenakan adanya beda potensial di kedua ujung penghantar yang terjadi karena mendapatkan suatu tenaga untuk mendorong elektron-elektron tersebut berpindah-pindah tempat.

Gerakan aliran elektron ini akan menuju tempat yang lebih lemah tekanannya. Besar kecilnya arus listrik yang terjadi tergantung kepada pembangkit listrik yang mengeluarkan tenaga tersebut. Tenaga dorong listrik dibutuhkan agar

kita bisa memanfaatkan energi listrik, tetapi tenaga ini haruslah mencukupi dan sesuai jumlahnya.

Berdasarkan hal tersebut, arus listrik harus dapat dialirkan dan diputuskan dengan kecepatan yang stabil. Kecepatan perpindahan arus listrik disebut dengan laju arus yang dapat ditulis dengan I dengan satuan ampere. Arus listrik tersebut terjadi jika muatan listrik tersebut mengalir setiap detik, sehingga terdapat persamaan muatan listrik, arus listrik, dan waktu, dengan rumus sebagai berikut.

Arus listrik (I) adalah:

$$I = V / R \dots\dots\dots(4)$$

Atau

$$Q = I \times t \dots\dots\dots(5)$$

Dimana : I : Kuat Arus Listrik (Ampere)

Q : Banyaknya Muatan Listrik (Coulomb)

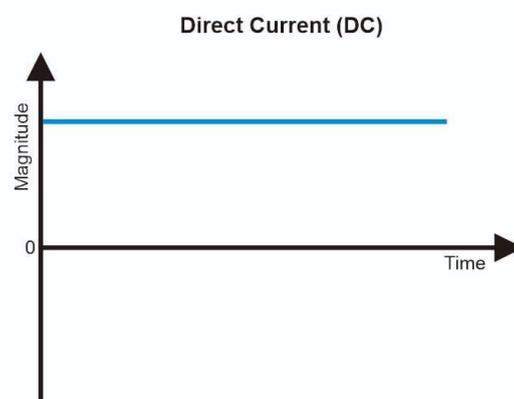
t : Waktu (s)

V : Tegangan Listrik (Voltage)

R : Hambatan Listrik (Ohm)

Berikut merupakan jenis-jenis arus listrik secara umum :

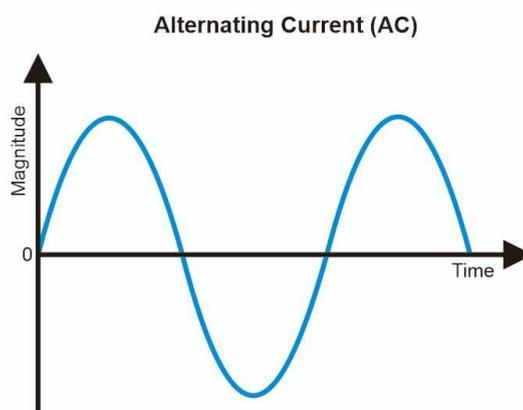
1) Direct Current (Arus Searah)



Gambar 2.2 Direct Current

Pada gambar 2.2 merupakan direct current atau arus searah adalah arus listrik yang nilainya tidak berubah. Arah pengaliran arus listriknya hanya positif atau hanya negatif saja. Arus searah didefinisikan sebagai arus listrik yang mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu. Nilai ini ditinjau dari pengaliran arus listrik pada waktu yang berbeda dan akan selalu mendapatkan nilai yang sama. Sumber tegangan listrik dan arus searah diperoleh dari elemen-elemen seperti elemen volta, baterai, dan akumulator, yang merupakan suatu energi listrik yang mengalir secara merata pada setiap saat. Alat pengukur tegangan dan arus searah yaitu jenis kumparan berputar yang terdiri dari sebuah kumparan yang berada dalam suatu medan magnet permanen. Kumparan yang disanggah oleh sumbu yang dilengkapi dengan pegas, apabila dialiri arus maka kumparan tersebut akan berputar.

2) Alternating Current (Arus Searah)



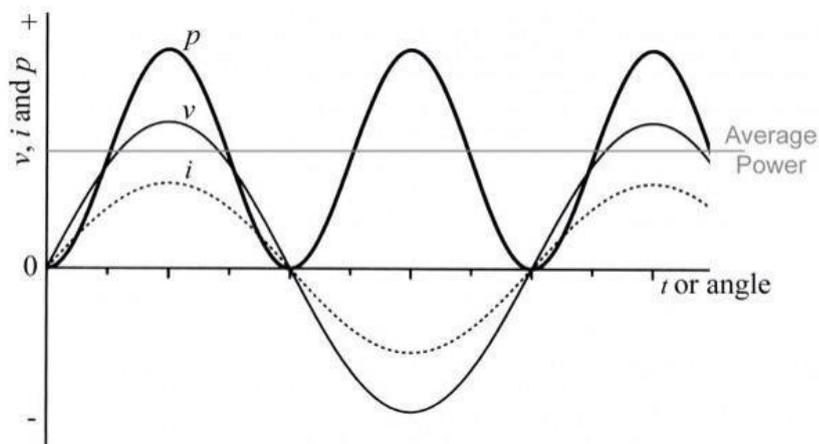
Gambar 2.3 Alternating Current

Pada gambar 2.3 merupakan alternating current atau arus bolak-balik adalah arus listrik yang memiliki arah arus yang berubah-ubah dengan bolak-balik. Sifat arus listrik bolak-balik berbentuk gelombang sinusoida, sehingga memungkinkan pengaliran energi secara efisien. Umumnya, arus AC ini adalah arus yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti alat-alat elektronik yang dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia. Arus listrik bolak-balik dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik yang bernama generator pada pembangkit listrik.

2.2.4 Beban Listrik

Beban listrik (Load) merupakan total daya aktif dan/atau reaktif yang dikonsumsi oleh suatu peralatan yang terkoneksi ke sistem daya. Pada beban seimbang jumlah daya yang dibangkitkan oleh pembangkit tiga fase diperoleh dengan menjumlahkan daya tiap-tiap fase. Pada sistem yang seimbang, daya total sama dengan daya tiga kali fase dengan perbedaan sudut antara tiap fase yaitu 120° [20]. Contoh beban resistif meliputi lampu pijar, elemen pemanas seperti setrika dan oven, serta pemanggang roti. Beban listrik (load) diklasifikasikan menjadi 3, yaitu :

1) Beban Resistif

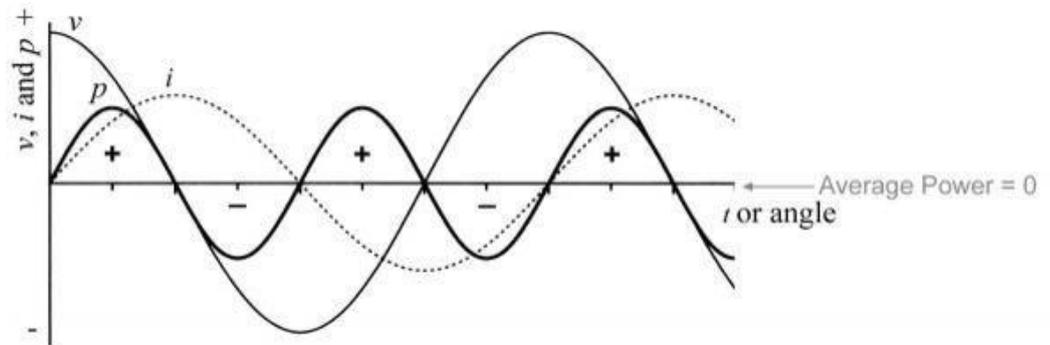


Gambar 2.4 Gelombang Beban Resistif

Pada gambar 2.4 merupakan gelombang beban resistif adalah beban yang memiliki sifat resistif apabila beban tersebut dialiri arus listrik yang mengalir maka arus nominal pada beban memiliki nilai berupa resistor murni. Beban resistif adalah jenis beban listrik yang komponen utamanya adalah resistor (hambatan), yang mengubah energi listrik menjadi energi panas atau cahaya.

Dalam rangkaian arus bolak-balik (AC), contoh beban-beban listrik yang bersifat resistif adalah lampu pijar, setrika, teko listrik, dan alat-alat yang bersifat pemanas lainnya[21]. beban resistif memiliki karakteristik yang paling sederhana dibandingkan jenis beban lainnya yaitu arus dan tegangan sefasa pada beban resistif.

2) Beban Induktif



Gambar 2.5 Gelombang Beban Induktif

Pada gambar 2.5 merupakan gelombang beban induktif, beban induktif memiliki sifat yang sama dengan induktor. Arus Listrik yang mengalir melalui beban tersebut akan disimpan dalam bentuk medan magnet sehingga listrik yang mengalir akan terinduksi dan diubah menjadi medan magnet yang tersimpan.

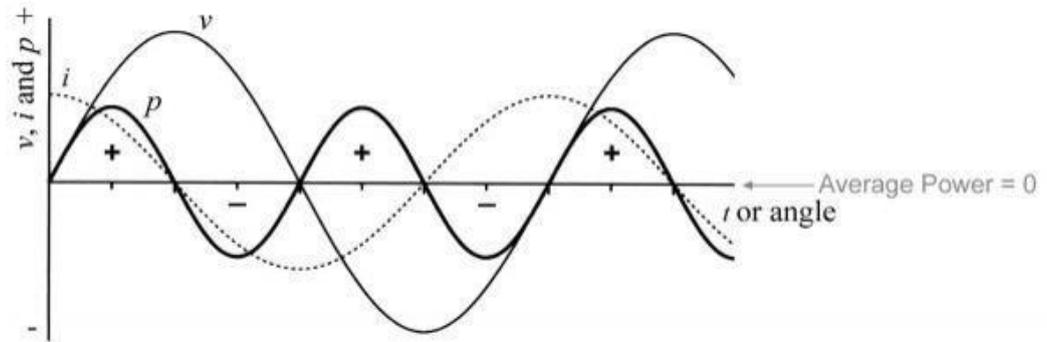
Beban induktif mengubah energi listrik menjadi energi mekanis atau magnetis dan terdiri dari komponen yang memiliki sifat induktansi. Contoh beban induktif adalah motor listrik, kipas angin, dan kompresor. Pada beban induktif, arus tertinggal dari tegangan, sehingga terjadi pergeseran fase antara keduanya.

Beban induktif didominasi oleh reaktansi induktif, reaktansi induktif adalah hambatan yang diberikan oleh induktor terhadap aliran arus bolak-balik (AC). Nilainya berbanding lurus dengan frekuensi dan induktansi. Ketika arus AC mengalir melalui beban induktif (misalnya, sebuah kumparan), perubahan arus menciptakan medan magnet yang juga berubah. Medan magnet yang berubah ini menginduksi tegangan balik (back-EMF) yang menentang perubahan arus. Karena fenomena ini, arus mencapai puncaknya setelah tegangan, yang disebut pergeseran fasa (phase shift). Pada rangkaian induktif murni, arus tertinggal 90° dari tegangan.

Beban induktif sangat umum dalam kehidupan sehari-hari dan industri. Contoh-contohnya meliputi motor listrik, Kulkas, kipas angin,

pompa air, mesin cuci, dan AC. Semuanya menggunakan motor listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

3) Beban Kapasitif



Gambar 2.6 Gelombang Beban Kapasitif

Pada gambar 2.6 merupakan gelombang beban kapasitif, beban kapasitif merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban Induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik, maka beban kapasitif bersifat menghalangi perubahan tegangan listrik. Sifat ini menunjukkan bahwa kapasitor bersifat seakan-akan menyimpan tegang listrik sesaat.

Secara fundamental, beban kapasitif adalah beban yang didominasi oleh reaktansi kapasitif. Reaktansi kapasitif adalah hambatan yang diberikan oleh kapasitor terhadap aliran arus AC. Nilainya berbanding terbalik dengan frekuensi dan kapasitansi. Semakin tinggi frekuensi atau semakin besar kapasitansi, semakin kecil reaktansi kapasitifnya, yang berarti semakin mudah arus mengalir melalui kapasitor.

Beban kapasitif biasanya tidak ditemukan dalam bentuk kapasitor tunggal yang digunakan sebagai beban, melainkan sebagai sifat inheren dari peralatan listrik tertentu. Contohnya meliputi Bank kapasitor Sering digunakan di gardu induk atau pabrik untuk memperbaiki faktor daya. Kabel transmisi tegangan tinggi: Kapasitansi terbentuk antara konduktor dan tanah, atau antara konduktor yang berbeda. Peralatan elektronik contohnya catu daya switching, komputer, dan peralatan kantor modern yang menggunakan kapasitor dalam sirkuit internalnya.

2.2.5 Arduino Uno Atmega 328P



Gambar 2.7 Arduino Uno ATmega 328P

Pada gambar 2.7 arduino uno merupakan mikrokontroler dengan sumber terbuka. Papan ini dilengkapi dengan 14 pin digital dan 6 pin analog masing-masing yang bisa digunakan sebagai output untuk modulasi lebar pulsa. Selain itu, Arduino Uno juga dilengkapi dengan resonator keramik berkecepatan 16 MHz, header untuk pemrograman serial dalam sirkuit (ICSP), koneksi USB, soket untuk sumber daya, serta sebuah tombol reset. Setiap pin pada Arduino Uno beroperasi dengan tegangan 5V[22].

Arduino Uno jenis ini yang paling sering di gunakan untuk pembuatan project kendali elektronika. hal ini di karenakan arduino Uno memiliki jumlah pin yang tidak sedikit, namun juga tidak terlalu banyak (sedang-sedang saja). Produk terakhir dari arduino Uno adalah arduino Uno R3 (revisi 3). Arduino ini menggunakan Atmega328P sebagai mikrokontrolernya. Beroperasi di tegangan 5V, inputan tegangan yang di rekomendasikan adalah antara 7-12V.

Arduino Uno memiliki 14 pin input/output digital (6 pin dapat di gunakan sebagai output PWM) dan pin input analog berjumlah 6 pin. Arus dari tiap-tiap input/output sebesar 20mA, namun jika menggunakan 3,3V, arus dapat mencapai 50mA. Memori dari arduino Uno hanya 32Kb (0.5 kB di gunakan untuk bootloader). Arduino Uno juga memiliki LED bawaan yang bisa di gunakan

(LED_BUILTIN) di pin 13. Besar devicenya adalah 68,6×53,4mm dengan berat 25g, berikut saya lampirkan jenis dan tipe Arduino uno :

- Arduino Uno DIP
 - 1) Menggunakan Integrated Circuit (IC) yang tidak tersolder langsung ke papan sirkuit.
 - 2) IC-nya berbentuk 28-pin yang bisa dicabut dan diganti jika terjadi kerusakan.
 - 3) Driver yang digunakan sama dengan Arduino original, membuatnya lebih mudah untuk pemula.

- Arduino Uno SMD
 - 1) IC-nya sudah tersolder langsung ke papan sirkuit (Surface Mount Device).
 - 2) Lebih kompak dan tidak mudah diganti jika rusak.
 - 3) Versi ini sering menggunakan driver CH340 yang terkadang memerlukan instalasi driver tambahan di komputer.

Prinsip kerja dari arduino uno berdasarkan komponen utama yaitu ATmega328P ini adalah otak dari arduino uno. Mikrokontroler ini seperti komputer kecil yang dapat diprogram. Ia memiliki CPU, memori (untuk menyimpan program dan data), dan port input/output (I/O) yang dapat terhubung ke dunia luar. Program yang diunggah ke Arduino disimpan di memori flash mikrokontroler.

Pin Input/Output (I/O) Arduino Uno memiliki serangkaian pin yang berfungsi sebagai jembatan antara mikrokontroler dan komponen eksternal. Pin-pin ini terbagi menjadi dua jenis utama:

- 1) Pin Digital ini dapat diatur untuk beroperasi sebagai input atau output. Sebagai input, mereka dapat mendeteksi apakah suatu sinyal ON (logika 1) atau OFF (logika 0), seperti dari sebuah tombol. Sebagai output, mereka dapat menyalakan atau mematikan komponen, seperti LED.

- 2) Pin Analog ini berfungsi sebagai input dan dapat membaca sinyal analog, yaitu sinyal yang nilainya bervariasi secara terus-menerus. Contohnya adalah output dari sensor suhu, yang nilainya tidak hanya 0 atau 1, tetapi bisa apa saja di antara rentang tertentu (misalnya, 0-1023).

Siklus kerja arduino dapat disederhanakan menjadi tiga langkah utama yang berulang:

- 1) Arduino menerima data dari pin inputnya. Data ini bisa berasal dari sensor (misalnya, sensor cahaya, sensor suhu), saklar, atau tombol yang mengubah statusnya menjadi logika HIGH (ON) atau logika LOW (OFF).
- 2) Mikrokontroler memproses data input ini berdasarkan program yang telah diunggah. Program ini berisi serangkaian logika dan instruksi if-then (jika-maka). Misalnya, "Jika sensor cahaya mendeteksi kegelapan, nyalakan LED."
- 3) Setelah memproses data, mikrokontroler mengirimkan sinyal ke pin output. Sinyal ini bisa berupa tegangan untuk menyalakan LED, menggerakkan motor, atau mengaktifkan komponen lain.

Siklus ini berjalan terus-menerus dan sangat cepat. Kecepatan pemrosesan ini memungkinkan Arduino untuk merespons secara real-time terhadap perubahan di lingkungannya.

2.2.6 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah software yang digunakan untuk membuat sketch pemrograman atau dengan kata lain arduino IDE sebagai media untuk pemrograman pada board yang ingin diprogram. Arduino IDE ini berguna untuk mengedit, membuat, meng-upload ke board yang ditentukan, dan meng-coding program tertentu. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA, yang dilengkapi dengan library C/C++(wiring), yang membuat operasi input/output lebih mudah[23].



Gambar 2.8 Arduino IDE

Pada gambar 2.8 menunjukkan saat pertama kali dibuka, tampilan Arduino IDE terlihat sederhana. . Bagian-bagian utamanya adalah:

- 1) Editor Teks (Editor Area), disinilah tempat menulis kode program, yang dalam arduino disebut "sketch". Fitur-fitur seperti penyorotan sintaksis (syntax highlighting) dan indentasi otomatis memudahkan menulis kode.
- 2) Toolbar memiliki beberapa tombol penting diantaranya :
 - Verify (Centang), tombol ini berfungsi untuk memeriksa program dari kesalahan (syntax errors). Proses ini disebut "kompilasi" (compiling). Jika ada kesalahan, IDE akan menampilkannya di bagian bawah.
 - Upload (Panah kanan), setelah program diverifikasi, tombol ini akan mengunggah kode ke papan Arduino yang terhubung.
 - New, Open, Save: Tombol standar untuk mengelola file sketch.
 - Serial Monitor, fitur penting untuk debugging. Kita bisa mengirim atau menerima data teks dari Arduino, yang sangat berguna untuk melihat nilai sensor atau pesan status.

- 3) Area Pesan (Message Area), area ini menampilkan pesan dari proses kompilasi dan unggah. Jika ada kesalahan, ia akan menunjukkan baris kode yang bermasalah.
- 4) Konsol Teks, menampilkan detail proses unggah, ukuran program, dan informasi lainnya.

Setiap program arduino memiliki struktur dasar dalam sebuah pemrograman untuk membuat kode program yang terdiri dari dua fungsi wajib:

- 1) void setup() :

Fungsi ini hanya dijalankan sekali saat Arduino pertama kali dihidupkan atau di-reset. Digunakan untuk inisialisasi, seperti mengatur mode pin (sebagai INPUT atau OUTPUT) dan memulai komunikasi serial. Contoh pinMode (13, OUTPUT) untuk mengatur pin 13 sebagai output.

- 2) void loop() :

Setelah fungsi setup() selesai, fungsi ini akan terus dijalankan berulang-ulang tanpa henti. Ini adalah inti dari program di mana logika utama diletakkan. Contoh logika untuk menyalakan LED, membaca sensor, dan menggerakkan motor ditulis di sini.

Salah satu fitur paling kuat dari Arduino IDE adalah manajemen pustaka. Pustaka (libraries) adalah kumpulan kode yang sudah ditulis sebelumnya, yang memungkinkan untuk menggunakan fungsionalitas kompleks tanpa harus menulisnya dari awal. Misalnya, ingin mengontrol layar LCD atau sensor tidak perlu memahami seluk-beluk komunikasinya. Cukup instal pustaka yang relevan dan panggil fungsi yang telah disediakan. Pustaka bawaan (Built-in Libraries) merupakan pustaka sudah terinstal secara default, seperti Servo untuk mengontrol servo motor atau LiquidCrystal untuk layar LCD.

2.2.7 PZEM-004T v3.0



Gambar 2.9 Sensor PZEM-004T v3.0

Pada gambar 2.9 menunjukkan sebuah sensor PZEM-004T merupakan modul multifungsi yang berfungsi untuk mengukur daya, tegangan, arus, serta energi listrik pada suatu arus listrik. Modul ini dilengkapi dengan sensor tegangan dan sensor arus (CT) terintegrasi[24]. Dalam penggunaannya, alat ini dirancang khusus untuk penggunaan di dalam ruangan (indoor), dan beban yang terpasang tidak diperbolehkan melebihi daya yang telah ditentukan.. Sensor PZEM-004T cukup mudah digunakan karena output nya langsung bisa dibaca, baik berupa arus, tegangan, power maupun energi. Untuk kekurangan sensor ini sendiri tidak mampu membaca arus AC dengan ketelitian mili Ampere.

Modul sensor PZEM-004T v3.0 ini memiliki rentang pengukuran tegangan sebesar 80-260 VAC dengan resolusi pengukuran 0,1 VAC serta keakuratan pembacaan sebesar 0,5%. Arus kerja pada modul sensor ini memiliki rentang pengukuran sebesar 0-100A dengan pembacaan awal senilai 0,02A. Modul sensor ini juga memiliki resolusi pembacaan sebesar 0,001A dengan keakuratan sebesar 0,5%. Pembacaan rentang frekuensi pengukuran frekuensi pada modul sensor ini sebesar 45-65Hz dengan resolusi sebesar 0,1Hz dengan keakuratan pembacaan sebesar 0,5% [25].

Dalam penggunaannya, alat ini khusus penggunaan dalam ruangan (indoor) dan beban yang terpasang tidak diperbolehkan melebihi daya yang sudah ditetapkan. PZEM-004T adalah hardware berfungsi untuk mengukur parameter dari tegangan, arus, daya aktif, dan konsumsi daya (kWh). Pengkabelan dari modul ini memiliki 2 bagian, yaitu dari pengkabelan terminal masukan tegangan dan arus, serta pengkabelan komunikasi serial. Berdasarkan pada kebutuhan, modul ini memiliki papan pin TTL untuk mendukung komunikasi data serial antar hardware. Jika pengguna ingin mengkomunikasikan PZEM-004T ini dengan perangkat yang memiliki port USB atau RS-232 (seperti komputer), diperlukan lagi kabel converter (TTL ke USB, TTL ke RS232)[26].

Secara garis besar, sensor PZEM dapat dibedakan berdasarkan jenis output data dan metode pengukuran arusnya :

- Berdasarkan Jenis Output
 - 1) PZEM dengan output analog, jenis ini mengeluarkan sinyal analog berupa tegangan yang proporsional dengan parameter yang diukur. Sinyal ini biasanya memerlukan konversi lebih lanjut menggunakan ADC (Analog-to-Digital Converter) untuk dapat dibaca oleh mikrokontroler. Contohnya adalah PZEM-017 yang sering digunakan untuk pengukuran DC.
 - 2) PZEM dengan output digital, jenis ini mengeluarkan data dalam bentuk digital melalui antarmuka komunikasi, seperti UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) atau Modbus RTU. Output digital lebih praktis karena data sudah dalam format yang siap dibaca oleh mikrokontroler tanpa perlu konversi tambahan. Sebagian besar sensor PZEM modern, seperti PZEM-004T, termasuk dalam kategori ini.
- Berdasarkan metode pengukuran arus
 - 1) PZEM dengan shunt resistor metode ini digunakan untuk pengukuran arus DC. Shunt resistor adalah resistor presisi dengan resistansi sangat rendah yang dipasang secara seri pada jalur arus. Hukum Ohm ($V=I \times R$) digunakan untuk mengukur tegangan jatuh (V) pada resistor, yang kemudian dikonversi menjadi nilai arus (I). Contohnya adalah PZEM-017.

- 2) PZEM dengan transformator arus (ct - current transformer) metode ini umumnya digunakan untuk pengukuran arus AC. CT berfungsi untuk menurunkan arus AC tinggi menjadi arus kecil yang aman dan proporsional untuk diukur. CT bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Bagian sekunder CT dihubungkan ke modul PZEM, yang kemudian mengukur arus kecil tersebut dan mengalihkannya kembali menjadi nilai arus yang sebenarnya. Contohnya adalah PZEM-004T.
- 3) PZEM dengan metode nirkontak (contactless) beberapa jenis sensor arus canggih, seperti sensor Hall-Effect, juga dapat digunakan, meskipun tidak secara spesifik pada modul PZEM yang umum di pasaran. Sensor ini mengukur arus melalui medan magnet yang dihasilkan oleh konduktor, memungkinkan pengukuran tanpa kontak langsung.

Berikut adalah beberapa tipe sensor PZEM yang paling sering digunakan dalam proyek dan penelitian, masing-masing dengan karakteristik uniknya.

- 1) PZEM-004T

Ini adalah salah satu tipe sensor PZEM yang paling populer. Modul ini dirancang untuk pengukuran arus AC dan dilengkapi dengan transformator arus (CT). Fungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, frekuensi, faktor daya, dan energi.

Komunikasi menggunakan antarmuka serial UART TTL (Transistor-Transistor Logic) dengan protokol Modbus RTU, memungkinkan komunikasi dengan mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau Raspberry Pi.

Aplikasi yang cocok untuk sistem pemantauan daya rumah tangga, kontrol beban listrik, dan proyek IOT (Internet of Things) yang membutuhkan data kelistrikan secara real-time.

- 2) PZEM-017

Tipe ini dikhususkan untuk pengukuran pada arus DC. Berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan energi pada rangkaian DC. Komunikasi menggunakan antarmuka serial RS485, yang

memungkinkan transmisi data pada jarak yang lebih jauh dibandingkan UART TTL.

Metode Pengukuran menggunakan shunt resistor eksternal untuk mengukur arus. Shunt ini harus terpasang dengan benar pada rangkaian DC yang akan diukur. Aplikasi ideal untuk sistem tenaga surya, baterai, dan aplikasi DC lainnya.

3) PZEM-004 V3.0

Merupakan versi terbaru dari PZEM-004T. Perbedaan utamanya terletak pada firmware dan fitur tambahan. Fungsinya mirip dengan PZEM-004T, namun beberapa versi V3.0 memiliki fitur kalibrasi dan reset energi yang lebih mudah.

Komunikasi tetap menggunakan UART TTL dan protokol Modbus RTU. Aplikasi menggantikan versi sebelumnya dengan performa yang lebih stabil dan fitur yang ditingkatkan.

2.2.8 Modul Relay



Gambar 2.10 Modul Relay 250VAC/10A

Pada gambar 2.10 merupakan modul relay, sebuah komponen elektronik yang terdiri dari dua bagian penting, yaitu elektromagnet koil dan kontak mekanik. Fungsi utama dari relay ini adalah untuk menggerakkan kontak saklar dengan menggunakan prinsip elektromagnetik. Hal ini memungkinkan relay dapat digunakan untuk mengendalikan tegangan tinggi meskipun hanya menggunakan arus listrik kecil. Pada penelitian ini, relay dimanfaatkan untuk mengontrol aliran listrik yang menuju lampu terminal beban. Relay merupakan komponen elektronik

yang berfungsi sebagai saklar yang dapat membuka atau menutup sirkuit listrik dengan bantuan kendali dari sirkuit elektronik lainnya[27].

Relay modul 1 channel adalah sebuah saklar yang dikendalikan oleh arus. Dalam relay terdapat sebuah kumparan tegangan rendah yang dililitkan pada sebuah inti dan arus nominal yang harus dipenuhi output rangkaian kendalinya. Arus yang digunakan dalam rangkaian ini adalah arus DC.

Secara prinsip, relay merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (solenoid) di dekatnya. Ketika solenoid dialirkan listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. Relay biasanya digunakan untuk menggerakkan arus atau tegangan yang besar (misalnya peralatan listrik 4 ampere AC 220V) dengan memakai arus atau tegangan yang kecil 0.1 ampere 12VDC[28]. Hubungan antara GND, VCC, dan VIN dalam rangkaian yaitu:

- 1) VIN berfungsi sebagai input tegangan dari sumber eksternal, seperti adaptor atau baterai. Regulator tegangan akan menurunkan tegangan dari VIN menjadi tegangan yang stabil sesuai kebutuhan, misalnya dari 12V menjadi 5V.
- 2) Selanjutnya, VCC menyuplai tegangan ke berbagai komponen dalam rangkaian, seperti sensor dan IC.
- 3) GND berfungsi sebagai jalur balik arus dari komponen kembali ke sumber tegangan.

Berikut masing-masing penjelasan bagian dalam relay :

- 1) Common : bagian yang menyambung Normally Close (dalam keadaan normal).
- 2) Koil : disebut juga kumparan yang berfungsi untuk menciptakan medan magnetik.
- 3) Kontak : terdiri atas normally open dan normally close. Normally open adalah kondisi awal sebelum sakelar diaktifkan maka akan selalu berada pada posisi terbuka, sedangkan normally close adalah kondisi awal sebelum sakelar diaktifkan maka akan selalu berada pada posisi tertutup.

Di dalam relay ada berbagai komponen tambahan yang masing-masing juga memiliki fungsi sendiri-sendiri yaitu :

1) Electromagnet (Coil)

Electromagnet berfungsi untuk menghantarkan arus listrik ke iron core dan membuat armature merubah posisi awalnya. Selain itu juga berfungsi membentuk medan magnet ketika memperoleh tegangan listrik yang sesuai tegangan relay.

2) Armature

Armature adalah sebuah material berupa lempengan logam yang berfungsi sebagai tuas kontak yang bergerak merubah posisi kontak. Perubahan posisi ini bergantung dari sifat magnetik komponen besi yang mempengaruhinya.

3) Spring

Spring adalah modul yang berfungsi mengatur kondisi dari armature. Jadi, apabila ada aliran listrik dari coil maka spring bakal mendorong sisi belakang armature ke atas sehingga posisinya berubah.

4) Switch Contact Point

Switch Contact Point adalah saklar yang berfungsi sebagai kontak output relay. Ada dua kondisi yaitu normally open dan normally close. Maksud dari normally open adalah kontak normal saat lilitan A1 dan lilitan A2 belum memperoleh tegangan atau juga disebut sebagai kontak tertutup. Sedangkan normally close artinya adalah kontak relay secara normal ketika lilitan A1 dan A2 belum mendapatkan tegangan disebut sebagai kontak terbuka.

5) Inti Besi

Bagian inti besi memiliki dua fungsi dalam sistem ini. Fungsi pertama yaitu dengan sifat magnetiknya berperan dalam hal menarik armature sehingga bisa mengubah posisi switch contact points.

2.2.9 Miniature Circuit Breaker (MCB)



Gambar 2.11 MCB

Pada gambar 2.11 merupakan MCB yang dibuat hanya memiliki satu kutub untuk proteksi sistem tegangan satu fasa, sedangkan untuk proteksi sistem tegangan tiga fasa bisaanya memiliki tiga kutub dengan tuas yang disatukan, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu kutub maka kutub yang lainnya juga akan ikut terputus. MCB banyak digunakan untuk proteksi rangkaian satu fasa dan tiga fasa karena mempunyai keuntungan, yaitu : a) dapat memutuskan rangkaian tiga fasa walaupun terjadi hubung singkat pada salah satu fasanya, b) dapat digunakan kembali setelah rangkaian diperbaiki akibat hubung singkat atau beban lebih, c) mempunyai respon yang baik apabila terjadi hubung singkat atau beban lebih.

MCB juga biasa digunakan sebagai proteksi motor induksi dengan ketentuan $IB \leq IN \leq IZ$. IB merupakan arus maksimum yang diijinkan mengalir pada rangkaian, IN adalah arus nominal proteksi (MCB), dan IZ adalah kapasitas hantar arus (KHA) dari kabel listrik yang digunakan. Dari ketentuan tersebut yang perlu menjadi perhatian adalah dalam menentukan nominal arus proteksi (MCB) tidal boleh melebihi KHA kabel yang digunakan. Bila nominal arus proteksi yang digunakan melebihi KHA kabel maka ketika arus listrik yang mengalir dalam rangkaian sudah melebihi KHA kabel, proteksi belum bekerja sehingga bisa menyebabkan kebakaran[29].

2.2.10 Current Transformer



Gambar 2.12 Current Transformer

Pada gambar 2.12 merupakan current transformer (CT) adalah sebuah komponen instrumentasi yang berfungsi untuk mengubah arus listrik tinggi pada sisi primer menjadi arus proporsional yang lebih kecil pada sisi sekunder, sehingga dapat dibaca oleh perangkat monitoring atau kontrol, seperti Arduino dan Programmable Logic Controller (PLC). Arus keluaran dari CT ini dijadikan sebagai parameter referensi untuk melakukan analisis perbandingan antara konsumsi arus beban utama (beban konsumen) dengan beban tambahan atau pelengkap (komplemen), dalam konteks efisiensi atau kestabilan sistem kelistrikan.

Pada penelitian ini current transformer yang digunakan tipe split core dikombinasikan menjadi sebuah rangkaian terdiri dari mikrokontroler arduino untuk mengirim data dari sensor PZEM-004T yang dilengkapi dengan current transformer (CT) untuk mengukur tegangan dan arus dari listrik yang digunakan, dan juga menampilkan hasil pembacaan pada LCD[30].

Tanpa CT, sensor PZEM-004T tidak akan bisa mengukur seberapa banyak arus yang ditarik oleh beban utama. Data arus ini, bersama dengan data tegangan, sangat penting untuk menghitung daya. Pada intinya, CT adalah komponen untuk membantu sensor untuk melihat seberapa besar penggunaan listrik pada beban utama yang menjadi dasar bagi seluruh logika kontrol sistem PWM.

2.2.11 Beban Utama Rangkaian



Gambar 2.13 Catokan Listrik

Pada gambar 2.13 merupakan catokan listrik digunakan untuk percobaan proyek ini menggunakan beban utama resistif yang dayanya dapat diatur atau bervariasi. Tujuannya adalah untuk mensimulasikan penggunaan daya yang tidak stabil, sehingga dapat menguji respons sistem secara dinamis. Meskipun lampu LED dapat digunakan sebagai beban utama, mereka memiliki karakteristik elektronik yang dapat menimbulkan masalah bagi sistem, terutama pada akurasi sensor PZEM-004T.

Sensor PZEM-004T dirancang untuk mengukur daya dengan akurat pada beban resistif (seperti lampu pijar atau elemen pemanas). Ketika dihadapkan pada arus yang terdistorsi oleh lampu LED, sensor mungkin memberikan pembacaan daya yang tidak akurat.

Pilihan terbaik adalah dispenser air panas atau setrika listrik, karena keduanya menggunakan elemen pemanas resistif dan memiliki termostat internal yang secara otomatis menyala dan mati. Ini akan menyebabkan daya yang ditarik berfluktuasi, dan bisa menunjukkan dengan jelas bagaimana sistem merespons setiap perubahan.

2.2.12 Beban Penyeimbang Rangkaian



Gambar 2.14 Lampu Pijar

Pada gambar 2.14 sebuah lampu pijar digunakan untuk beban penyeimbang dengan memperhatikan spesifikasi serta kelebihan dan kekurangan sensor untuk melakukan percobaan disarankan harus menggunakan beban resistif murni dengan daya yang sesuai dengan rating daya yang telah ditetapkan (misalnya 100 watt). Beban penyeimbang berfungsi sebagai penyerap daya sisa. Jika beban penyeimbang lebih kecil dari 100 watt (misalnya 50 watt) sistem hanya dapat menyerap daya sisa hingga 50 watt. Jika beban utama dimatikan, total daya hanya akan mencapai 50 watt artinya gagal memenuhi target 100 Watt.

Jika beban penyeimbang lebih besar dari 100 watt (misalnya 200 watt) sistem masih dapat berfungsi, Namun tidak akan pernah menggunakan beban penyeimbang pada 100% kapasitasnya. Arduino hanya akan mengaktifkannya dengan PWM hingga 50% (duty cycle) untuk mencapai daya 100 watt yang diperlukan.

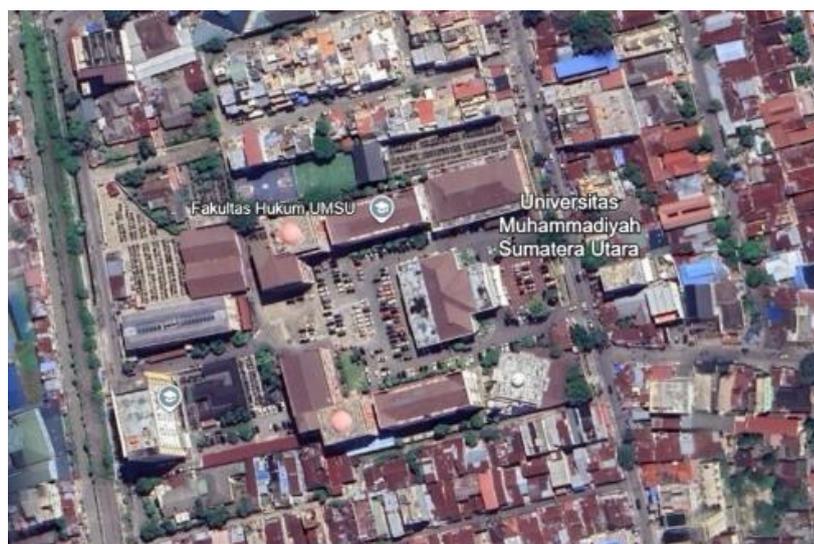
Pilihan terbaik adalah elemen pemanas (heating element) dari water heater atau kompor listrik kecil. Alasannya adalah beban resistif murni yang stabil dan dirancang untuk tujuan pemanasan. Kemudian kita bisa memilih elemen pemanas dengan daya yang sesuai (misalnya, 200 watt, 500 watt, atau lebih). Pilihan lainnya catokan rambut atau lampu pijar daya tinggi karena keduanya bersifat resistif murni dan mudah ditemukan. Catokan rambut adalah pilihan yang baik karena tidak memiliki motor yang bisa mengganggu sistem.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah lingkungan kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), yang beralamat di Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20238.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan dalam waktu selama 6 bulan terhitung dari tanggal 18 maret 2025, berikut adalah tabel rencana penjadwalan penelitian.

Tabel 3.1 Tabel Jadwal Penelitian

No.	Uraian	Bulan Ke					
		1	2	3	4	5	6
1	Kajian Literatur						
2	Penyusunan Proposal Penelitian						
3	Penulisan BAB I – BAB III						
4	Seminar Proposal Penelitian						
5	Perancangan dan Pembuatan Alat						
6	Seminar hasil Penelitian						
7	Sidang Akhir						

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan bahan dan peralatan sebagai penunjang pembuatan alat dan pengambilan data. Bahan dan peralatan yang di gunakan sebagai berikut:

3.2.1 Bahan Penelitian

Berikut adalah tabel bahan penelitian yang akan digunakan untuk membuat rangkaian sistem kontrol pengalihan beban listrik.

Tabel 3.2 Bahan Penelitian

No	Nama Alat dan Bahan	Jumlah	Satuan	Fungsi
1.	Arduino Uno ATmega 328P	1	Buah	Sebagai pengendali sistem kontrol
2.	Heater (Elemen Pemanas)	1	Buah	Sebagai beban komplemen
3.	Modul Relay 250V/10A	1	Buah	Sebagai sakelar pemutus arus listrik
4.	Kabel	1	Gulung	Sebagai penghubung rangkaian listrik
5.	Laptop	1	Buah	Sebagai media dalam memprogram sistem kontrol
6.	Arduino IDE	1	Aplikasi	Sebagai aplikasi yang berguna untuk memprogram sistem kontrol
7.	Current Transformer	1	Buah	Sebagai pengukur tegangan dan arus dari listrik yang digunakan

8.	MCB	1	Buah	Sebagai sistem proteksi pada rangkaian sistem kontrol
9.	Kabel Program Arduino	1	Buah	Sebagai kabel penghubung antara PLC dan laptop
10.	Box Panel	1	Buah	Sebagai tempat penyusunan rangkaian komponen sistem kontrol
11.	PZEM-004T	1	Buah	Sebagai pembaca arus, tegangan dan daya.

3.2.2 Alat Penelitian

Berikut adalah tabel peralatan penelitian yang akan digunakan dalam merancang serta melakukan pengujian sistem kontrol pengalihan beban listrik.

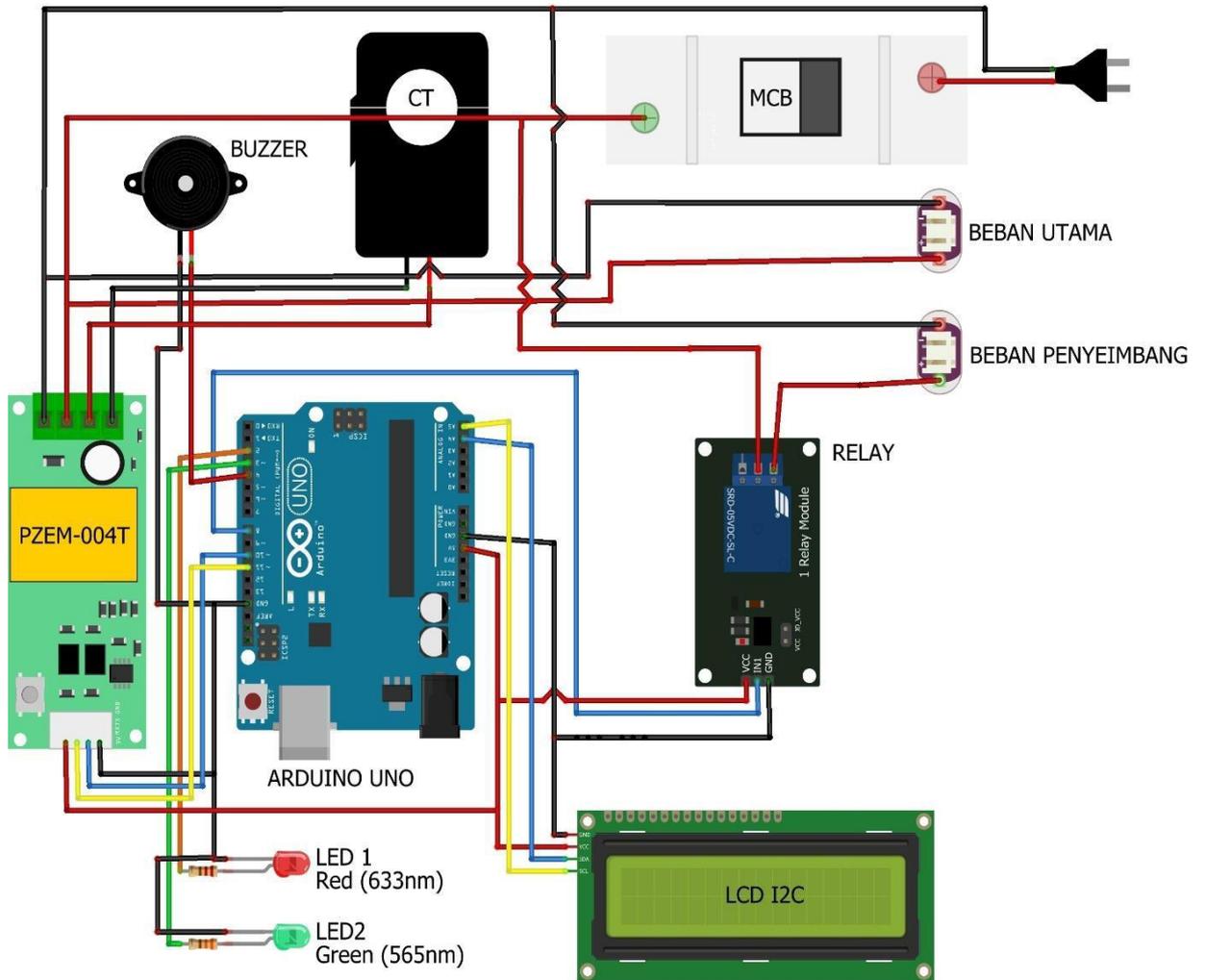
Tabel 3.3 Alat Penelitian

No	Nama Alat dan Bahan	Jumlah	Satuan	Fungsi
1.	Watt Meter	1	Buah	Sebagai pengukur daya listrik pada konduktor
2.	Obeng	1	Set	Sebagai pemasang dan melepas skrup
3.	Pisau Cutter	1	Buah	Sebagai pemotong sebuah benda

4.	Tang Potong	1	Buah	Sebagai pemotong kabel listrik
5.	Tespen	1	Buah	Sebagai indikator memeriksa arus listrik pada sebuah rangkaian
6.	Multimeter	1	Buah	Sebagai pengukur tegangan, arus, dan tahanan AC/DC pada rangkaian
7.	Solder	1	Buah	Sebagai alat untuk menyatukan rangkaian listrik pada papan PCB

3.3 Perancangan Sistem

3.3.1 Wiring Diagram Rangkaian Sistem Pengalihan Beban



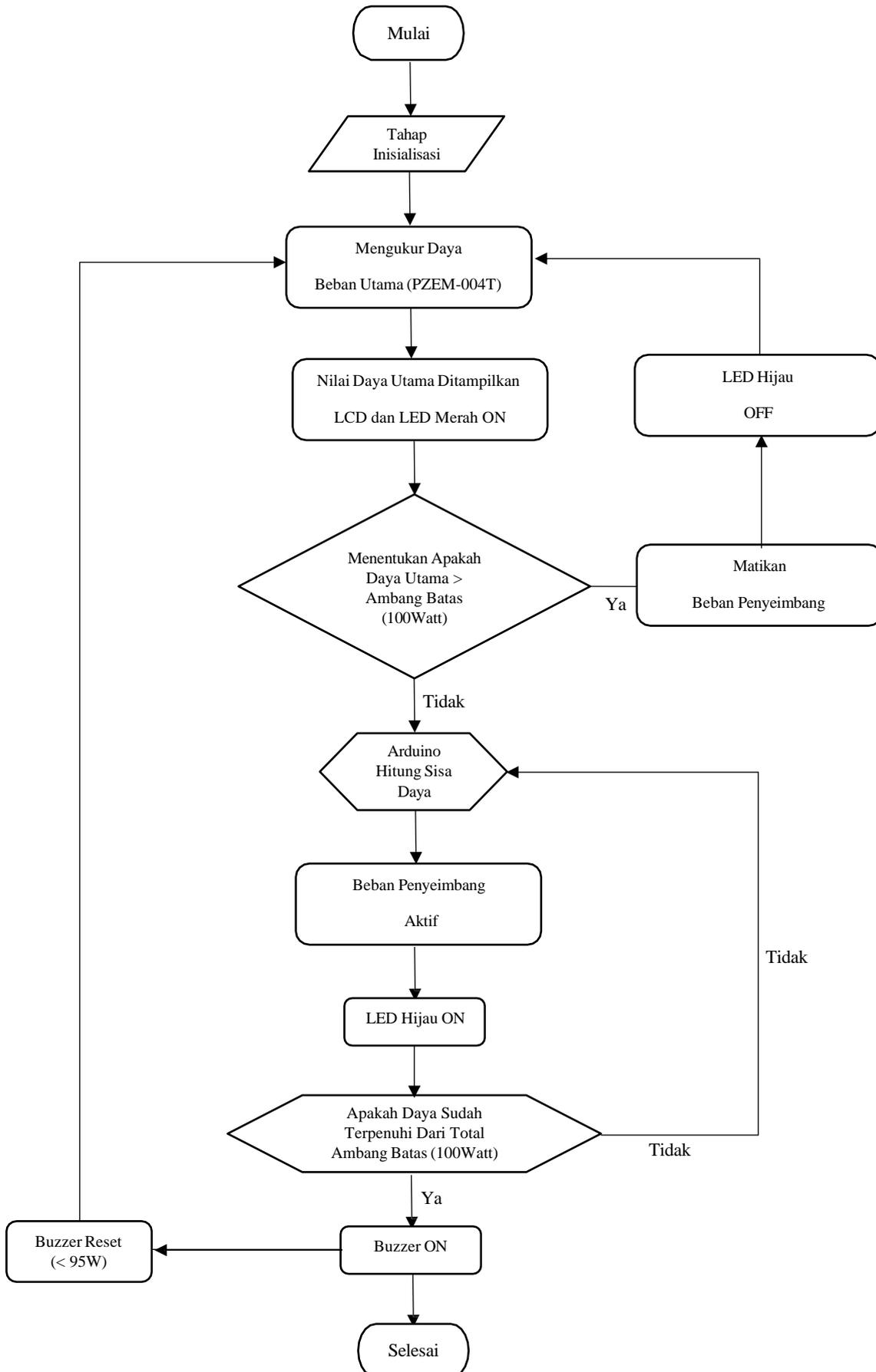
Gambar 3.2 Wiring Diagram Sistem Pengalihan Beban

Pada gambar 3.2 merupakan wiring diagram, gambaran dari sebuah sistem pengalihan beban menggunakan arduino uno dengan output berupa beban-beban resistif sebagai beban utama dan penyeimbang untuk melakukan percobaan. Sistem pembagi beban ini ini dirancang untuk menjaga stabilitas dan efisiensi energi listrik dengan mengatur distribusi beban listrik secara dinamis dan otomatis. Berikut adalah wiring diagram lengkap yang akan dijelaskan dengan membagi beberapa tahap agar lebih mudah dipahami.

- Sumber utama dan pengukuran (PZEM-004T, CT & MCB), bagian ini berfungsi untuk memonitor daya listrik yang terpakai oleh beban utama.
 - 1) Hubungkan kabel fasa dari sumber listrik 220VAC ke terminal MCB.
 - 2) Kabel fasa dari MCB akan melalui lubang CT (untuk pengukuran arus). Kemudian, sambungkan ujung kabel yang sama ini ke terminal L-in pada sensor PZEM-004T.
 - 3) Kabel netral dari sumber listrik 220VAC dihubungkan langsung ke terminal N-in pada sensor PZEM-004T.
 - 4) Dari terminal L-out dan N-out pada sensor PZEM-004T, sambungkan kabel fasa dan netral ke beban utama Anda (misalnya, teko pemanas air).
- Sirkuit Kontrol & Komunikasi (Arduino & LCD), Arduino ke PZEM-004T ini adalah komunikasi data serial antara arduino dan sensor.
 - 5) Arduino TX (Pin D11) terhubung ke RX pada PZEM-004T
 - 6) Arduino RX (Pin D10) terhubung ke TX pada PZEM-004T
 - 7) Arduino 5V terhubung ke VCC pada PZEM-004T
 - 8) Arduino GND terhubung ke GND pada PZEM-004T
- Arduino ke LCD I2C ini adalah komunikasi untuk menampilkan data.
 - 9) Arduino SDA (Pin A4) terhubung ke SDA pada LCD I2C
 - 10) Arduino SCL (Pin A5) terhubung ke SCL pada LCD I2C
 - 11) Arduino 5V terhubung ke VCC pada LCD I2C
 - 12) Arduino GND terhubung ke GND pada LCD I2C
- Sirkuit Kontrol Beban Penyeimbang (Relay), bagian ini adalah jembatan yang menerjemahkan perintah kontrol berbentuk (PWM) dari arduino untuk mengontrol relay. Arduino ke Terminal kontrol relay :
 - 13) Hubungkan pin D8 (PWM) pada Arduino ke terminal (IN)
 - 14) Hubungkan pin 5v arduino ke terminal vcc pada relay.
 - 15) Terminal GND pada relay dihubungkan ke GND pada Arduino.
- Sirkuit Beban Penyeimbang (Relay & Beban Penyeimbang), ini adalah sirkuit terakhir yang dikendalikan oleh Relay untuk mengaktifkan beban penyeimbang.

- 16) Kabel fasa yang baru dari sumber 220V AC (setelah MCB dan tidak melewati CT). Sambungkan kabel ini ke salah satu terminal output main pada relay (biasanya terminal tengah).
 - 17) Kabel dari terminal output relay (NO) disambungkan ke beban penyeimbang.
 - 18) Kabel netral dari sumber 220V AC sambungkan langsung kabel ini ke beban penyeimbang. (Kabel netral tidak melewati relay).
- LED Merah (Beban Utama Aktif):
 - 19) Kaki anoda (positif, kaki yang lebih panjang) LED merah dihubungkan ke salah satu kaki resistor.
 - 20) Kaki resistor yang lain dihubungkan ke pin digital (Pin D2) pada Arduino.
 - 21) Kaki katoda (negatif, kaki yang lebih pendek) LED merah dihubungkan ke pin GND pada Arduino.
 - LED Hijau (Beban Penyeimbang Aktif):
 - 22) Kaki anoda (positif, kaki yang lebih panjang) LED hijau dihubungkan ke salah satu kaki resistor.
 - 23) Kaki resistor yang lain dihubungkan ke pin digital (Pin D3) pada Arduino.
 - 24) Kaki katoda (negatif, kaki yang lebih pendek) LED hijau dihubungkan ke pin GND pada Arduino.
 - Arduino ke Buzzer:
 - 25) Pin D4 arduino terhubung ke kaki positif buzzer aktif.
 - 26) Kaki negatif buzzer aktif terhubung ke gnd arduino.

3.3.2 Flowchart Sistem Pengalihan Beban



Gambar 3.3 Flowchart Sistem Pengalihan Beban

Berikut adalah penjelasan rinci pada gambar 3.3 dalam setiap tahapan dalam flowchart pada gambar diatas yaitu :

- **Inisialisasi Sistem**
Program dimulai saat Arduino dinyalakan. Inisialisasi Perangkat Keras, arduino menyiapkan semua komponen: komunikasi dengan sensor PZEM-004T, LCD, dan pengaturan pin PWM dan LED sebagai output.
- **Pengukuran & Pengambilan Keputusan**
Arduino membaca daya yang sedang digunakan oleh beban utama dari sensor PZEM-004T. Nilai daya utama ditampilkan di layar LCD. Kemudian apakah daya utama $>$ ambang batas? ini adalah titik keputusan utama. arduino membandingkan daya yang terpakai dengan nilai ambang batas yang anda tetapkan (misalnya, 100 Watt).
- **Aksi Berdasarkan Keputusan**
Jika "Ya" ($\text{Daya Utama} > \text{Ambang Batas}$). Arduino mengatur sinyal PWM ke 0, yang sepenuhnya mematikan beban penyeimbang (seperti teko pemanas). LED merah menyala (indikator beban utama), LED hijau mati, dan buzzer dimatikan.
Jika "Tidak" ($\text{Daya Utama} \leq \text{Ambang Batas}$), arduino menghitung selisih antara ambang batas dan daya utama. Sinyal PWM dikirim ke relay, mengaktifkan beban penyeimbang sesuai dengan jumlah daya sisa. LED merah hidup dan LED hijau mati (indikator beban penyeimbang). Alarm Buzzer jika daya penyeimbang+daya utama mencapai 100% dari ambang batas, buzzer akan menyala. Logika timer akan memmatikannya secara otomatis setelah 3 detik dan buzzer reset ketika daya turun ke 95 watt.
- **Siklus Berulang**
Setelah setiap siklus selesai, program akan kembali ke langkah "Mengukur Daya Beban Utama" untuk terus memantau dan menyesuaikan daya secara real-time.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Muhammad Noor, Sunarto, and Y. Santosa, "Rancang Bangun Sistem Pengendali Beban Listrik Skala Rumah Tinggal Berbasis Mikrokontroler ATmega 328P," *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 13, no. 01, pp. 468–473, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4230>
- [2] Rimbawati, Cholish, E. Saputro, and P. Harahap, "Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih," *J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 62–70, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE/article/view/v3i2.6482>
- [3] S. Pablo *et al.*, "Sistem Cerdas Pemantauan Dan Kontrol Beban Listrik 1 Fasa Berbasis Teknologi IOT," *poters*, vol. 1, no. 2, pp. 96–103, 2025.
- [4] S. Rizki, H., & Suhanto, "Implementasi Internet Of Thing (IOT) Pada Prototype Kontrol Dan Monitoring Sistem Distribusi Listrik Unbalance Tiga Fasa," *prosiding*, pp. 1–8, 2021, [Online]. Available: <https://repo.poltekbangsby.ac.id/>
- [5] M. A. Murti, M. H. Barri, A. S. Nuran, S. Z. Sari, D. S. Putra, and S. A. Iqbal, "Smart Metering untuk Pengidentifikasi Jenis Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT Menggunakan PZEM-004T," *Semin. Nas. Tek. Elektro, Sist. Informasi, dan Tek. Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 175–182, 2021.
- [6] D. Despa and R. Widyawati, "Edukasi Aplikasi Teknologi Internet of Things Untuk Audit Dan Manajemen Energi Dalam Rangka Konservasi Dan Efisiensi Energi," *Sakai Sambayan ...*, pp. 1–4, 2021.
- [7] D. C. P. Sinaga, R. Fanry Siahaan, G. J. Tampubolon, and I. Ndruru, "Perancangan Sistem Lampu Otomatis Berbasis Sensor Ultrasonik Dan Arduino Sebagai Solusi Efisien Untuk Penghematan Energi," *J. SAINTIKOM (Jurnal Sains Manaj. Inform. dan Komputer)*, vol. 23, no. 2, pp. 394–401, 2024, doi: 10.53513/jis.v23i2.9961.
- [8] M. Isnen, "Perancangan Alat Manajemen Energi Listrik berbasis Fuzzy Logic," *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control ...)*, vol. 7, no. 1, pp. 7–10, 2022.
- [9] A. Kiswantono and M. Iqbal Saifullah, "Kendali Beban Pintar: Mengoptimalkan Efisiensi Energi Dengan IoT," *Inter Tech*, vol. 2, no. 1, pp. 10–17, 2024, doi: 10.54732/i.v2i1.1057.

- [10] Heri Andrianto, "Platform Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 23, no. 2, pp. 199–212, 2024, doi: 10.31358/techne.v23i2.422.
- [11] J. T. Mesin and P. N. Lhokseumawe, "Rancang Bangun Alat Pemantauan Dan Pengendalian Pemanfaatan Energi Listrik Di Kampus Politeknik Negeri Lhokseumawe A-101 A-102," vol. 7, no. 1, pp. 101–105, 2025.
- [12] N. Hariyanto and A. S. Prihatmanto, "Manajemen Energi Listrik Smarthome Menggunakan Non-Intrusive Appliance Load Monitoring (NILM)," *J. Softw. Eng. ...*, vol. 2, no. 1, pp. 48–54, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.upi.edu/index.php/SEICT/article/view/34572/0><https://ejournal.upi.edu/index.php/SEICT/article/download/34572/15418>
- [13] R. Putra and T. Supriyadi, "Rancang Bangun Alat Ukur Daya Listrik Berbasis Arduino Menggunakan Sensor ACS712 dan ZMPT101B," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, pp. 120–128, 2017, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/37350/>[http://repository.unissula.ac.id/37350/3/Teknik Elektro_30601700031_fullpdf.pdf](http://repository.unissula.ac.id/37350/3/Teknik_Elektro_30601700031_fullpdf.pdf)
- [14] P. Yohanes Lakapu, E. R. Mauboy, and H. Artikel, "Sistem Kontrol Dan Monitor Untuk Manajemen Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Kelistrikan Rumah Tangga R-1," *J. Media Elektro*, vol. X, no. 2, pp. 87–93, 2021.
- [15] F. Muliawati, S. Riyadi, S. C. Annisa, Y. Afrianto, and N. B. Ginting, "Implementasi Sistem Kontrol Manajemen Energi Hibrid Berbasis Mikrokontroler," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, p. 81, 2022, doi: 10.33387/protk.v9i2.4117.
- [16] W. Ramadhoni *et al.*, "Analisa Kapasitas Penggunaan Generator Turbin 800 Kw Terhadap," vol. 13, no. 2, pp. 41–47, 2024.
- [17] L. Aditya, H. Prayitno, and N. Naibaho, "Disain Monitoring Dan Pengendali Beban Pada Panel Listrik Berbasis Iot Menggunakan Web Server," *J. Kaji. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 52–58, 2025, doi: 10.52447/jkte.v10i1.8089.
- [18] Harahap Muchsin dkk., "Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator," *Univ. Prima Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 71–76, 2021.
- [19] F. Toba, V. A. Suoth, H. S. Kolibu, H. I. R. Mosey, As'ari, and D. P. Pandara, "Analisis Perbandingan Daya Listrik Saat Sebelum Dan Sesudah Variasi Kapasitor Pada Beban Listrik Rumah Tangga," *J. MIPA*, vol. 13, no. 1, pp. 11–17, 2023, doi: 10.35799/jm.v13i1.48968.

- [20] N. Setiaji, Sumpena, and A. Sugiharto, "Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik," *J. Teknologi Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [21] R. N. Lubis and A. A. Hutasuhut, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Kapasitas 12 MW Dengan Metode Trial And Error Di PT. Permata Hijau Palm Oleo Belawan," *TUGAS AKHIR*, 2022.
- [22] A. O. Putri, T. Tohir, and F. A. S. Putra, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Rumah 900VA Berbasis Arduino Uno dan Node MCU ESP32 Melalui Aplikasi Blynk," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 15, no. 1, pp. 466–472, 2024, doi: 10.35313/irwns.v15i1.6247.
- [23] S. Garudewaran, S. Cho, I. Ohu, and A. K. Panahi, "Teach and Playback Training Device for Minimally Invasive Surgery," *Minim. Invasive Surg.*, vol. 2018, no. April, 2018, doi: 10.1155/2018/4815761.
- [24] P. Harahap, F. I. Pasaribu, and M. Adam, "Prototype Measuring Device for Electric Load in Households Using the PZEM-004T Sensor," *Budapest Int. Res. Exact Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 347–361, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.33258/birex.v2i3.1074>
- [25] M. Zaini, S. Safrudin, and M. Bachrudin, "Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus Dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis Iot," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, p. 139, 2020, doi: 10.24912/tesla.v0i0.9081.
- [26] H. Rianyska and M. I. A. Marzuki, "Penerapan Teknologi IoT Dalam Monitoring Dan Pengendalian Daya Listrik," pp. 1–92, 2022, [Online]. Available: <https://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/3008>
- [27] Andreansyah, "Prototype Smart Home Sistem Monitoring Arus Listrik Menggunakan Sensor Pzem-004T Berbasis Iot," pp. 1–82, 2024.
- [28] E. Endang and Rahmat Hidayat, "Rancangan Bangun Sistem Otomatis Pengalih Sumber Daya Cadangan Dc Berbasis Baterai Pack Lithium Ion," *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: 10.30604/jti.v6i1.150.
- [29] S. Sunarto, Y. P. Hikmat, and T. Tohir, "Rancang bangun dummy load media larutan NaCl untuk pengujian miniature circuit breaker dan thermal overload relay," *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 4, no. 1, pp. 11–18, 2024, doi: 10.35313/jitel.v4.i1.2024.11-18.
- [30] E. Kurniawan, D. S. Pangaudi, and E. N. Widjatmoko, "Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis Android," *Cyclotron*, vol. 5, no. 1, pp. 63–68, 2022.

LAMPIRAN

Codingan Program Sistem Pengalihan Beban :

```
// Pustaka (Library) yang Dibutuhkan
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <PZEM004Tv30.h>

//=====
// DEFINISI PIN DAN VARIABEL
//=====

// PZEM-004T (menggunakan SoftwareSerial pada pin D10 & D11)
#define PZEM_RX_PIN 10
#define PZEM_TX_PIN 11
SoftwareSerial pzemSerial(PZEM_RX_PIN, PZEM_TX_PIN);

// Buat instance PZEM dengan SoftwareSerial
PZEM004Tv30 pzem(pzemSerial);

// Kontrol Relay
const int relayPin = 8;

// LED Indikator
const int ledMerah = 2; // LED Merah: daya utama
const int ledHijau = 3; // LED Hijau: daya cadangan (relay)

// Buzzer Alarm
const int buzzerPin = 4; // buzzer pasif (pakai tone)

// LCD I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// variabel kontrol buzzer
unsigned long buzzerStart = 0;
bool buzzerActive = false;
bool buzzerSudahBunyi = false;

// Ambang Batas Daya (dalam Watt)
const float AMBANG_BATAS = 100.0;

// Variabel untuk menyimpan data dan status
float dayaUtama = 0.0;
float sisaDaya = 0.0;

// Relay state dengan debounce
bool relayState = false;
```

```

unsigned long lastChange = 0;
const unsigned long debounceDelay = 30000; // 30 detik

// Variabel tampilan LCD bergantian
bool showSisa = true;
unsigned long lastToggleLCD = 0;

//=====
// FUNGSI SETUP()
//=====

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pzemSerial.begin(9600);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Sistem Aktif ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Inisialisasi...");

  // === Indikasi suara saat sistem hidup ===
  tone(buzzerPin, 1200);
  delay(500); // bunyi 0.5 detik
  noTone(buzzerPin);

  delay(2000);

  pinMode(relayPin, OUTPUT);
  pinMode(ledMerah, OUTPUT);
  pinMode(ledHijau, OUTPUT);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);

  digitalWrite(ledMerah, LOW);
  digitalWrite(ledHijau, LOW);
  digitalWrite(relayPin, LOW); // Relay OFF awal
  noTone(buzzerPin);

  lcd.clear();
}

```

```

//=====
// FUNGSI LOOP()
//=====

void loop() {
  unsigned long now = millis();

  // --- 1. Baca data daya dari sensor PZEM ---
  float power = pzem.power();
  if (isnan(power)) {
    Serial.println("Gagal membaca data dari PZEM!");
    dayaUtama = 0.0;
  } else {
    dayaUtama = power;
  }

  // --- 2. Logika Relay dengan debounce ---
  bool desiredRelayState = (dayaUtama < AMBANG_BATAS); // ON jika
kurang dari ambang

  if (desiredRelayState != relayState && (now - lastChange) >
debounceDelay) {
    relayState = desiredRelayState;
    digitalWrite(relayPin, relayState ? LOW : HIGH);
    lastChange = now;
  }
  // --- Tambahan kontrol khusus ---
  if (dayaUtama == 0) {
    relayState = false; // relay OFF
    digitalWrite(relayPin, HIGH); // sesuaikan logika aktif
relay Anda
  } else if (dayaUtama > 0 && dayaUtama <= AMBANG_BATAS) {
    relayState = true; // relay ON
    digitalWrite(relayPin, LOW); // sesuaikan logika aktif
relay Anda
  }

  // Hitung sisa daya (sekadar info)
  if (relayState) {
    sisaDaya = AMBANG_BATAS - dayaUtama;
    if (sisaDaya < 0) sisaDaya = 0;
  } else {
    sisaDaya = 0;
  }

  // LED indikator
  digitalWrite(ledMerah, (dayaUtama > 0) ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(ledHijau, relayState ? HIGH : LOW);
}

```

```

// --- 3. Kontrol Buzzer ---
if (dayaUtama < (AMBANG_BATAS - 5)) { buzzerSudahBunyi = false;
}

if (dayaUtama > AMBANG_BATAS && !buzzerSudahBunyi) { tone(buzzerPin, 1200);
  buzzerStart = now; buzzerActive = true;
  buzzerSudahBunyi = true;
  Serial.println(">>> Buzzer ON <<<");
}

if (buzzerActive && now - buzzerStart >= 2000) { noTone(buzzerPin);
  buzzerActive = false; Serial.println(">>> Buzzer OFF <<<");
}

// --- 4. Tampilkan Data di LCD --- lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("DayaUtama:"); lcd.print(dayaUtama, 0);
lcd.print("W    "); // spasi untuk clear

// Baris kedua hanya update tiap 3 detik if (now -
lastToggleLCD > 3000) {
  showSisa = !showSisa; lastToggleLCD = now;

  lcd.setCursor(0, 1); if (showSisa) {
    lcd.print("SisaDaya:"); lcd.print(sisaDaya,
    0); lcd.print("W    ");
  } else { lcd.print("Relay:");
    lcd.print(relayState ? "ON " : "OFF"); lcd.print("
");
  }
}

// Debug ke Serial
Serial.print("Utama: "); Serial.print(dayaUtama); Serial.print(" W | Relay: ");
Serial.println(relayState ? "ON" :
"OFF");
Serial.print("SisaDaya:"); Serial.println(sisaDaya, 0);
}

```

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PENULIS

Nama Lengkap : Teuku Zulfahmi
Nomor Pokok Mahasiswa : 2107220037
Tempat Tanggal Lahir : Medan, 23 Juli 2003
Alamat : Jl. Cut Nyak Dhien, Gg. Ikan Senangin, No.01,
Kec. Binjai Timur, Kota Binjai, Sumatera Utara,
20731.
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Laki-Laki
No. Telp : 0895391114440
Email : teukuzulfahmi23@gmail.com

ORANG TUA

Nama Ayah : Teuku Surya Mitra Sahputra
Agama : Islam
Nama Ibu : Popy Marleni
Agama : Islam
Alamat : Jl. Cut Nyak Dhien, Gg. Ikan Senangin, No.01,
Kec. Binjai Timur, Kota Binjai, Sumatera Utara,
20731.

RIWAYAT PENDIDIKAN

2009-2015 : SD Negeri 020259 Kota Binjai.
2015-2018 : SMP Negeri 3 Kota Binjai.
2018-2021 : SMK Telkom 01 Shandy Putra Medan.
2021-2025 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara (UMSU).



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Ppj/PT/III/2024

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 643/IL.3AU/UMSU-07/F/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 17 Maret 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama : TEUKU ZULFAHMI
Npm : 2107220037
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Semester : 8 (Delapan)
Judul Tugas Akhir : RANCANG BANGUN PEMBAGI BEBAN MENGGUNAKAN PROGRAM ABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) DENGAN OUTPUT HEATER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) BINTANG ASIH .

Pembimbing : Ir ABDUL AZIZ HUTASUHUT MM .

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

3. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
4. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 19 Ramadhan 1446 H
19 Maret 2025 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202





LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : TEUKU ZULFAHMI
NPM : 2107220037
JUDUL : RANCANG BANGUN SISTEM PEMBAGI BEBAN MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) DENGAN OUTPUT HEATER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) BINTANG ASIH

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
	25/3 - '25	Ass. Awal & Bab I	
	15/4 - '25	Ass. Bab I & Bab II	
	05/5 - '25	Ass. Bab II & Bab III	
	29/5 - '25	Ass. Bab I s.d. III & Ace Supra	

Dosen Pembimbing

Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM.



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

SAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAIAN-PTIAK-Pg/PT/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
@ <https://fatek.umsu.ac.id> ✉ fatek@umsu.ac.id [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

Nomor : 1633/II.3-AU/UMSU-07/F/2025
Lamp : -
Hal : Undangan Seminar Tugas Akhir
Program Studi Teknik Elektro

Medan, 15 Rabiul Awal 1447 H
08 September 2025 M

Kepada : Yth.Sdr.
1. Dr Elvy Sahnur Nasution ST.M.Pd
2 Faisal Irsan Pasaribu ST.MT
3 Ir Abdul Aziz Hutasuhut MM

(Dosen Pembanding I)
(Dosen Pembanding II)
(Dosen Pembimbing)

Bismillahirrahmanirrahim.
Assalamu'alaikum Wr.Wb

Dengan hormat, sesuai dengan Rekomendasi Ka. Prodi Teknik pada hari Selasa Tanggal 09 September 2025 tentang Dosen Pembimbing Tugas Akhir maka melalui surat ini kami mengundang Saudara untuk menghadiri Seminar Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas nama mahasiswa yang tersebut di bawah ini:

Nama : Teuku Zulfahmi
NPM : 2107220037
Jurusan : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Prototipe Sistem Kontrol Pembagian Beban Menggunakan Sensor Pzem-004 T Berbasis Arduino Uno .

Insyallah akan dilaksanakan pada :
Hari / tanggal : Selasa/ 09 September 2025
Waktu : 09.30 Wib S/D Selesai
Tempat : Fakultas Teknik UMSU
Jalan Mukhtar Basri No. 03 Medan.

Demikian undangan ini kami sampaikan atas perhatian saudara kami ucapkan terima kasih. Akhirnya selamat dan sejahteralah kita semua Amin.



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202





LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : TEUKU ZULFAHMI
NPM : 2107220037
JUDUL : PROTOTIPE SISTEM KONTROL PEMBAGIAN BEBAN
MENGUNAKAN SENSOR PZEM-004T BERBASIS ARDUINO UNO

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.		Evaluasi hasil Semkors	
2.		Ass. Bab I $\frac{1}{2}$ & $\frac{1}{4}$ & Ass. hasil	
3.	09/9-'25	Ass. utuh sibang	

Dosen Pembimbing

Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM.