

**PROTOTIPE SISTEM MONITORING DAN KENDALI PRIORITAS
PADA PERANGKAT LISTRIK UNTUK MENCEGAH
RUGI- RUGI DAYA PADA PLTS MENGGUNAKAN
SENSOR PZEM-004T DAN ESP8266**

(Skripsi)

Oleh

**MELI OVIANA
2217041008**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PROTOTYPE SISTEM MONITORING DAN KENDALI PRIORITAS PADA PERANGKAT LISTRIK UNTUK MENCEGAH RUGI- RUGI DAYA PADA PLTS MENGGUNAKAN SENSOR PZEM-004T DAN ESP8266

Oleh

MELI OVIANA

Untuk mencegah rugi-rugi daya pada perangkat listrik yang akan diterapkan pada PLTS, penelitian ini merancang sistem monitoring daya listrik dan kendali prioritas menggunakan sensor PZEM-004T dan ESP8266. Sistem terdiri dari modul sensor PZEM-004T, NodeMCU ESP8266, dan TFT ILI9341 yang terhubung melalui protokol ESP-NOW. Metode penelitian termasuk merancang perangkat, menguji sensor, dan menganalisis data untuk menentukan perangkat listrik yang paling penting sebagai bentuk kendali prioritas dalam mengatur daya listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki *error* 0,19%, Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat memantau parameter listrik dengan akurasi yang cukup baik dan memiliki komunikasi data yang stabil pada jarak 5-15 meter. Penggunaan kendali prioritas telah terbukti dapat secara otomatis mengelola distribusi beban ketika terjadi kelebihan daya, sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien dan membantu mengurangi potensi rugi-rugi daya. Faktor daya pada perangkat listrik tidak selalu memengaruhi hasil pengukuran hanya terhadap beberapa perangkat listrik. Kesimpulan dari penelitian ini menyatakan bahwa penggunaan kendali prioritas untuk mengurangi rugi-rugi daya yang akan diterapkan PLTS dapat menjadi solusi sederhana dan efisien dalam manajemen energi listrik berbasis PLTS.

Kata Kunci: Kendali Prioritas, PZEM-004T, ESP8266, Rugi-Rugi Daya

ABSTRACT

PROTOTYPE OF A MONITORING SYSTEM AND CONTROL PRIORITY FOR ELECTRICAL DEVICES TO PREVENT POWER LOSSES IN SOLAR POWER PLANTS USING THE PZEM-004T SENSOR AND ESP8266

By

MELI OVIANA

To prevent power losses in electrical devices that will be applied to PLTS, this study designed an electric power monitoring system and priority control using PZEM-004T and ESP8266 sensors. The system consists of a PZEM-004T sensor module, NodeMCU ESP8266, and TFT ILI9341 connected via the ESP-NOW protocol. The research method includes designing the device, testing the sensor, and analyzing the data to determine the most important electrical devices as a form of priority control in measuring electrical power. The test results show that the PZEM-004T sensor has an error of 0.19%. The results of the study show that this system can convey electrical parameters with fairly good accuracy and has stable data communication at a distance of 5-15 meters. The use of priority control has been proven to automatically manage load distribution when there is excess power, so that energy use becomes more efficient and helps reduce potential power losses. The power factor in electrical devices does not always affect the measurement results only for some electrical devices. The conclusion of this study states that the use of priority control to reduce power losses for solar power plants (PLTS) can be a simple and efficient solution for solar power plant-based electrical energy management.

Keywords: Priority Control, PZEM-004T, ESP8266, Power Losses.

**PROTOTIPE SISTEM MONITORING DAN KENDALI PRIORITAS
PADA PERANGKAT LISTRIK UNTUK MENCEGAH
RUGI- RUGI DAYA PADA PLTS MENGGUNAKAN
SENSOR PZEM-004T DAN ESP8266**

Oleh

Meli Oviana

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : **Prototipe Sistem Monitoring dan Kendali Prioritas pada Perangkat Listrik untuk Mencegah Rugi-Rugi Daya pada PLTS Menggunakan Sensor PZEM-004T dan ESP8266**

Nama Mahasiswa : **Mefi Oviana**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2217041008**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T
NIP. 19801010200501102

Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
NIP. 196107231986031003

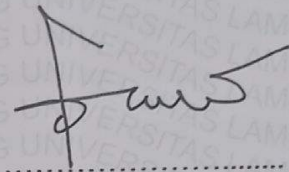
2. Ketua Jurusan Fisika

Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.
NIP. 199011252019032018

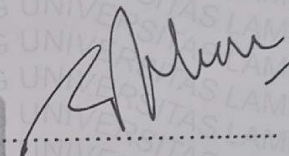
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.

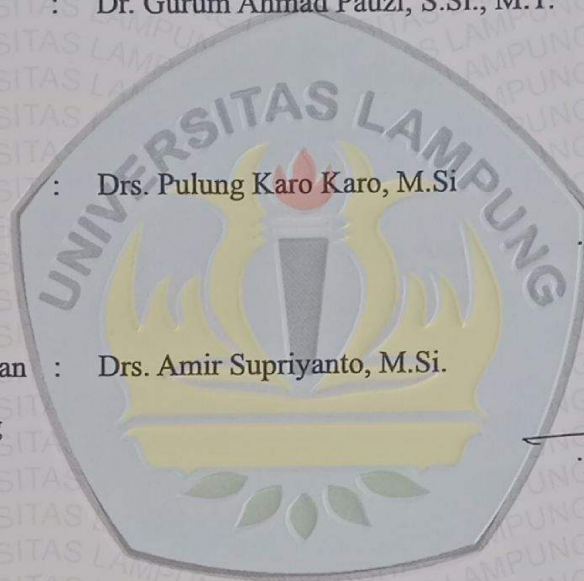
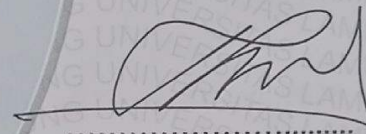


Sekretaris : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si



Penguji Bukan : Drs. Amir Supriyanto, M.Si.

Pembimbing



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197410012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 09 Juni 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis mengacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi dan bertanggung jawab sebatas dengan pemaparan dari skripsi ini.

Bandar Lampung, 09 Juni 2026

Yang Menyatakan



Meli Oviana

NPM. 2217041008

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Meli Oviana, lahir di Putra Rumbia, Kabupaten Lampung Tengah pada tanggal 22 Juni 2004. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Masrukin dan Ibu Martiyah. Penulis menyelesaikan Pendidikan di SDN 1 Binakarya Utama pada tahun 2016, SMPN 1 Putra Rumbia pada tahun 2019, dan SMAN 1 Rumbia pada tahun 2022.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Lampung melalui SNMPTN tahun 2022. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis tergabung di Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai anggota Sosial dan Masyarakat pada periode 2022-2023, penulis juga menjadi bagian dari anggota KMNU Universitas Lampung pada periode 2023-2024 dan menjadi Sekretaris Bidang Seni Otonom Islam periode 2024-2025.

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. *South East Asia Pipe Industries* pada tahun 2025 dan menyelesaikan laporan PKL dengan judul “Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik pada Ultrasonik Testing On-Line Sebagai Uji NDT Untuk Mendeteksi Cacat Sambungan Las Pipa Baja Standar Api di PT. *South East Asia Pipe Industries*”. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I tahun 2026 di Kelurahan Sukajawa, Kecamatan Tanjung Karang Barat, Bandar Lampung. Selain itu penulis pernah meraih Juara 1 MTQM dan Solo Song tingkat Fakultas tahun 2023 dan 2025. Meraih Juara harapan III MTQ di Universitas Aisyah Pringsewu, Finalis lomba MSQ Nusantara KMNU di UII dan Finalis Lomba MTQMN XVII di Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan

MOTTO

وَأَنْ لَّيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَىٰ

“Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya.”(Q.S AN NAJM 53:59)

الَّذِي خَلَقَ فَسَوَّىٰ ﴿٢﴾ وَالَّذِي قَدَّرَ فَهَدَىٰ

“(Allah) yang menciptakan lalu menyempurnakan, dan yang menentukan kadar (takdir), lalu memberi petunjuk.”
(Q.S Al-A’La 87 : 2-3)

"Setiap hal butuh proses, setiap proses butuh ketabahan dan ketenangan."

Takdir bukan sekadar sesuatu yang ditunggu, melainkan sesuatu yang diperjuangkan dengan usaha terbaik, disertai doa yang tulus, dan diterima dengan hati yang ikhlas

-Meli Oviana -

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, skripsi ini ku persembahkan kepada

Bapak Masrukin dan Ibu Martiyah

Kedua orang tuaku, terimakasih atas segala kasih dan sayang serta dukungan baik materi atau non materi yang telah diberikan kepadaku.

Kakak dan Adikku Ahmad Muzakki dan Putri Anggita

Terimakasih atas segala do'a dan semangat yang kalian berikan kepadaku.

Bapak/Ibu dosen dan Civitas akademika

Terimakasih atas motivasi, dukungan, ilmu dan bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

*Para Sahabat dan teman-teman seperjuangan
Fisika FMIPA Unila 2022*

Terimakasih atas kebaikan, kebersamaan dan kenangan yang telah dilalui.

Serta almamater tercinta

“Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Prototipe Sistem Monitoring dan Kendali Prioritas pada Perangkat Listrik untuk Mencegah Rugi-Rugi Daya Pada PLTS Menggunakan Sensor PZEM-004T dan ESP8266”** dengan baik. Skripsi dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah sistem yang dapat memantau konsumsi daya listrik dan menentukan prioritas untuk mencegah rugi-rugi daya pada PLTS menggunakan Sensor PZEM-004T dan ESP8266.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dalam penulisan maupun referensi data. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran yang membangun untuk membantu mereka memperbaiki kekurangan yang ada untuk penelitian selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat menjadi penambah referensi dan rujukan terhadap pengembangan riset terkait pencegahan rugi-rugi daya yang akan diterapkan pada PLTS .

Bandar Lampung, 09 Juni 2026

Penulis

Meli Oviana

SANWACANA

Alhamdulillahirobbilalamin. Segala puji kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **“Prototipe Sistem Monitoring dan Kendali Prioritas pada Perangkat Listrik untuk Mencegah Rugi-Rugi Daya Pada PLTS Menggunakan Sensor PZEM-004T dan ESP8266”**. Penulis menyadari penulisan skripsi ini dapat tersusun dan terselesaikan dengan adanya bantuan, motivasi dan do’a dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan semangat selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
2. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan semangat dan dukungan penuh selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
3. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan arahan, kritik dan saran yang membangun selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
4. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si., selaku ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

6. Bapak dan Ibu Dosen serta staff Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan.
7. Kedua orang tua saya Bapak Masrukin dan Ibu Martiyah yang telah memberikan kasih sayang yang melimpah, dukungan, dan semangat yang tulus bagi penulis dari kecil hingga saat ini.
8. Saudara penulis, Ahmad Muzakki dan Putri Anggita yang telah memberikan doa dan semangat selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
9. Tim Riset Energi, Atu Hanin Zakiya Shafa dan Ilham Priadi, terimakasih atas kerja sama, bantuan dan diskusi yang sangat membantu dalam penyelesaian penelitian ini.
10. Teman-teman dekat penulis, yaitu Nopitasari, Dwi Aprilia Rahmawati, Ningsih, Eka Nopiyana, Nazwa Harjianti Sukmana, Deliana Sianipar, Valecia Diva Artika , Aprilia Habibah, Khoirotul Zahra, Tuti Herdian Lestari yang selalu memberikan dukungan penuh dan menghibur penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh teman-teman Jurusan Fisika Angkatan 2022 yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih selalu memberikan semangat dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Teruntuk diriku sendiri, yang telah berjuang dengan penuh keyakinan dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Terakhir kepada pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu telah banyak membatu saya dalam pembuatan alat dalam penelitian skripsi ini senantiasa penulis ucapkan banyak terimakasih.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini mampu dijadikan sebagai referensi yang bermanfaat. Semoga Allah SWT. selalu memberikan rezeki serta karunia-Nya. *Aamiin*

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.2 Tujuan.....	4
1.3 Manfaat.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Foton dan Efek Fotovoltaik.....	9
2.2.2 PLTS	11
2.2.3 Monitoring	12
2.2.4 Daya Listrik.....	12
2.2.5 <i>Smart System</i>	15
2.2.6 <i>Internet of Things (IoT)</i>	16
2.2.7 <i>NodeMCU ESP8266</i>	17
2.2.8 <i>Solid State Relay (SSR)</i>	18

2.2.9	Sensor PZEM004T	19
2.2.10	ESP-NOW	20
2.2.11	TFT ILI9341	21
III.	METODE PENELITIAN.....	23
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	24
3.2.1	Alat Penelitian.....	24
3.2.2	Bahan Penelitian.....	24
3.3	Prosedur Penelitian.....	25
3.4	Tahap Perancangan Sistem.....	27
3.4.1	Rangkaian <i>Receiver</i>	27
3.4.2	Rangkaian <i>Sender</i>	28
3.5	Tahap Pengujian	31
3.5.1	Pengujian Sensor PZEM-004T	31
3.5.2	Pengujian Delay Protokol ESP- <i>NOW</i> pada Jarak 5-35 m.....	33
3.5.3	Pengujian PF terhadap Hasil Pengukuran Sensor PZEM-004T.....	33
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Sistem <i>Receiver</i> dan <i>Sender</i>	35
4.1.1	Realisasi Sistem <i>Receiver</i> dan <i>Sender</i>	35
4.2	Program	37
4.2.1	Instalasi	38
4.2.2	Deklarasi Variabel.....	39
4.2.3	<i>Subroutin</i>	42
4.2.4	<i>Main Program</i>	43
4.3	Pengujian	44
4.3.1	Pengujian Sensor PZEM-004T	44

4.3.2	Pengujian Delay Protokol ESP-NOW pada Jarak 5-35 m	50
4.3.3	Pengujian PF terhadap Hasil Pengukuran Sensor PZEM-004T.....	53
V.	SIMPULAN DAN SARAN	56
5.1	Simpulan	56
5.2	Saran.....	57
	DAFTAR PUSTAKA	58
	LAMPIRAN.....	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan	23
Tabel 3. 2 Alat Penelitian.....	24
Tabel 3. 3 Bahan Penelitian	24
Tabel 3. 4 Pengujian Sensor PZEM-004T	32
Tabel 3. 5 Pengujian Delay Protokol Komunikasi ESP-NOW	33
Tabel 3. 6 Pengujian Pengaruh Faktor Daya.....	34
Tabel 4. 1 Perbandingan Error Hasil Pengujian dengan Standar Akurasi Sensor PZEM-004T.....	49
Tabel 4. 2 Pengujian Protokol Komunikasi ESP-NOW pada Jarak 5-35 m	52
Tabel 4. 3 Pengujian PF terhadap Hasil Pengukuran Sensor PZEM-004T.....	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Segitiga Daya	14
Gambar 2. 2 <i>NodeMCU</i> ESP8266 (https://tiendadeelectronica.mx/tienda).....	17
Gambar 2. 3 <i>Solid State Relay (SSR)</i> (https://www.edukasielektronika.com).....	19
Gambar 2. 4 Sensor PZEM-004T.....	20
Gambar 2. 5 Komunikasi ESP-NOW (https://randomnerdtutorials.com)	21
Gambar 2. 6 TFT ILI9341 https://www.sinauprogramming.com	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir	26
Gambar 3. 2 Skema Rangkaian <i>Receiver</i>	27
Gambar 3. 3 Desain <i>Receiver</i>	28
Gambar 3. 4 Skema Rangkaian <i>Sender</i>	29
Gambar 3. 5 Desain <i>Sender</i> (1), <i>Case Sender</i> (2)	30
Gambar 3. 6 Proses Pengujian Prototipe.....	31
Gambar 4. 1 Struktur dalam Alat	36
Gambar 4. 2 Realisasi Prototipe.....	36
Gambar 4. 3 Instalasi Program <i>Receiver</i>	38
Gambar 4. 4 Instalasi Program <i>Sender</i>	38
Gambar 4. 5 Deklarasi Variabel pada Program <i>Receiver</i>	39
Gambar 4. 6 Deklarasi Variabel pada Program <i>Sender</i>	41
Gambar 4. 7 <i>Subroutin</i> pada <i>Receiver</i>	42
Gambar 4. 8 <i>Subroutin</i> pada <i>Sender</i>	42
Gambar 4. 9 <i>Statemenet If</i> pada <i>Receiver</i>	43
Gambar 4. 10 Main Program pada <i>Receiver</i>	43
Gambar 4. 11 <i>Main Program</i> pada <i>Sender</i>	44
Gambar 4. 12 Grafik Pengujian Tegangan Perangkat Listrik pada	45

Gambar 4. 13 Grafik Pengujian Arus Perangkat Listrik pada Sensor PZEM-004T.....	47
Gambar 4. 14 Grafik Pengujian Daya Perangkat Listrik pada Sensor PZEM-004T.....	48
Gambar 4. 15 Visualisasi Monitor Setelah Pengiriman Data dengan ESP-NOW	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi listrik menjadi salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh masyarakat saat ini. Pertumbuhan populasi secara pesat, urbanisasi yang telah berlangsung dan berkembangnya industri menyebabkan permintaan energi semakin meningkat (Rangkuti *et al.*, 2024). Meningkatnya permintaan energi mendorong upaya pengembangan energi di beberapa negara, terutama Indonesia yang terletak di daerah strategis (ESDM, 2025).

Indonesia terletak di daerah garis khatulistiwa, tepatnya berada di antara 6°LU-11°LS dan 95°BT-141°BT. Posisi ini menyebabkan sebagian wilayah di Indonesia mendapat sinar matahari selama 10-12 jam dalam sehari, dengan total intensitas cahaya rata-rata sekitar 4,5 kWh/m² perhari dan matahari bersinar selama 2000 jam pertahun (Niwanda *et al.*, 2025). Keunggulan geografis ini memberikan potensi yang signifikan untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan, khususnya energi matahari, yang dapat dimanfaatkan secara luas sebagai sumber tenaga listrik (Hartoyo *et al.*, 2024)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu konversi energi listrik dengan memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energinya. Sumber energi matahari tersebut merupakan energi baru dan terbarukan serta ramah lingkungan. Pemanfaatan cahaya matahari sebagai energi baru dan terbarukan dapat menjadi salah satu solusi alternatif pengganti sumber energi tak terbarukan, yaitu Energi tak terbarukan, salah satunya energi fosil (Ali dan Windarta, 2020). Penggunaan energi fosil sebagai sumber energi menimbulkan banyak permasalahan

salah satunya kerusakan lingkungan. Peralihan energi menggunakan energi alternatif seperti cahaya matahari sebagai pembangkit listrik diharapkan dapat mencegah pemanasan global dan dapat mencegah emisi karbondioksida yang berpengaruh terhadap lingkungan sekitar (Yuwono *et al.*, 2021).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan panel surya untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik dari surya dapat digunakan panel untuk menghidupkan berbagai alat elektronik rumah tangga. Namun daya yang dihasilkan oleh panel surya tidak stabil. Ketidakstabilan daya yang dihasilkan oleh panel surya disebabkan oleh cuaca dan kondisi lingkungan, seperti cuaca berawan, hujan dan suhu ekstrem yang mengakibatkan berkurangnya intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel (Dahliya *et al.*, 2021). Ketidakstabilan daya dapat mengakibatkan produksi energi menurun sehingga terjadi penurunan daya yang dihasilkan oleh PLTS. Penurunan daya yang terjadi dapat mengurangi konsumsi daya untuk perangkat atau alat elektronik rumah tangga. Kondisi cuaca yang tidak stabil juga dapat menyebabkan rugi-rugi daya atau *power loss* dalam sistem PLTS.

Rugi – rugi daya atau *power loss* dalam sistem PLTS mempengaruhi efisiensi serta sistem kerja secara keseluruhan. Rugi – rugi daya atau *power loss* dapat terjadi selama proses konversi, distribusi, dan penggunaan energi yang dihasilkan sel surya. Studi lapangan menunjukkan bahwa efisiensi operasional dari PLTS konvensional dapat mengalami penurunan hingga 15-20% dibandingkan dengan potensi kinerjanya saat optimal (Taneza dan Firdaus, 2025). Rugi-rugi daya atau *power loss* terjadi ketika perangkat atau alat elektronik dihidupkan secara bersamaan tanpa adanya pertimbangan kapasitas daya yang tersedia pada PLTS, sehingga menyebabkan hilangnya daya dan kelebihan beban. Hilangnya daya dapat menyebabkan biaya operasional yang lebih tinggi dan memerlukan energi lain untuk kebutuhan listrik. Saat daya yang diperoleh tidak maksimal, maka pengoperasian dari perangkat atau alat elektronik tidak efisien dan dapat mengganggu kegiatan sehari – hari (Salman *et al.*, 2023). Sehingga diperlukan sebuah prototipe sistem dan kendali prioritas untuk mengurangi rugi-rugi daya pada PLTS.

Perkembangan teknologi menawarkan solusi untuk mengurangi permasalahan hilangnya daya pada PLTS. Teknologi *smart system* yang mencakup *Internet of Things (IoT)*, *machine learning*, dan otomatisasi dapat memungkinkan pemantauan dan kendali daya secara *real time* sehingga operasional dan perawatan PLTS dapat ditingkatkan (Boucif *et al.*, 2025). *IoT* akan digunakan sebagai integrasi antar sensor dan perangkat pintar lain untuk memantau daya input dari PLTS dan daya output atau daya konsumsi dari alat elektronik yang digunakan. *Machine learning* dan otomatisasi memungkinkan penggunaan daya PLTS oleh alat elektronik lebih efisien dan optimal sehingga meminimalisir hilangnya daya pada PLTS (Yoeseph, 2024).

Teknologi *smart system* berbasis *IoT* yang diterapkan terbukti mampu meningkatkan efisiensi kinerja sistem PLTS. Studi lapangan menunjukkan bahwa teknologi *smart system* dapat meningkatkan efisiensi pemantauan PLTS mencapai 95% dan kerusakan panel dapat terdeteksi sehingga energi keluaran PLTS dapat ditingkatkan (Tradacete-Ágreda *et al.*, 2024). Teknologi *smart system* dengan menggunakan komponen ESP8266 dan sensor PZEM004T dapat membantu memonitoring parameter listrik secara *real time* dan akurat dan dapat mengendalikan daya berbasis prioritas dalam interval waktu tertentu secara otomatis. Potensi besar dari teknologi *smart system* juga memiliki beberapa tantangan dalam implementasinya seperti biaya integrasi awal yang lebih mahal dan membutuhkan program yang kompleks (Taneza dan Firdaus, 2025)

Sensor PZEM004T berlaku sebagai pengukur parameter listrik seperti arus, tegangan, dan daya pada sistem PLTS dan perangkat listrik. ESP8266 berlaku sebagai pengendali utama untuk transmisi data dari sensor – sensor. Kedua komponen ini membentuk sistem adaptif dan responsive (Ilham dan Fithry, 2024). Ketika prototipe sistem berjalan maka akan menampilkan parameter listrik seperti arus, tegangan, dan daya dari setiap alat elektronik rumah tangga yang digunakan, setelah itu, daya konsumsi akan ditotalkan sehingga daya dari PLTS dapat dimaksimalkan untuk beberapa alat elektronik dan jika daya total dari alat elektronik berlebih maka program akan mengatur kendali prioritas penggunaan daya alat – alat elektronik tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang hanya

fokus mendapatkan parameter listrik maka penulis akan merancang sebuah prototipe sistem monitoring dan kendali prioritas pada perangkat listrik untuk mencegah hilangnya daya pada PLTS menggunakan sensor PZEM-004T dan ESP8266. Dengan menggunakan perbaruan data dan perangkat yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Shafa, 2025) dan mengembangkan program dapat berjalan dalam interval waktu tertentu sehingga efisiensi dari PLTS dapat dimaksimalkan penggunaannya dalam jangka panjang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, rumusan masalah yang membatasi aspek utama dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara membuat prototipe sistem monitoring dan kendali prioritas pada perangkat listrik yang dapat terkoneksi antar alat ke dalam satu monitor ?
2. Bagaimana hasil penerapan protokol komunikasi *ESP-NOW* pada sistem monitor dan kendali prioritas pada perangkat listrik yang akan diterapkan pada PLTS ?
3. Bagaimana hasil respons time saat jarak tertentu dari protokol komunikasi *ESP-NOW* pada sistem monitor dan kendali prioritas pada perangkat listrik yang akan diterapkan pada PLTS ?
4. Bagaimana pengaruh faktor daya pada alat elektronik terhadap hasil pengukuran dari protokol komunikasi *ESP-NOW* ?

1.2 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui cara membuat prototipe sistem monitoring dan kendali prioritas pada perangkat listrik yang dapat terkoneksi antar alat ke dalam satu monitor.

2. Mengetahui hasil penerapan protokol komunikasi ESP-NOW pada sistem monitor dan kendali prioritas pada perangkat listrik yang akan diterapkan pada PLTS.
3. Mengetahui bagaimana hasil respons time saat jarak tertentu dari protokol komunikasi ESP-NOW pada sistem monitor dan kendali prioritas pada perangkat listrik yang akan diterapkan pada PLTS.
4. Mengetahui pengaruh faktor daya pada alat elektronik terhadap hasil pengukuran dari protokol komunikasi ESP-NOW.

1.3 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mampu membuat prototipe sistem monitoring dan kendali prioritas pada perangkat listrik yang dapat terkoneksi antar alat ke dalam satu monitor.
2. Mampu membuat sistem tanpa kabel yang dapat menampilkan besar penggunaan energi listrik dan melakukan otomatisasi kendali prioritas pada perangkat listrik yang akan diterapkan pada PLTS.
3. Mampu membuat prototipe sistem monitor dan kendali prioritas dapat bekerja dengan jarak tertentu.
4. Mampu menganalisis faktor daya dari alat elektronik yang mempengaruhi hasil pengukuran daya pada prototipe sistem monitor dan kendali prioritas.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah *NodeMCU ESP8266*.
2. *Display LCD ILI9341* yang digunakan menampilkan arus, tegangan, daya dan total daya pada peralatan elektronik prioritas rumah tangga.
3. Bahasa pemrograman yang digunakan pada mikrokontroler ESP8266 adalah bahasa pemrograman C dengan software Arduino IDE.
4. SSR yang digunakan untuk melakukan otomatisasi.

5. Penelitian ini hanya berfokus pada sistem monitoring dan kendali prioritas perangkat elektronik rumah tangga menggunakan sensor PZEM-004T pada perangkat pengukurannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian terkait mengenai sistem kontrol untuk optimalisasi daya listrik dan mengembangkan sistem terbaru yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian agar kemudian dapat dikembangkan kembali untuk penelitian yang akan datang. Penelitian yang dilakukan oleh Aafi dkk, (2022) mengenai sistem monitoring panel surya menggunakan sensor PZEM-017, ESP-32, dan modul konverter UART TTL, dengan data yang diakses melalui aplikasi Blynk dan disimpan di Google Spreadsheet. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor dengan Avometer dan Tang Ampere. Hasilnya menunjukkan akurasi rata-rata 99.49% untuk tegangan panel surya, 94.5% untuk tegangan baterai, dan 86.8% untuk arus, menunjukkan sistem yang efektif meskipun ada sedikit deviasi. Kekurangan spesifik tidak disebutkan, namun akurasi yang tidak 100% mengindikasikan adanya selisih kecil dalam pengukuran (Aafi *et al.*, 2022).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Isnianto dan Puspitaningrum, (2018). Penelitian ini membahas sistem monitoring tegangan, arus, daya, dan faktor daya secara real time pada jaringan listrik satu fase berbasis Arduino yang dilengkapi dengan mekanisme perbaikan faktor daya otomatis menggunakan kapasitor bank. Sistem dirancang menggunakan sensor tegangan yaitu ZMPT101B, sensor arus yang digunakan adalah ACS712, dan rangkaian sensor cos phi untuk mendeteksi adanya perbedaan fase antara tegangan dan arus. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD dan kemudian disimpan menggunakan media micro SD

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan nilai faktor daya dari sekitar 0,52 menjadi hingga 0,92 pada variasi beban induktif antara 40 W sampai 225 W. Meskipun sistem dapat bekerja dengan baik, sensor arus ACS712 memiliki tingkat kesalahan pengukuran yang relatif tinggi, yaitu sekitar 7,06%, terutama pada pengukuran arus kecil. Selain itu, penggunaan sensor yang terpisah meningkatkan kompleksitas rangkaian dan belum mendukung pengukuran energi listrik secara langsung (Isnianto dan Puspitaningrum, 2018).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Prastyo dkk, (2024) mengenai perancangan sistem monitoring daya listrik rumah tangga berbasis IoT menggunakan *NodeMCU* ESP32, sensor PZEM-004T, dan LCD 16x2, dengan antarmuka pengguna melalui aplikasi Telegram. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor PZEM-004T dengan *power meter* komersial menggunakan berbagai beban elektronik. Hasilnya menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai *error* di bawah 1% dan konsistensi data antara LCD dan Telegram Bot. Kekurangan utama adalah tampilan menu Telegram Bot yang sederhana dan kurang interaktif, serta perlu pengembangan rekapitulasi penggunaan listrik secara detail (Prastyo *et al.*, 2024).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Dahlan dkk, (2025) mengenai pengembangan sistem kontrol dan monitoring daya peralatan elektronik rumah tangga berbasis IoT menggunakan *NodeMCU* ESP32, sensor PZEM-004T, *solid-state relay* (SSR), dan sensor LDR. Data dapat diakses melalui antarmuka web. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor PZEM-004T terhadap *clamp meter* pada berbagai beban. Sistem ini mencapai akurasi rata-rata 98% untuk arus dan tegangan, serta 99% untuk daya, dan berhasil mengurangi konsumsi listrik sebesar 4.1%. Kekurangan yang teridentifikasi adalah ketidakstabilan tegangan yang menyebabkan sedikit perbedaan dalam pengukuran, serta potensi untuk memperluas cakupan studi dan mengintegrasikan *machine learning* untuk efisiensi daya (Dahlan *et al.*, 2025)

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Yuda dkk, (2023) mengenai sistem monitoring PLTS yang dilengkapi informasi lokasi, menggunakan *NodeMCU* ESP8266, sensor PZEM-017, sensor LDR, dan modul GPS NEO-6M. Data ditampilkan dan disimpan melalui aplikasi Blynk. Pengujian dilakukan dengan memantau data waktu, lokasi, intensitas cahaya, arus, tegangan, dan persentase baterai secara keseluruhan. Hasilnya menunjukkan sistem berhasil mendeteksi data secara *real-time* dengan akurasi tinggi pada GPS. Kekurangan utamanya adalah potensi *error* pada sensor GPS jika sinyal tidak optimal, yang membutuhkan lokasi terbuka untuk deteksi koordinat (Yuda *et al.*, 2023).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Hartoyo dkk, (2024) mengenai pengembangan sistem monitoring daya listrik untuk PLTS berbasis IoT, menggunakan sensor PZEM-004T, modul Wi-Fi *NodeMCU*, adaptor, dan LCD I2C, dengan data ditampilkan secara lokal dan melalui aplikasi Blynk. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor dengan multimeter dan ammeter standar. Hasilnya menunjukkan alat berfungsi dengan baik dengan deviasi rata-rata di bawah 5%, sesuai standar IEC. Kekurangan yang diidentifikasi adalah antarmuka aplikasi Blynk yang dasar dan memerlukan peningkatan visual, serta kebutuhan untuk mengembangkan server lokal khusus untuk akses data yang lebih mudah (Hartoyo *et al.*, 2024).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Foton dan Efek Fotovoltaik

Foton merupakan partikel dasar cahaya yang tidak memiliki massa dan selalu bergerak dengan kecepatan cahaya di ruang hampa (Samsurizal *et al.*, 2021). Energi foton yang mencapai Bumi dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$E = h \cdot \nu \quad (2.1)$$

dengan E adalah energi foton (dalam eV), h adalah konstanta Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ Js), dan ν adalah frekuensi gelombang cahaya (dalam Hz) Einstein mengemukakan

bahwa cahaya terdiri dari paket-paket energi diskrit yang disebut quanta, yang kemudian dikenal sebagai foton. Gagasan ini berhasil menjelaskan fenomena efek fotolistrik, di mana elektron dilepaskan dari permukaan logam saat disinari cahaya. Penemuan ini merupakan salah satu tonggak penting dalam perkembangan mekanika kuantum (Samsurizal *et al.*, 2021).

Panel surya merupakan perangkat fotovoltaik, berfungsi mengubah energi foton cahaya menjadi listrik secara langsung. Ketika cahaya matahari (yang terdiri dari foton-foton dengan energi berbeda) menyinari sel surya, foton-foton ini menembus lapisan atas sel yang terbuat dari bahan semikonduktor tipe-n. Foton ini kemudian mencapai lapisan semikonduktor tipe-p yang lebih tebal di bawahnya pada kedalaman yang bervariasi. Interaksi antara foton dengan elektron di dalam material semikonduktor menghasilkan aliran elektron, menciptakan arus listrik yang kemudian mengalir ke rangkaian luar dan dapat digunakan untuk menyalakan lampu atau perangkat listrik. Energi yang dibawa oleh setiap foton harus cukup untuk melepaskan elektron dari atom material semikonduktor, sebuah fenomena yang dikenal sebagai efek fotolistrik. Setiap bahan semikonduktor memiliki ambang batas energi minimum yang diperlukan, yang disebut celah pita (band gap). Jika energi foton lebih rendah dari celah pita, foton tersebut akan melewati material tanpa menghasilkan elektron bebas. Sebaliknya, jika energi foton lebih besar dari celah pita, energi berlebih tersebut akan hilang sebagai panas, sehingga efisiensi sel surya berkurang. Maka pemilihan bahan semikonduktor pada panel surya perlu diperhatikan (Bizzy, 2020).

Terdapat beberapa jenis fotovoltaik yaitu *monocrystalline*, *policrystalline*, dan *Thin Film Solar Cells* (TFSC). *Monocrystalline* merupakan jenis fotovoltaik yang terbuat dari material kristal tunggal yaitu silikon dan memiliki efisiensi sekitar 15-20%. *Policrystalline* adalah jenis fotovoltaik yang terbuat dari gabungan beberapa kristal dan memiliki efisiensi sekitar 13-16%. *Thin Film Solar Cells* (TFSC) merupakan jenis fotovoltaik terbuat dari tambahan beberapa lapisan panel fotovoltaik (PV) yang tipis ke dalam lapisan dasar, TFSC hanya memiliki efisiensi sekitar 7-13% (Bizzy, 2020).

2.2.2 PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau PLTS merupakan sebuah sistem yang mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic* (Rauf *et al.*, 2023). *Photovoltaic* adalah fenomena fisika yang terjadi pada permukaan panel surya (*solar cell*) ketika menerima energi cahaya matahari. Selanjutnya, cahaya atau foton yang diterima oleh panel surya diubah menjadi energi listrik. Energi listrik yang tercipta disebabkan oleh adanya energi foton cahaya yang membebaskan elektron–elektron sehingga mengalir dalam sambungan semikonduktor tipe–n dan tipe–p yang pada akhirnya menimbulkan arus listrik. Sistem energi listrik yang menggunakan PLTS ini menjadi sumber energi yang baru dan terbarukan. Sistem PLTS ini mudah didapatkan di Indonesia yang merupakan negara tropis di mana cahaya matahari menyinari wilayah Indonesia hampir sepanjang tahun (Nurjaman dan Purnama, 2022).

Berdasarkan klasifikasinya, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terbagi menjadi dua jenis yaitu sistem *grid connected* yang terhubung dengan jaringan PLN dan berfungsi sebagai cadangan saat pemadaman, serta sistem PLTS *stand-alone* yang beroperasi secara mandiri. Perancangan sistem ini harus mempertimbangkan faktor teknis untuk menentukan konfigurasi yang sesuai, serta faktor ekonomis yang mencakup biaya investasi, operasional, dan perawatan. Komponen utama PLTS mencakup panel surya untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik DC, inverter untuk mengubah listrik DC menjadi AC, baterai untuk menyimpan energi, dan *charge controller* untuk mengatur pengisian daya, yang semuanya dihubungkan oleh kabel dan dudukan. Perancangan sistem PLTS perlu memperhatikan beberapa faktor, yaitu faktor teknis dengan cara menentukan konfigurasi sistem yang tepat. Kedua, yang harus diperhatikan yaitu faktor ekonomis di mana akan berdampak pada biaya yang akan dikeluarkan seperti biaya investasi, biaya operasi perawatan, dan energi yang dihasilkan. Selain faktor teknis dan ekonomis, penting juga untuk mempertimbangkan lokasi pemasangan. Kondisi geografis, intensitas sinar matahari, dan potensi bayangan akan sangat memengaruhi efektivitas panel surya (Nurjaman dan Purnama, 2022).

2.2.3 Monitoring

Memantau atau monitoring dalam bahasa Inggris merupakan kegiatan penting untuk memastikan tercapainya seluruh sasaran organisasi dan manajemen. Secara lebih dalam, monitoring adalah proses sistematis yang mengkaji dan mengevaluasi informasi mengenai kinerja sebuah proyek atau kegiatan. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi adanya peningkatan sebagai hasil dari tindakan yang dilakukan, sekaligus memastikan bahwa semua peraturan telah dipatuhi. Pada proses monitoring, terdapat dua entitas utama yaitu pemonitor sebagai pihak yang melaksanakan pemantauan, dan objek yang merupakan entitas yang sedang dipantau. Pemonitor memerlukan data atau informasi sebagai masukan untuk menganalisis situasi, dan dari hasil analisis tersebut, pemonitor akan menghasilkan tindakan atau aksi sebagai keluaran dari proses monitoring (Kusumah *et al.*, 2023).

2.2.4 Daya Listrik

Daya listrik adalah ukuran seberapa cepat energi listrik digunakan dalam sebuah rangkaian. Secara sederhana, daya listrik menunjukkan jumlah energi listrik yang diubah atau dipakai setiap detik (Ramdhani, 2005). Pada penelitian ini menggunakan setrika dan *magic com* yang menyerap daya listrik dan mengubahnya menjadi panas. Semakin tinggi konsumsi daya listrik maka semakin tinggi pula wattnya. Satuan standar internasional untuk daya listrik adalah Watt (W), yang setara dengan satu Joule energi per detik ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$).

$$P = \frac{E}{t} \quad (2.2)$$

dengan P sebagai daya listrik dalam satuan watt (W), E sebagai energi dalam satuan joule (J) dan t sebagai waktu dalam satuan detik (s), (Setiaji *et al.*, 2022).

Menurut Konsep usaha, daya listrik adalah jumlah energi listrik yang digunakan setiap detiknya. daya listrik adalah ukuran seberapa cepat suatu alat elektronik mengubah energi listrik menjadi bentuk energi lainnya, seperti panas atau cahaya.

$$W = V.I.t \quad (2.3)$$

daya dapat ditulis dengan,

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.4)$$

dengan P sebagai daya listrik dalam satuan watt (W), W sebagai banyaknya energi yang ditimbulkan dalam satuan joule (J) dan t sebagai waktu dalam satuan detik (s), I sebagai arus yang mengalir dalam satuan ampere (A) dan V sebagai tegangan dalam satuan volt (V).

Daya listrik terbagi menjadi tiga bagian yaitu :

1. Daya Semu

Daya semu merupakan hasil perkalian V dengan I disebut daya semu dan disimbolkan dengan S .

$$S = V.I \quad (2.5)$$

Satuan dari daya semua yaitu VoltAmpere (VA).

Berdasarkan vektoris daya, daya semu adalah hasil penjumlahan antara daya aktif dan daya reaktif. Hal ini dapat dijelaskan menggunakan segitiga daya. Hubungan antara daya semu dengan daya aktif dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = V.I.\cos\phi \quad (2.6)$$

dengan

$$S = V.I \quad (2.7)$$

Sehingga

$$P = S.\cos\phi \quad (2.8)$$

Daya semu sering dipakai pada peralatan listrik seperti generator, transformator dan mesin-mesin listrik (Saifuddin *et al.*, 2018).

2. Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya asli dan memiliki pengaruh terhadap beban dapat dirasakan secara nyata atau asli, seperti menyalanya lampu listrik (instalasi

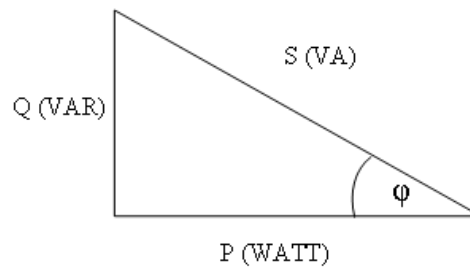
penerangan), adanya kopel (Torsi) yang dihasilkan oleh motor-motor listrik. Daya aktif diberi simbol P dalam satuan Watt, dengan hubungan matematisnya yaitu :

$$P = V.I.\cos\varphi \quad (2.10)$$

Faktor daya atau ($\cos\varphi$) adalah nilai yang menunjukkan tingkat efisiensi jaringan dalam menyalurkan daya yang dapat digunakan (Wibowo, 2021). Nilainya berkisar antara 0 hingga 1. Semakin tinggi nilai faktor daya, yang idealnya mendekati 1, semakin besar pula porsi daya semu yang diberikan oleh sumber yang dapat dimanfaatkan (Ndikade *et al.*, 2022). Faktor daya atau ($\cos\varphi$) merupakan perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA). Berikut merupakan rumus faktor daya.

$$\cos\varphi = \frac{P_{aktif}}{P_{semu}} \quad (2.11)$$

Perolehan faktor daya dengan merujuk pada segitiga daya yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1** .



Gambar 2. 1 Segitiga Daya

3. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang timbul akibat adanya reaktansi pada sistem. Reaktansi dapat berupa reaktansi induktif atau reaktansi kapasitif. Reaktansi induktif terjadi karena adanya komponen induktor dalam sistem. Reaktansi kapasitif terjadi akibat adanya komponen kapasitor dalam sistem. Daya reaktif adalah daya yang tidak asli efeknya, tidak seperti daya semu atau daya aktif (Saifuddin *et al.*, 2018). Daya reaktif ditunjukkan dengan hubungan matematis berikut :

$$Q = V.I.\sin\phi \quad (2.12)$$

2.2.5 *Smart System*

Sistem cerdas (*smart system*) merepresentasikan evolusi teknologi, ekonomi, dan sosial yang dipicu oleh konvergensi berbagai inovasi. Komponen utamanya mencakup teknologi sensor yang mengumpulkan data dari lingkungan, big data dan open data yang menyediakan sumber informasi masif, serta teknik konektivitas dan pertukaran informasi yang memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi secara efisien. Gabungan elemen-elemen ini memberdayakan sistem untuk memiliki kemampuan berpikir, memperoleh wawasan (*insight*), dan mengambil keputusan secara mandiri. *Smart System* dibagi menjadi 2 bagian yaitu *software* dan *hardware*.

1. *Software*

Software atau yang biasa disebut dengan perangkat lunak merupakan salah satu komponen yang ada pada komputer, dimana perangkat ini tidak memiliki wujud fisik dan di install dalam sistem komputer agar dapat dioperasikan, perangkat lunak, software juga berperan untuk menghubungkan antara user dengan perangkat keras (*hardware*). Arduino IDE adalah Sebuah perangkat lunak unik yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Java yang menggabungkan tiga fitur utama dalam satu paket yaitu editor, kompiler, dan uploader. Editornya menyediakan platform bagi pengguna untuk membuat dan menyempurnakan kode dalam bahasa *processing*. Selanjutnya, kompiler berfungsi sebagai penerjemah, kemudian mengonversi kode *processing* menjadi format biner yang dapat dibaca oleh mesin. Terakhir, uploader memungkinkan transfer kode biner tersebut dari komputer pengguna ke memori yang terdapat pada *board* Arduino (Niqotaini *et al.*, 2023).

2. *Hardware*

Perangkat keras, atau *hardware*, adalah komponen fisik dari suatu sistem komputer yang dapat kita lihat dan sentuh. *Hardware* berbeda dengan *software*, yang merupakan program dan sistem operasi yang berfungsi sebagai jembatan

antara pengguna dan perangkat keras. Secara sederhana, hardware adalah mesinnya, sementara software merupakan sebuah instruksi yang membuatnya bekerja (Niqotaini *et al.*, 2023).

2.2.6 *Internet of Things (IoT)*

Teknologi modern yang dikenal sebagai *Internet of Things (IoT)* dirancang untuk memanfaatkan koneksi internet secara maksimal. Inti dari teknologi ini adalah kemampuannya untuk menghubungkan berbagai benda atau komponen listrik, yang pada gilirannya menyederhanakan, meningkatkan efisiensi, dan membuat aktivitas sehari-hari menjadi lebih praktis. Penerapan *IoT* kini telah meluas di berbagai sektor kehidupan (Budiyanti, 2021). *IoT* menggunakan beberapa komponen kunci untuk komunikasi, termasuk *Radio Frequency Identification (RFID)* sebagai metode identifikasi, sensor, jaringan nirkabel, dan kode *Quick Response (QR)*. Secara harfiah, *IOT* terdiri dari dua bagian yaitu *Internet* yang merujuk pada infrastruktur jaringan, dan *Things* yang melambangkan objek fisik yang berfungsi sebagai penghubung interaksi antara manusia dan sistem komputer (Syahfitri, 2025). *IOT* adalah sebuah perangkat yang dimanfaatkan sebagai sumber informasi bagi manusia. Teknologi ini saling berhubungan dengan layanan yang berkesinambungan dengan sensor untuk memperoleh data dan kemudian bertukar informasi. *IoT* memungkinkan objek di sekitar kita untuk berkomunikasi satu sama lain dan menciptakan aliran informasi yang konstan dan otomatis. Proses dari *IoT* dimulai ketika sensor yang tertanam di perangkat mengumpulkan data dari lingkungan sekitar, misalnya parameter listrik. Data ini kemudian dikirimkan melalui microcontroller dan koneksi internet ke platform atau server pusat, yang sering disebut cloud. Kemudian data dianalisis dan diproses menggunakan kecerdasan buatan (AI) atau algoritma khusus. Hasil dari analisis ini kemudian dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti memicu respons otomatis pada perangkat lain, mengirimkan notifikasi kepada pengguna, atau menyajikan informasi yang mudah dipahami. Pada penelitian ini digunakan sensor PZEM004T untuk mendeteksi parameter listrik pada perangkat listrik dan dapat bekerja secara

otomatis. Seluruh proses ini berjalan secara otomatis tanpa intervensi manusia secara terus-menerus (Hasnanto *et al.*, 2023).

2.2.7 NodeMCU ESP8266

NodeMCU merupakan platform *Internet of Things (IoT)* sumber terbuka yang terdiri dari *hardware* dan *firmware*. Perangkat kerasnya menggunakan *System on Chip (SoC)* ESP8266-12 dari *Espressif Systems*, sedangkan *firmware*-nya menggunakan bahasa pemrograman *Lua*. Istilah *NodeMCU* lebih merujuk pada *firmware*-nya daripada kit pengembang perangkat kerasnya. *NodeMCU* disebut juga sebagai Arduino dari ESP8266 karena menggabungkan *chip* tersebut ke dalam satu *board* ringkas (Radianto, 2023). *Board* ini berfungsi layaknya mikrokontroler pada umumnya, namun dilengkapi juga dengan kemampuan Wi-Fi dan *chip* komunikasi USB ke-Serial. Berkat fitur ini, hanya perlu kabel data mikro USB untuk memprogramnya. Saat ini, terdapat tiga produsen utama yang menjual *NodeMCU* di pasaran, yaitu Amica, DOIT, dan Lolin/WeMos, dengan beberapa varian board, seperti V1, V2, dan V3. Varian V2 (generasi kedua) adalah versi yang lebih canggih dari V1 (Satriadi *et al.*, 2019).

ESP8266 adalah sebuah mikrokontroler yang berfungsi sebagai otak utama dari suatu perangkat elektronik. Sebagai pengendali pusat, ESP8266 bertanggung jawab penuh dalam memproses data masukan dan mengeluarkan perintah agar perangkat dapat bekerja sesuai fungsinya. Oleh karena peran krusial tersebut, ESP8266 menjadi komponen terpenting dalam sistem. Berikut adalah tampilan *NodeMCU* ESP8266 yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**



Gambar 2. 2 *NodeMCU* ESP8266 (<https://tiendadeelectronica.mx/tienda>)

2.2.8 *Solid State Relay (SSR)*

Fungsi dasar *solid state relay* (SSR) sama dengan *relay elektromekanik*, yaitu sebagai sakelar elektronik untuk mengendalikan perangkat industri. Namun, *relay elektromekanik* memiliki keterbatasan, seperti umur kontak yang pendek, ukuran yang besar, dan konsumsi daya tinggi. Oleh karena itu, banyak produsen beralih ke SSR yang menggunakan semikonduktor modern yaitu seperti SCR, TRIAC, atau transistor sebagai pengganti kontak mekanik. SSR memiliki keunggulan, yaitu isolasi optik antara input dan output. Mekanisme ini menggunakan sumber cahaya LED bertegangan DC rendah, yang akan mengaktifkan relay, dan mencegah kontak fisik (Kustiawan, 2018).

Solid state relay (SSR) tidak memiliki komponen bergerak, sehingga tidak mengalami keausan. SSR juga memiliki waktu sakelar yang jauh lebih cepat daripada relay elektromekanik dan tidak menghasilkan percikan api, yang mencegah masalah korosi pada kontak. Meskipun begitu, biaya produksi SSR dengan arus tinggi masih mahal, sehingga relay konvensional tetap mendominasi di banyak aplikasi industri. Salah satu keunggulan utama SSR yang menggunakan SCR dan TRIAC adalah kemampuannya untuk membuka sirkuit AC secara alami pada titik nol arus. Karena SCR dan TRIAC bersifat *thyristor*, sirkuit akan tetap terhubung meskipun LED sudah tidak bertenaga, hingga arus AC turun di bawah nilai ambang (*holding current*). Secara praktis, fitur ini, yang dikenal sebagai *zero-crossover switching*, mencegah sirkuit terputus saat berada di puncak gelombang sinus. Hal ini sangat bermanfaat karena dapat menghindari lonjakan tegangan besar yang sering terjadi pada sirkuit dengan induktansi tinggi akibat runtuhnya medan magnet secara tiba-tiba. Namun, SSR memiliki kelemahan yang berlawanan dengan relay elektromekanik. Jika relay konvensional cenderung gagal dalam posisi terbuka, SSR justru lebih sering gagal dalam posisi tertutup, yang berarti sirkuit tetap terhubung. Harga yang mahal dan kelemahan saat menutup sirkuit menjadi pertimbangan pemakaian SSR daripada relay (Kustiawan, 2018). SSR ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 *Solid State Relay (SSR)* (<https://www.edukasiaelektronika.com>)

2.2.9 Sensor PZEM004T

Modul PZEM-004T adalah sebuah perangkat digital yang dirancang untuk mengukur berbagai parameter kelistrikan secara *real-time*, seperti tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi kumulatif. Fungsinya sebagai alat ukur yang ringkas dan multifungsi menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi, terutama dalam sistem pemantauan energi dan otomasi. Modul PZEM-004T adalah sebuah perangkat digital yang dirancang untuk mengukur berbagai parameter kelistrikan secara *real-time*, seperti tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi kumulatif. Fungsinya sebagai alat ukur yang ringkas dan multifungsi menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi, terutama dalam sistem pemantauan energi dan otomasi. PZEM-004T tidak hanya berfungsi sebagai pengukur, tetapi juga sebagai jembatan data. Modul ini dilengkapi dengan antarmuka serial (TTL) yang memungkinkannya untuk berkomunikasi langsung dengan berbagai perangkat cerdas, termasuk mikrokontroler seperti Arduino, *NodeMCU* (ESP8266), atau Raspberry Pi, serta komputer melalui konverter. Kemudahan integrasi ini membuka peluang besar untuk pengembangan proyek *Internet of Things* (IoT), di mana data konsumsi energi dapat dikirim ke server *cloud* dan dipantau dari jarak jauh melalui aplikasi seluler atau *dashboard* web (Yadie Erie *et al.*, 2025). Sensor PZEM-004T ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2. 4 Sensor PZEM-004T

2.2.10 ESP-NOW

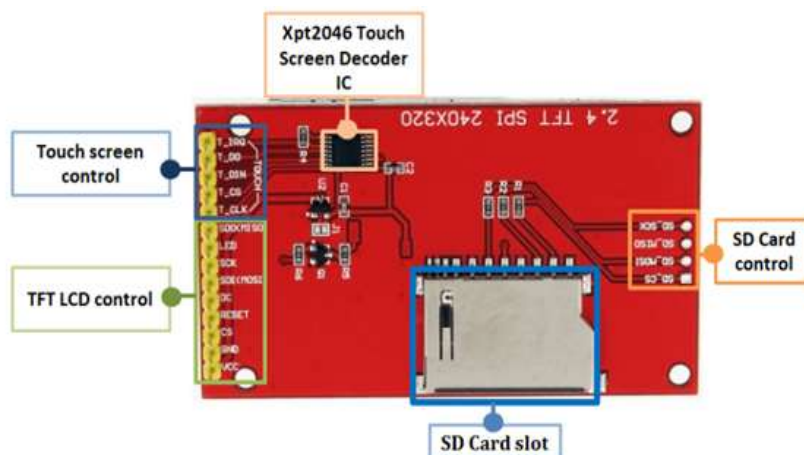
ESP-NOW merupakan protokol komunikasi yang dikembangkan oleh Espressif. Protokol dapat memungkinkan perangkat dengan chip ESP32 atau ESP8266 untuk saling berkomunikasi secara langsung tanpa perlu terhubung ke jaringan Wi-Fi. ESP-NOW didesain untuk transfer data yang cepat dan hemat daya. Dengan frekuensi 2,4 GHz, protokol ini ideal untuk komunikasi nirkabel antar perangkat dalam jarak relatif dekat. Oleh karena itu, ESP-NOW sangat cocok untuk berbagai aplikasi *Internet of Things (IoT)* yang membutuhkan komunikasi efisien dengan konsumsi daya minimal, seperti sistem sensor nirkabel yang bekerja dengan mengirim data dari sensor ke perangkat utama secara langsung. Otomasi Rumah bekerja dengan mengontrol sakelar atau perangkat lain tanpa bergantung pada *router* Wi-Fi. Komunikasi *Peer-to-Peer* yaitu memungkinkan perangkat untuk saling bertukar data tanpa melalui server sentral. Skema komunikasinya ESP-NOW melibatkan dua peran utama yaitu Pengirim (*Master*) yang berupa perangkat ESP8266 atau ESP32 yang bertugas mengirimkan data dan Penerima (*Slave*) dapat berupa perangkat ESP8266 atau ESP32 yang berfungsi menerima data dari pengirim (Maulana *et al.*, 2024). Dengan mekanisme ini, ESP-NOW menawarkan solusi komunikasi yang andal dan efisien, terutama di lingkungan di mana jaringan Wi-Fi tidak stabil atau tidak tersedia. Komunikasi ESP-NOW ditunjukkan pada **Gambar 2.5.**



Gambar 2. 5 Komunikasi ESP-NOW (<https://randomnerdtutorials.com>)

2.2.11 TFT ILI9341

Panel LCD TFT adalah perangkat yang sangat populer dalam proyek mikrokontroler, terutama karena kebutuhan pin I/O yang minimal dan kemudahan penggunaannya. Layar ini tidak hanya menampilkan visual, tetapi juga dilengkapi dengan slot kartu SD. Dengan resolusi 240 x 320 piksel, layar ini menggunakan antarmuka serial yang dikendalikan oleh lima kabel (CS, RS, SCL, SDA, RST). Selain itu, slot kartu SD juga terhubung melalui antarmuka SPI perangkat keras (CS/MOSI/MISO/SCK) (Winnetou, 2023). TFT ILI9341 ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 TFT ILI9341 <https://www.sinauprogramming.com>

TFT ILI9341 adalah layar tampilan kecil dan berwarna yang digunakan dalam berbagai proyek hobi dan prototipe. Layar ini menggunakan teknologi Thin-Film Transistor untuk kualitas gambar yang lebih baik dan dikelola oleh chip kontroler ILI9341. Chip ini berfungsi sebagai perantara, memungkinkan mikrokontroler untuk dengan mudah menggambar konten di layar. Layar ini sering dipilih oleh para pembuat dan penggemar karena harganya yang terjangkau dan kemampuannya untuk menampilkan visual yang tajam dan penuh warna. Layar ini sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan output visual, seperti meteran kustom, pengukur, atau permainan video sederhana (Winnetou, 2023). Pada penelitian ini layar TFT ILI9341 digunakan untuk menampilkan parameter listrik dari perangkat elektronik yaitu tegangan, arus, daya dan total daya.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan bulan September 2025. Penelitian ini berlandaskan dari penelitian sebelumnya yang terdiri dari beberapa tahapan meliputi pengujian sistem kontrol, perancangan aplikasi, pengambilan data dan analisis hasil. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Workshop Energi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Jadwal pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan

No.	Kegiatan	Bulan			
		Juni	Juli	Agustus	September
1	Perancangan Perangkat	■			
2	Pembuatan Perangkat	■	■		
3	Perancangan Aplikasi		■	■	■
4	Pengujian Sensor		■	■	■
5	Pengambilan Data			■	■
6	Analisis Hasil				■

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pembuatan perangkat pada penelitian ini terdapat alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung berjalannya pembuatan perangkat antara lain sebagai berikut.

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3. 2 Alat Penelitian

No.	Alat Penelitian	Fungsi
1	Laptop	Sebagai perangkat untuk menjalankan <i>software</i> Arduino IDE
2	<i>Software</i> Arduino IDE	Sebagai <i>software</i> untuk mengembangkan kode program perangkat berbasis arduino dengan menggunakan bahasa pemrograman.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Bahan Penelitian

No.	Bahan Penelitian	Fungsi
1	<i>NodeMCU</i> ESP8266	Sebagai pengendali pusat berbagai jenis komponen elektronik dan terintegrasi.
2	Modul Sensor PZEM-004T	Sebagai pengukur arus, tegangan, daya, faktor daya, frekuensi dan energi listrik

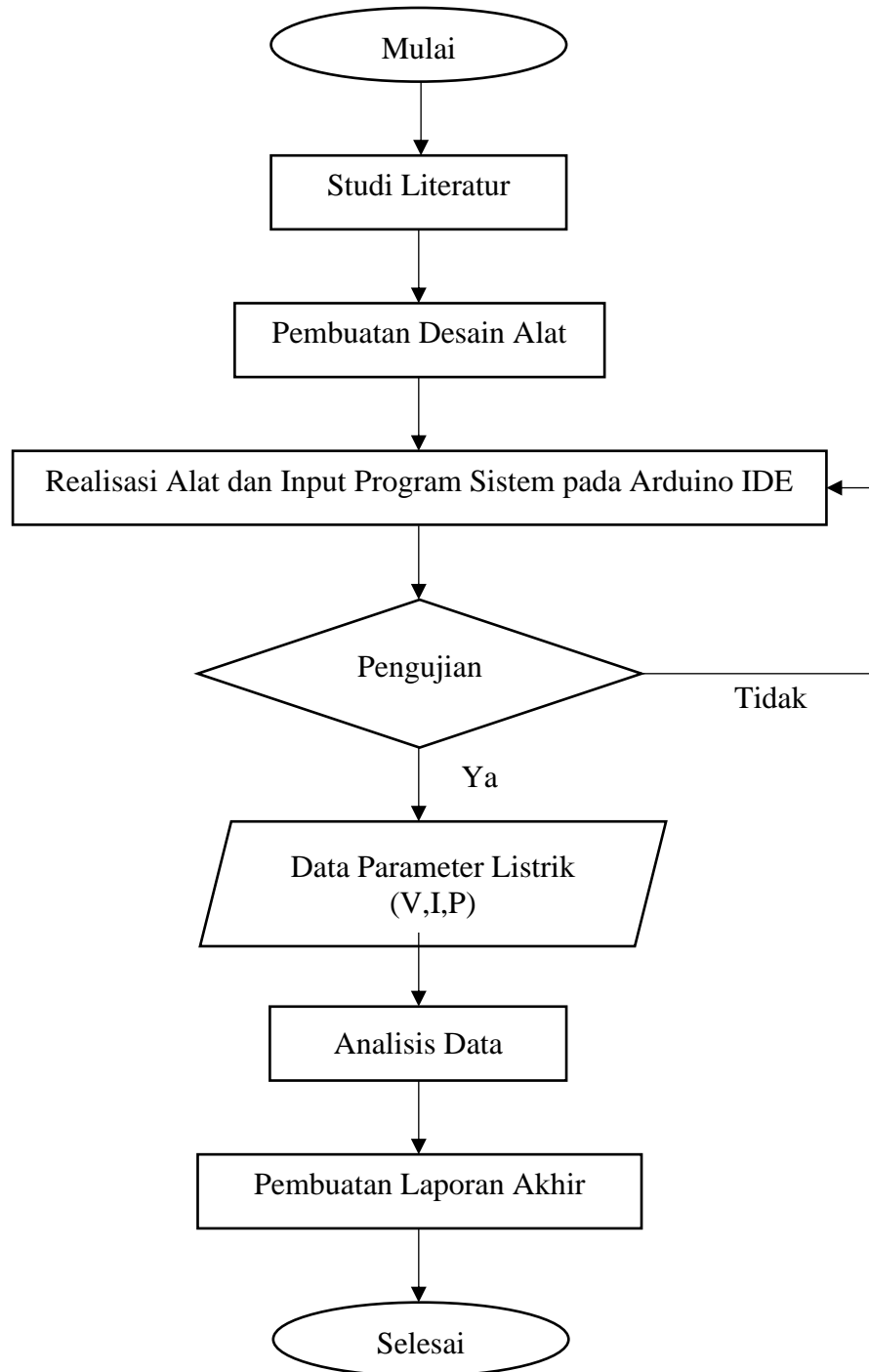
yang digunakan dalam perangkat rumah tangga.

3	<i>Coil</i>	Pengukur arus listrik yang masuk ke sensor PZEM-004T.
4	Adaptor	Sebagai pengkonversi tegangan listrik arus AC nilai tinggi ke DC dengan nilai yang lebih rendah, dan mengatur tegangan yang masuk pada alat.
5	<i>Male Jack</i>	Sebagai bagian penghubung perangkat dalam dengan adaptor.
6	TFT ILI9341	Sebagai layar yang akan menampilkan hasil pengukuran.
7	SSR	Sebagai pengendali sirkuit listrik berdaya tinggi menggunakan sinyal kontrol berdaya rendah, menggantikan fungsi sakelar mekanik tanpa bagian bergerak.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu perancangan alat, pengujian kinerja alat dan pengambilan data pengukuran. langkah-langkah yang dilakukan pada pembuatan perangkat ditunjukkan dalam diagram alir penelitian pada **Gambar**

3.1



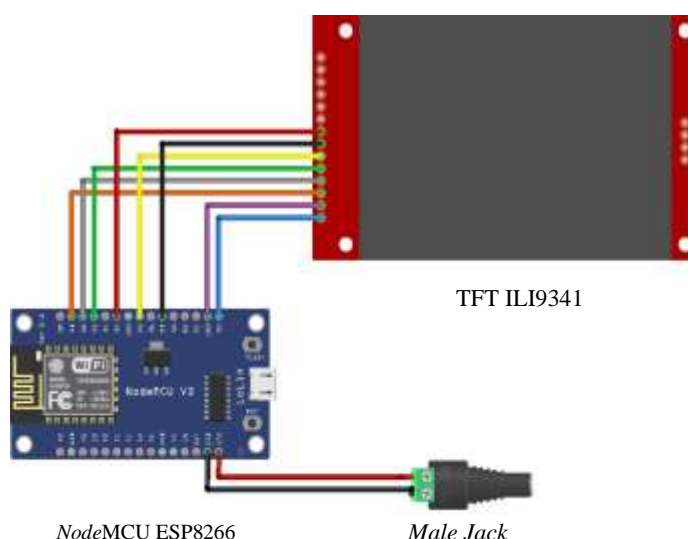
Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.4 Tahap Perancangan Sistem

Pada tahap ini perangkat yang dibuat dibagi menjadi 2 yaitu perangkat *receiver* sebagai monitor dan perangkat *Sender* sebagai kendali prioritas optimalisasi daya listrik menggunakan sensor PZEM-004T dan *NodeMCU* ESP8266.

3.4.1 Rangkaian *Receiver*

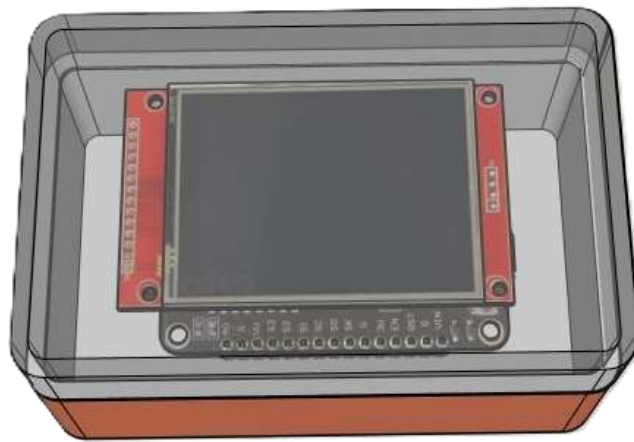
Rangkaian sistem monitoring merupakan model awal atau sebuah alat yang dirancang untuk dapat menampilkan hasil pengukuran dan menguji konsep, desain, serta fungsionalitas sebelum diimpelentasikan pada PLTS. Skema rangkaian *receiver* ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Skema Rangkaian *Receiver*

Prototipe ini akan bekerja sebagai perangkat yang akan mengumpulkan dan menampilkan data penggunaan daya listrik pada rumah tangga, dilengkapi dengan informasi mengenai arus, tegangan, daya, faktor daya dan energi yang digunakan pada perangkat listrik rumah tangga yang terpasang. Prototipe ini juga akan terhubung dengan perangkat prioritas optimalisasi daya listrik yang terpasang pada peralatan rumah tangga. Komponen sistem pemantauan terdiri dari *NodeMCU*

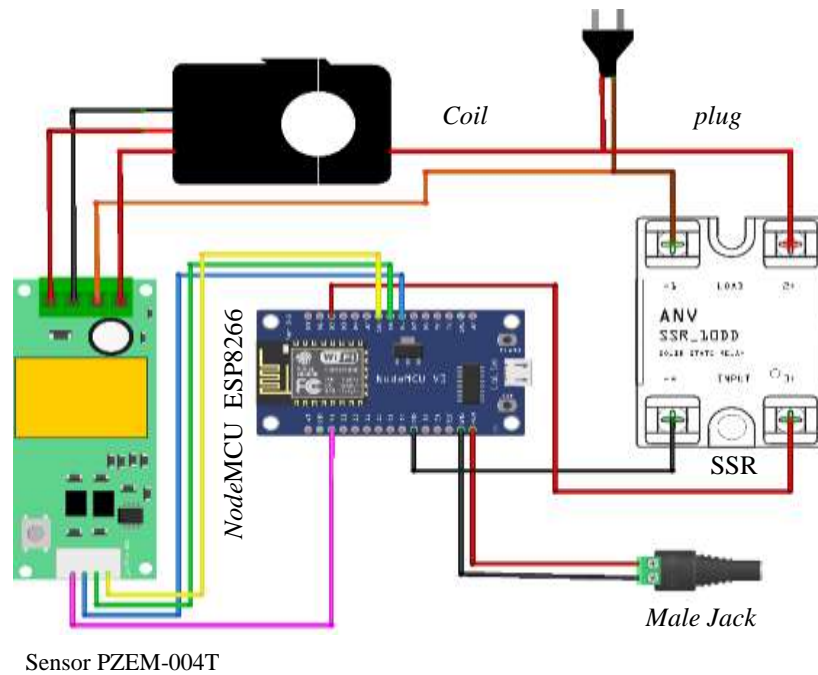
ESP8266, TFT LCD ILI9341, sensor PZEM-004T, dan *solid state relay* (SSR). *NodeMCU* ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler dan juga berfungsi sebagai sistem pemantauan atau monitoring. sensor PZEM-004T mendeteksi arus, tegangan, daya, faktor daya dan energi listrik pada sistem prioritas optimalisasi daya listrik. TFT LCD ILI9341 menampilkan nilai-nilai yang sudah ditentukan pada sistem monitoring prioritas. Selanjutnya, *solid state relay* (SSR) berfungsi sebagai saklar otomatis pada sistem kendali tanpa menimbulkan bunyi. Desain *receiver* ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Desain *Receiver*

3.4.2 Rangkaian *Sender*

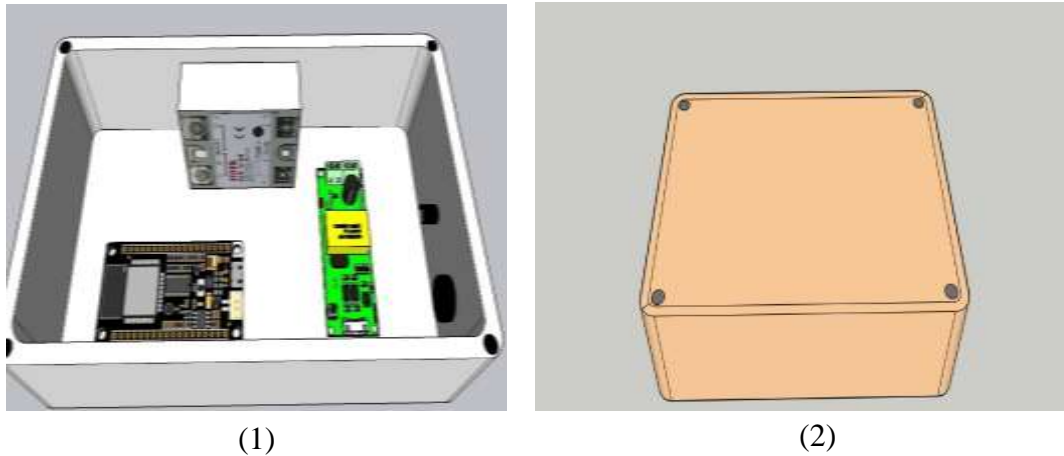
Rangkaian pada *Sender* sebagai kendali prioritas daya merupakan model awal atau sebuah alat yang dirancang untuk dapat mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya dan energi listrik yang digunakan pada perangkat listrik rumah tangga. *Sender* akan terhubung langsung dengan peralatan rumah tangga. Skema rangkaian *Sender* ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.4 Skema Rangkaian *Sender*

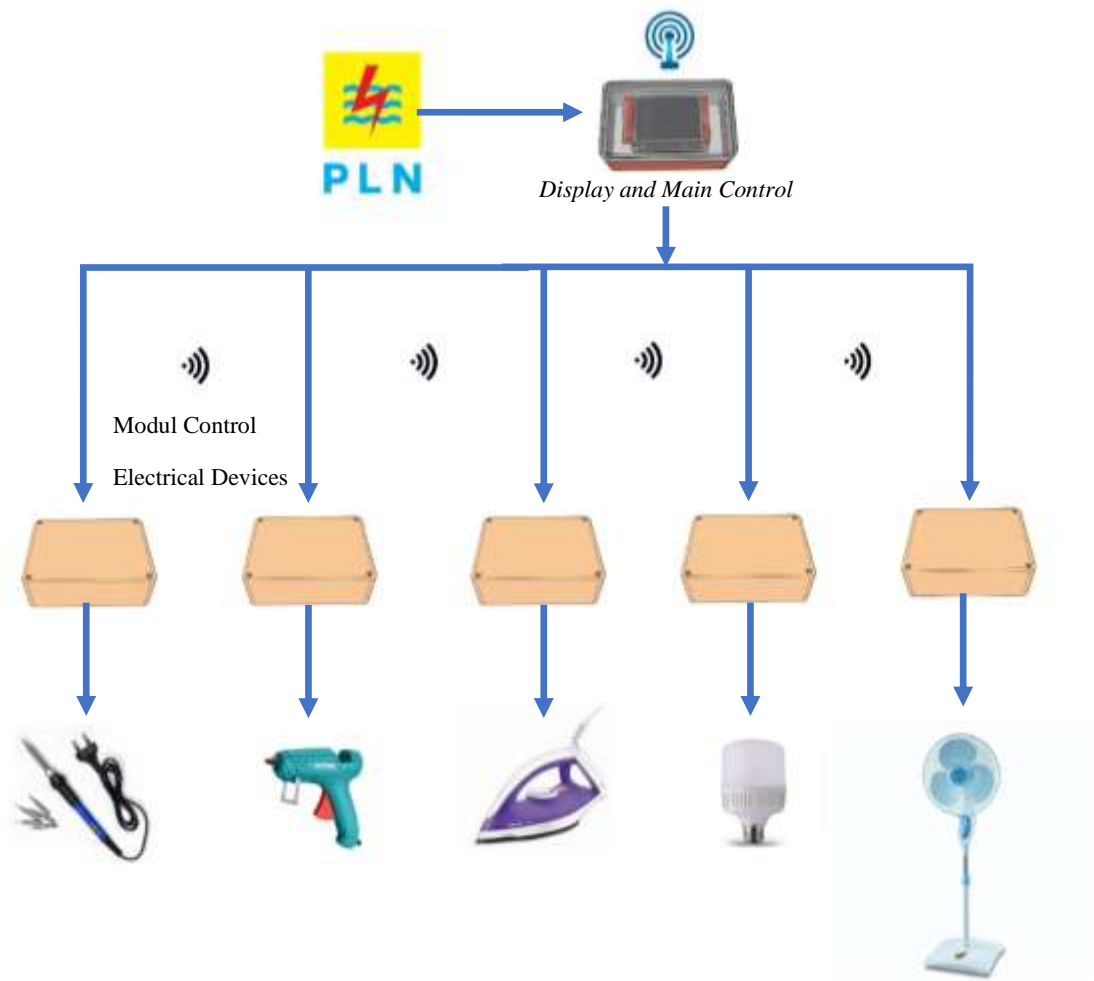
Prototipe ini akan bekerja sebagai perangkat yang akan mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya dan energi listrik yang dihubungkan langsung ke peralatan rumah tangga. Alat ini juga akan mengirimkan data ke perangkat sistem monitoring yang akan menampilkan hasil pengukuran yang terpasang pada peralatan rumah tangga. Komponen sistem pemantauan terdiri dari *NodeMCU* ESP8266, sensor PZEM 004T, dan *solid state relay* (SSR). *NodeMCU* ESP8266 bertindak sebagai mikrokontroler dan pengirim data hasil pengukuran ke sistem monitoring. Sensor PZEM-004T mendeteksi arus, tegangan, daya, faktor daya dan energi listrik pada sistem kendali prioritas optimalisasi daya listrik.

Pada prototipe *Sender* tidak terdapat TFT LCD ILI9341, seperti yang terlihat pada **Gambar 3.4**, yang merupakan rancangan bagian luar pada perangkat sistem prioritas daya listrik. Desain prototipe untuk *Sender* ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3. 5 Desain *Sender* (1), Case *Sender* (2)

Proses pengujian alat, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6**, mencakup beberapa langkah penting. Pertama, dilakukan verifikasi kinerja sensor PZEM-004t untuk memastikan akurasi hasil pengukurannya. Kedua, diuji apakah layar TFT LCD ILI9341 dapat menampilkan data yang telah diukur oleh perangkat prioritas daya dengan benar. Terakhir, dilakukan pengujian akurasi dan tingkat kesalahan (error) dari seluruh sistem saat beroperasi. Berdasarkan **Gambar 3.6**, sistem monitoring prioritas penggunaan daya listrik pada perangkat listrik menunjukkan bagaimana alat prioritas daya terhubung dengan perangkat elektronik dan Wi-Fi. Alat ini berfungsi membaca data listrik seperti arus, tegangan, faktor daya, energi dan daya, lalu mengirimkannya ke alat monitoring yang berada dalam jaringan WiFi yang sama. Setelah data diterima, alat monitor akan menampilkannya.



Gambar 3. 6 Proses Pengujian Prototipe

3.5 Tahap Pengujian

3.5.1 Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian sensor PZEM-004T bertujuan untuk mengevaluasi kinerjanya dalam menerima data arus, tegangan, daya, dan energi dari perangkat elektronik. Proses ini dilakukan dengan membandingkan parameter yang ditampilkan pada multimeter atau data kalibrasi dengan hasil yang terbaca pada sistem monitoring atau data pengukuran. Metode pengujian prototipe ini adalah dengan menghitung persentase kesalahan (error) pada sistem (Prabowo *et al.*, 2023).

$$\%Error\ Arus = \frac{I_{monitor} - I_{kalibrasi}}{I_{kalibrasi}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

$$\%Error\ Tegangan = \frac{V_{monitor} - V_{kalibrasi}}{V_{kalibrasi}} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

$$\%Error\ Daya = \frac{P_{monitor} - P_{kalibrasi}}{P_{kalibrasi}} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

$$\%Total\ Error = \frac{\%Error\ Arus + \%Error\ Tegangan + \%Error\ Daya}{3} \quad (3.4)$$

Berdasarkan persamaan di atas, I_{out} monitor, V_{out} monitor, dan P_{out} monitor arus merupakan tegangan yang terukur oleh sensor PZEM-004, I_{out} kalibrasi, V_{out} kalibrasi dan P_{out} kalibrasi merupakan arus dan tegangan yang ditampilkan saat perangkat listrik diukur dengan multimeter. Setelah pengujian prototipe dilaksanakan, kemudian data pengukuran dari sistem monitoring dan data kalibrasi multimeter akan dijumlahkan untuk mendapatkan persentase eror secara keseluruhan. Pengujian arus pada perangkat ini dilakukan pada beberapa alat elektronik, seperti solder, *glue gun*, setrika, lampu, dan kipas. Pengambilan data dilakukan sebanyak 20 kali dalam interval waktu 7 menit di Laboratorium Workshop Energi, dilakukan pemberian kapasitas maksimum 100 watt dan diimplementasikan ke sumber PLN. Hasil pengujian pembacaan parameter listrik oleh sensor PZEM-004T ditunjukkan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3. 4 Pengujian Sensor PZEM-004T

Waktu Pengujian	Nama Perangkat	V_{out} Monitor	I_{out} Monitor	P_{out} Monitor	V_{out} Kalibrasi	I_{out} Kalibrasi	P_{out} Kalibrasi	%Error
15:05	Solder							
15:05	<i>Glue gun</i>							
15:05	Setrika							
15:05	Lampu							
15:05	Kipas							

3.5.2 Pengujian Delay Protokol ESP-NOW pada Jarak 5-35 m

Pengujian delay protokol komunikasi ESP-NOW pada sistem monitoring daya listrik dan kendali prioritas yang mengintegrasikan PZEM-004T dan ESP8266 bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi dan responsivitas sistem dalam transmisi data krusial. Pengujian ini esensial guna memastikan bahwa informasi daya listrik (tegangan, arus, daya, energi) yang diukur oleh PZEM-004T dapat dikirimkan secara cepat dan akurat melalui ESP-NOW ke unit kendali berbasis ESP8266. perangkat, sehingga meminimalkan latensi yang berpotensi mengganggu stabilitas dan keandalan operasional sistem monitoring dan kendali daya pada perangkat listrik yang akan diimplementasikan pada PLTS (Huda dan Budi, 2023). Pengujian delay protokol komunikasi ESP-NOW ditunjukkan pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3. 5 Pengujian Delay Protokol Komunikasi ESP-NOW

Jarak(m)	Delay Tanpa Beban (s)					Rata rata delay (s)
	Device 1	Device 2	Device 3	Device 4	Device 5	
35						
30						
25						
20						
15						
10						
5						

Pengujian ini dilakukan untuk menilai seberapa cepat device dari protokol komunikasi ESP-NOW menangkap data terukur sejak perangkat dinyalakan, serta mengamati jarak maksimum di mana perangkat masih dapat menampilkan informasi sebelum akhirnya tidak lagi mampu menampilkan data daya listrik.

3.5.3 Pengujian PF terhadap Hasil Pengukuran Sensor PZEM-004T

Pengujian faktor daya (PF) pada sensor PZEM-004T yang terintegrasi dengan ESP8266 menunjukkan adanya korelasi antara nilai faktor daya dan akurasi pengukuran sensor dibandingkan dengan multimeter. Sensor PZEM-004T ini

menampilkan daya aktif dan berhubungan dengan faktor daya, ketika faktor daya mendekati 1 (beban resistif murni atau sangat mendekati), hasil pengukuran dari sensor PZEM-004T konsisten dan memiliki deviasi minimal dari pembacaan multimeter. Namun, saat faktor daya menurun hingga sekitar 0.5 (menunjukkan adanya komponen reaktif yang signifikan pada beban), akurasi pengukuran sensor PZEM-004T menurun drastis, di mana nilai yang ditunjukkan oleh sensor hanya sekitar setengah dari nilai sebenarnya yang terukur oleh multimeter (Ndikade *et al.*, 2022). Metode pengujian ini dengan melakukan pembagian antara daya aktif yang dihasilkan dari pengukuran dan daya semu hasil pengukuran multimeter untuk mendapatkan faktor daya.

$$\cos\phi = \frac{P}{V.I} \quad (3.5)$$

$$\Delta P = P_{\text{monitor}} - P_{\text{multimeter}} \quad (3.6)$$

Dimana P merupakan daya aktif dari hasil pengukuran (watt) dan (V.I) merupakan daya semu yang akan diambil dari hasil pengukuran dan kemudian akan dibandingkan dengan data hasil pengukuran dari multimeter. Pengujian PF terhadap hasil pengukuran sensor PZEM-004T ditunjukkan pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3. 6 Pengujian Pengaruh Faktor Daya

Nama Perangkat	$P_{\text{multimeter}}$ (Watt)	P_{Monitor} (Watt)	ΔP	Faktor Daya
Solder				
<i>Glue gun</i>				
Setrika				
Lampu				
Kipas				

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan terhadap perancangan serta implementasi prototipe sistem monitoring dan kendali prioritas pada perangkat listrik untuk mencegah rugi-rugi daya pada PLTS menggunakan ESP8266 dan sensor PZEM-004T yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Prototipe sistem monitoring dan kendali prioritas berhasil dirancang menggunakan ESP8266 dan sensor PZEM-004T, serta mampu memonitor tegangan, arus, dan daya listrik yang ditampilkan pada layar TFT ILI9341.
2. Penerapan *ESP-NOW* membentuk sistem sender dan receiver dengan akurasi rata-rata 0,19%. Kendali prioritas pada komunikasi *ESP-NOW* bekerja saat daya melebihi batas, sedangkan perangkat tetap menyala jika masih dalam batas.
3. Implementasi protokol *ESP-NOW* mampu mendukung proses pertukaran data dengan baik. Pada hasil pengujian, diketahui bahwa sistem dapat mempertahankan kestabilan pengiriman data pada jarak 5-15meter dan mulai tidak stabil pada jarak 20-35 meter.
4. Faktor daya berpengaruh terhadap akurasi hasil pengukuran. Nilai rendah meningkatkan deviasi, sedangkan mendekati satu lebih presisi, kecuali pada beban fluktuatif seperti setrika bertermostat dan kipas bermotor listrik.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut.

1. Membuat sebuah web monitoring, agar hasil pengukuran bisa ditampilkan tanpa melalui layar monitor saja.
2. Memperbaiki desain prototipe agar lebih sederhana.
3. Menambahkan komponen kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya pada perangkat listrik seperti lampu dan kipas, agar hasil pengukuran sama dengan multimeter.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., dan Windarta, J. (2020). Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Energi Bersih yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(2), 68–77. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10059>
- Bizzy, I. (2020). *Teknologi Tenaga Surya*. Unsri Press. Palembang.
- Boucif, O. H., Lahouaou, A. M., Boubiche, D. E., dan Toral-Cruz, H. (2025). Artificial Intelligence of Things for Solar Energy Monitoring and Control. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(11), 1–57. <https://doi.org/10.3390/app15116019>
- Manullang, B. P., A., Saragih, Y., Hidayat, R (2021). Implementasi NodeMCU Esp8266 Dalam Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Iot. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronika*, 4(2), 163–170. <http://e-journal.stmiklombok.ac.id/index.php/jireISSN.2620-6900>
- Budiyanti, R. T. (2021). *Internet of Things* (1st ed.). CV. Asta Karya Kreatifa Media. Semarang.
- Dahlan, Yuyun, dan Sahibu, S. (2025). Electronic Equipment Power Usage Control and Monitoring System in the Home Internet Of Things (IOT) Based. *Journal of System and Computer Engineering (JSCE)*, 6(1), 90–100. <https://doi.org/10.61628/jsce.v6i1.1613>
- Dahliya, D., Samsurizal, S., dan Pasra, N. (2021). Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin. *SUTET*, 11(2), 71–80. <https://doi.org/10.33322/sutet.v11i2.1551>
- ESDM, Pub. L. 5 Tahun 2025, Kementerian Hukum dan HAM RI .Peraturan .go.id.
- Hartoyo, H., Rosyadi, S., dan Nursusanto, U. (2024). Electrical power monitoring system for solar power plants based on the Internet of Things. *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability*, 8(3), 397–407. <https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v8i3.442>

- Hasnanto, H., Firdaus, dan Setiawan, H. (2023). Penerapan Smart System pada Kajian Elektro dan Pemanfaatannya Bagi Masyarakat. *SHEs: Conference Series*, 6(4), 134–147. <https://jurnal.uns.ac.id/shes>
- Huda, H. W., dan Budi, A. S. (2023). Lokalisasi dalam Ruangan Menggunakan ESP-Now berbasis Wireless Sensor Network Trilateration dengan Model Free Space Path Loss. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 7(6), 3009–3015. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Ilham, M., dan Fithry, N. (2024). Implementasi Internet of Things pada Panel Surya untuk Penggunaan Kompor Induksi. *Jurnal Ampere*, 9(1), 84–90. <https://doi.org/10.31851/ampere>
- Isnianto, H. N., dan Puspitaningrum, E. (2018). Monitoring Tegangan, Arus, Dan Daya Secara Real Time Untuk Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis Pada Jaringan Listrik Satu Fase Berbasis Arduino. *Jurnal Nasional Teknologi Teraoan*, 2(1), 31–36.
- Kustiawan, E. (2018). Meningkatkan Efisiensi Peralatan dengan Menggunakan Solid State Relay (SSR) dalam Pengaturan Suhu Pack Pre-Heating Oven (PHO). *Jurnal STT Yuppentek*, 9(1), 1–6.
- Kusumah, I. M. Y., Jayusman, Y., dan Rijalul Hakim, M. (2023). Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Berbasis IoT Studi Kasus Pembagian Tagihan Listrik Penghuni Kost. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 12(2), 36–52.
- Maulana, E., Rahmadewi, R., dan Santoso, D. B. (2024). Sistem Deteksi Arah Gerak Untuk Penghitung Dan Pemantauan Orang Di Rumah Dengan Protokol Esp-Now. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 8(5), 10362–10369.
- Ndikade, H., Salim, S., dan Abdussamad, S. (2022). Studi Perbaikan Faktor Daya Pada Jaringan Listrik Konsumen Di Kecamatan Katobu Kabupaten Muna. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 52–59.
- Niqotaini, Z., Purnamasari, I., Fauzi, C., Sahria, Y., Dartono, Nursantika, D., Afriliani, I., Prihantoro, C., Christo, P., Wijaya, A., Lutfi, A. A., Mufid, M. R., Marsa, A. R., dan Widiastiwi, Y. (2023). *Rekayasa Perangkat Lunak* (Eri Mardiani, Ed.). PT Penamuda Media.
- Niwanda, A., Elsa, K., Muhammad, A., Putri, R., Ridho, A. S., dan Suandro, M. M. (2025). Analisis Potensi Pemanfaatan Energi Matahari Melalui Panel Surya di Kota Medan. *SOSIAL : Jurnal Ilmiah Pendidikan IPS*, 3(3), 01–11. <https://doi.org/10.62383/sosial.v3i3.967>
- NN Digital. (2019). *Get to know PZEM-004T electronic modules for electrical measurement tools*. Diakses dari: <https://www.nn-digital.com/en/blog/>

2019/08/07/get-to-know-pzem-004t-electronic-modules-for-electrical-measurement-tools/

- Nurjaman, H. B., dan Purnama, T. (2022). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(2), 136–142. <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- Prabowo, Y., Narendro, A., Wisjhnuadji, T., dan Siswanto. (2023). Uji Akurasi Modul KWH Meter Digital PZEM-004T Berbasis Pengendali Digital ESP32. *SKANIKA: Sistem Komputer Dan Teknik Informatika*, 6(1), 85–96.
- Prastyo, O. D., Maulindar, J., dan Nurchim. (2024). Home Electric Power Monitoring System Based on Internet of Things Using the Telegram Application. *International Journal of Information System dan Technology Akreditasi*, 8(2), 139–148.
- Radianto, D. (2023). *Mikrokontroller Esp 32 Aplikasi dan Pemrograman* (1st ed.). Polinema PRESS. Makassar.
- Ramdhani, M. (2005). *Rangkaian Listrik (Revisi)* (1st ed.). Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung.
- Rangkuti, S., Firmansyah, E., dan Khoeri Munandar, L. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Menggunakan Board Sonoff melalui Smartphone Android. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, Dan Elektronika Terapan*, 5(2), 65–74.
- Rauf, R., Ritnawati, Rachim, F., Dahri, A. T., Andre, H., Napitupulu, R. A. M., Dean, C., dan Siagian, P. (2023). *Matahari sebagai Energi Masa Depan: Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)* (Abdul Karim, Ed.; 1st ed.). Yayasan Kita Menulis. Padang.
- Reddy, J. S. (2019). Automatic Digital Control of Electric Iron. *Journal of Emerging Technologies and Innova*, 6(1), 1431–1433. www.jetir.org
- Saifuddin, M. A. H., Djufri, I. A., dan Rahman, M. N. (2018). Analisa Kebutuhan Daya Listrik Terpasang Pada Gedung Kantor Bupati Kabupaten Halmahera Barat. *Jurnal Protek*, 5(1), 49–57.
- Salman, H. M., Pasupuleti, J., dan Sabry, A. H. (2023). Review on Causes of Power Outages and Their Occurrence: Mitigation Strategies. *Sustainability*, 15(20), 1–34. <https://doi.org/10.3390/su152015001>
- Samsurizal, Mauriraya, K. T., Fikri, M., Pasra, N., dan Christiono. (2021). *Buku PLTS* (R. Hidayawanti, Ed.; 1st ed.). Institut Teknologi PLN. Jakarta.
- Satriadi, A., Wahyudi, dan Christiyono, Y. (2019). Perancangan Home Automation Berbasis NodeMCU. *Jurnal Transient*, 8(1), 2685–0206. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>

- Setiaji, N., Sumpena, dan Sugiharto, A. (2022). Analisis Konsumsi Daya dan Distribusi Tenaga Listrik. *Jurnal Teknologi Industri*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.35968/jti.v11i1.884>
- Shafa, H. Z. (2025). *Rancang Bangun Sistem Monitor Daya Listrik dan Prioritas Penggunaan pada Smart Home dengan Sensor PZEM-004T Berbasis Internet of Things*. (Skripsi, Universitas Lampung).
- Syahfitri, A. (2025). Internet of Things (IoT), Sejarah, Teknologi, dan Penerapannya. *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains Dan Informatika*, 3(1), 113–120. <https://doi.org/10.61132/uranus.v3i1.667>
- Taneza, E., dan Firdaus, F. (2025). Smart System untuk Pemantauan dan Optimasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 27(1), 20–32. <https://doi.org/10.14710/transmisi.27.1.20-32>
- Tradacete-Ágreda, M., Santiso-Gómez, E., Rodríguez-Sánchez, F. J., Hueros-Barrios, P. J., Jiménez-Calvo, J. A., dan Santos-Pérez, C. (2024). High-performance IoT Module for *real-time* control and self-diagnose PV panels under working daylight and dark electroluminescence conditions. *Internet of Things (Netherlands)*, 25(1), 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101006>
- Wibowo, A. (2021). *Dasar Perhitungan Instalasi Listrik*. Yayasan Prima Agus Teknik. Semarang.
- Wicaksono, M. F., dan Rahmatya, M. D. (2022). IoT for Residential Monitoring Using ESP8266 and ESP-NOW Protocol. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 8(1), 93–106. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v8i1.23616>
- Winnetou, F. R. (2023). Alat Pengukur Dimensi dan Berat Serta Volumetrik Paket Otomatis Berbasis Arduino. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 5(1), 5130–5143.
- Yadie Erie, Marson Ady Putra, dan Muhammad Zaini Aqmal. (2025). Multifunction Meter 3 Fase Menggunakan Sensor Pzem-004t Berbasis Nodemcu Esp8266. *PoliGrid*, 6(1), 41–49. <https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57>
- Yoeseph, N. M. (2024). Optimalisasi Sistem PLTS Berbasis Internet Of Things (IOT) untuk Meningkatkan Efisiensi dan Keberlanjutan Instalasi Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat. *IJAI (Indonesian Journal of Applied Informatics)*, 9(1), 57–63.

Yuda, P. A., Riyanto, D., dan Habiby, J. S. (2023). Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya dilengkapi Informasi Lokasi. *Digital Transformation Technology*, 3(1), 316–325. <https://doi.org/10.47709/digitech.v3i1.2654>

Yuwono, S., Diharto, D., dan Pratama, N. W. (2021). Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid. *Energi dan Kelistrikan*, 13(2), 161–171. <https://doi.org/10.33322/energi.v13i2.1537>