

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITOR DAYA LISTRIK DAN
PRIORITAS PENGGUNAAN PADA *SMART HOME* DENGAN SENSOR
PZEM-004T BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

(Skripsi)

Oleh

Hanin Zakiyah Shafa

2017041050



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM MONITOR DAYA LISTRIK DAN PRIORITAS PENGGUNAAN PADA *SMART HOME* DENGAN SENSOR PZEM-004T BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Oleh

HANIN ZAKIYAH SHAFIA

Untuk meningkatkan efisiensi energi, penelitian ini merancang sistem monitoring daya listrik dan kendali prioritas yang bergantung pada perangkat smart home berbasis *Internet of Things* (IoT). 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 menggunakan algoritma C4.5 untuk menentukan perangkat rumah tangga mana yang paling penting. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki akurasi 98% dengan *error* 2%, dan sistem dapat mengirim data secara *real-time*. Algoritma C4.5 menunjukkan bahwa pompa air adalah yang paling penting, diikuti oleh kulkas dan penanak nasi. Sistem ini mengurangi risiko overload hingga 40% pada rumah berkapasitas 1300 Watt dan mengoptimalkan penggunaan daya untuk rumah dengan anggota kurang dari empat orang. Hasil penelitian diperoleh bahwa penggunaan listrik yang bijak dan memahami cara efisiensi dalam penggunaan energi dibutuhkan, agar listrik dapat digunakan dengan baik dan tetap aman.

Kata Kunci: IoT, PZEM-004T, *Smart Home*, Algoritma C4.5.

ABSTRACT

DESIGN OF ELECTRIC POWER MONITORING SYSTEM AND PRIORITY OF USE IN SMART HOME WITH PZEM-004T SENSOR BASED ON INTERNET OF THINGS

Oleh

HANIN ZAKIYAH SHAFIA

To improve energy efficiency, this research designs an electrical power monitoring and prioritization control system that relies on Internet of Things (IoT)-based smart home devices. The system consists of PZEM-004T sensor module, NodeMCU ESP8266, and TFT ILI9341 connected via ESP-NOW protocol. The research method includes designing the device, testing the sensors, and analyzing the data using the C4.5 algorithm to determine which household devices are most important. The test results show that the PZEM-004T sensor has 98% accuracy with 2% error, and the system can send data in real-time. The C4.5 algorithm shows that the water pump is the most important, followed by the refrigerator and rice cooker. The system reduces the risk of overload by 40% in 1300 Watt homes and optimizes power usage for homes with less than four members. The results showed that wise use of electricity and understanding how to be efficient in energy use are needed, so that electricity can be used properly and remain safe.

Keywords: IoT, PZEM-004T, Smart Home, C4.5 Algorithm,

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITOR DAYA LISTRIK DAN
PRIORITAS PENGGUNAAN PADA *SMART HOME* DENGAN
SENSOR PZEM-004T BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

Oleh

Hanin Zakiyah Shafa

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika

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



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2025

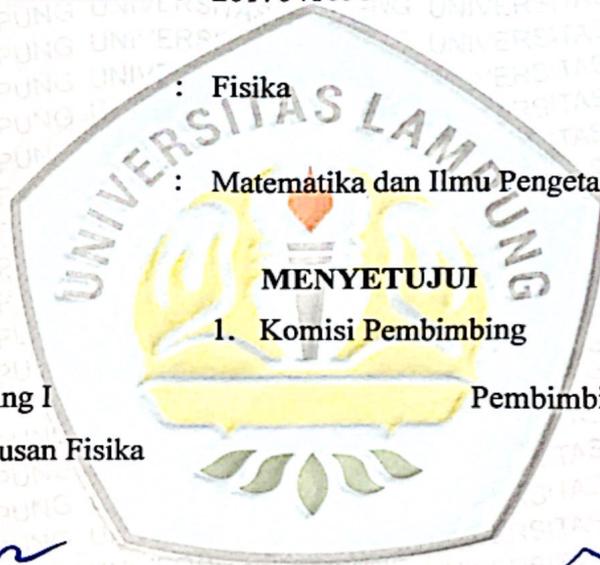
Judul Skripsi : **Rancang Bangun Sistem Monitor Daya Listrik Dan Prioritas Penggunaan Pada *Smart Home* Dengan Sensor PZEM-004T Berbasis *Internet Of Things***

Nama Mahasiswa : Hanin Zakiyah Shafa

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017041050

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

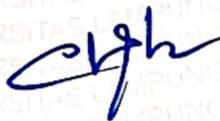


1. Komisi Pembimbing

a.n Pembimbing I

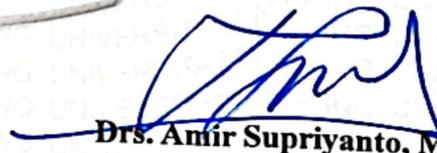
Pembimbing II

Sekretaris Jurusan Fisika



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

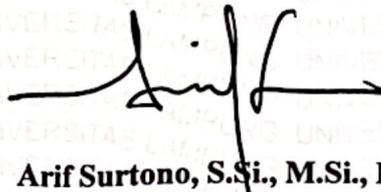
NIP. 199011252019032018



Drs. Amir Supriyanto, M.Si.

NIP. 196504071991111001

2. Ketua Jurusan Fisika



Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.

NIP.197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : Drs. Amir Supriyanto, M.Si



Penguji Bukan : Drs. Syafridi, M.Si.

Pembimbing



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Juni 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hanin Zakiyah Shafa
NPM : 2017041050
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Monitor Daya Listrik Dan Prioritas Penggunaan Pada Smart Home Dengan Sensor PZEM-004T Berbasis Internet Of Things”** adalah benar hasil karya sendiri, baik ide, hasil maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau keseluruhan data di dalam skripsi digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 13 April 2025

Yang Menyatakan



Hanin Zakiyah Shafa
NPM. 2017041050

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Hanin Zakiyah Shafa, lahir di Pringsewu, Kabupaten Pringsewu pada tanggal 6 Mei 2002. Penulis anak pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Herlambang Sunendar dan Ibu Cahyani Wijayanti. Penulis menyelesaikan Pendidikan di SD Muhammadiyah Pringsewu pada tahun 2014, SMP IT Nurul Iman Purworejo pada tahun 2017, dan MA Al-Mushin Metro pada tahun 2020.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Lampung melalui SBMPTN tahun 2020. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis tergabung di Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai anggota Biro Dana dan Usaha pada periode 2020-2021, penulis juga menjadi bagian dari anggota Lembaga Dakwah Kampus Birohmah sebagai anggota biro Media dan Branding pada periode 2022-2023.

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam Tbk, Unit Pengusahaan Briket Lampung pada tahun 2023 dan menyelesaikan laporan PKL dengan judul “ Analisis Penyusutan Massa dan Kelembaban (*Moisture*) Briket Batubara Nonkarbonisasi Pada PT. Bukit Asam Tbk Pengusahaan Briket Unit Lampung”. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I tahun 2023 di Pekon Negeri Ratu Tenumbang, Kecamatan Pesisir Selatan, Kabupaten Pesisir Barat, Lampung. Selain itu penulis pernah menjadi anggota dan asistem peneliti pada penelitian Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) pada tahun 2023 dan 2024.

MOTTO

حَسْبُنَا اللَّهُ وَنِعْمَ الْوَكِيلُ

“Cukuplah Allah (menjadi penolong) dan Dia sebaik-baik pelindung.”

(Q.S Ali Imran (3) : 173)

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

Allah tidak akan membebani seseorang, melainkan sesuai dengan kesanggupannya

(Q.S Al-Baqarah (2) : 216)

"Strive not to be a success, but rather to be of value."

-Albert Einstein-

Kesuksesan akan didapatkan oleh siapa yang tidak menyerah pada kegagalan dan mau belajar lalu mencoba kembali dengan menjadikan kegagalan itu sebagai sebuah pembelajaran

-Hanin Zakiyah Shafa-

PERSEMBAHAN

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

*Bapak Herlambang Sunendar dan Ibu Cahyani
Wijayanti*

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

*Kedua adikku Muzakki Raid Daim Ghani dan
Muhammad Akhtar Alfarisi*

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 2020*

Terimakasih atas kebaikan, kebersamaan dan kenangan yang telah dilalui.

Serta almamater tercinta

“Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Sistem Monitor Daya Listrik Dan Prioritas Penggunaan Pada *Smart Home* dengan Sensor PZEM-004T Berbasis *Internet of Things* (IoT)”** 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 secara *real-time* dan menentukan prioritas penggunaan perangkat elektronik di dalam rumah pintar berbasis *Internet of Things* (IoT).

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 IoT selanjutnya.

Bandar Lampung, 13 April 2025

Penulis

Hanin Zakiyah Shafa

SANWACANA

Alhamdulillahirobbilalamin. Segala puji kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Monitor Daya Listrik Dan Prioritas Penggunaan Pada *Smart Home* dengan Sensor PZEM-004T Berbasis *Internet of Things (IoT)*”**. 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. Amir Supriyanto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan semangat dan dukungan penuh dari awal perkuliahan hingga pengerjaan skripsi kepada penulis.
3. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan arahan, kritik dan saran yang membangun selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. 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 Herlambang Sunenda dan Ibu Cahyani Wijayanti yang telah memberikan kasih sayang yang melimpah, dukungan, dan semangat yang tulus bagi penulis dari kecil hingga saat ini.
8. Kedua Adik penulis, Muzakki Raid Daim Ghani dan Muhammad Akhtar Alfarisi yang telah memberikan doa dan semangat selama pengerjaan skripsi kepada penulis.
9. Teman-teman penulis sejak menengah pertama yaitu Calista Ratna Maharani, Celline Yovita, Qori Fauziah, Rizqytha Al-Fanny, Ulya Ulfa yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis serta menjadi sahabat baik dari menengah pertama hingga kini.
10. Teman – teman dekat penulis, yaitu Mutiara Maharani, Sephia Wulandari, Viona Rosmiati, Lola Febriyana, dan Firdiana Kurniasari yang selalu memberikan dukungan penuh agar dapat menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh teman – teman Jurusan Fisika Angkatan 2020 yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih selalu memberikan semangat dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu telah banyak membantu saya dalam pembuatan alat dalam penelitian skripsi ini senantiasa penulis ucapkan banyak terimakasih.
13. Terakhir, kepada BTS terutama Jeon Jungkook yang memberikan penulis semangat dan dorongan untuk menyelesaikan skripsi dan lulus sebelum mereka kembali dari wajib militernya. Serta lagu-lagu mereka yang selalu menemani penulis saat mengerjakan skripsi sehingga penulis memiliki semangat yang lebih untuk mengerjakan skripsi ini.

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
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	xii
PERNYATAAN.....	xiii
RIWAYAT HIDUP	xiv
MOTTO	xv
PERSEMBAHAN.....	xvi
KATA PENGANTAR.....	xvii
SANWACANA	xviii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	1
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	2
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Daya Listrik.....	8
2.2.2 kWh Meter.....	9

2.2.3	<i>Smart home System</i>	10
2.2.4	<i>Internet of Things (IoT)</i>	10
2.2.5	NodeMCU ESP8266	11
2.2.6	Sensor PZEM-004T	12
2.2.7	<i>ESP-NOW</i>	14
2.2.8	<i>Data mining</i>	15
2.2.9	Algoritma C4.5	17
2.2.10	Aplikasi WEKA (<i>Waikato Environment for Knowledge Analysis</i>)	18

III. METODE PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2	Alat dan Bahan Peneliatan	20
3.2.1	Alat Penelitian	20
3.2.2	Bahan Penelitian.....	21
3.3	Prosedur Penelitian.....	21
3.4	Tahap Perancangan Sistem.....	23
3.4.1	Alat Monitor Daya Listrik.....	24
3.4.2	Alat Kendali Prioritas Daya	25
3.5	Tahap Pengujian.....	27
3.5.1	Pengujian Alat <i>Monitoring</i> Kendali Daya Listrik dan Prioritas Penggunaan Perangkat <i>Smart home</i> Menggunakan Sensor PZEM-400t.....	27
3.5.2	Penentuan Prioritas Penggunaan Perangkat Rumah Tangga...28	

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Sistem Monitor Daya Listrik.....	34
4.1.1	Realisasi Sistem Monitor Daya Listrik	34
4.1.2	Pengujian Sistem Monitor Daya Listrik Penggunaan Perangkat <i>Smart Home</i> Dengan Sensor PZEM-004T Berbasis <i>Internet Of Things</i>	36
4.2	Pengujian Protokol Komunikasi ESP-NOW.....	38
4.3	Penentuan Prioriatas Penggunaan Perangkat Rumah Tangga.....	41

4.3.1	Penentuan Prioritas Penggunaan Perangkat Rumah Tangga Berdasarkan Pengujian Alat Monitor Kendali Daya Listrik ...	41
4.3.2	Pengujian Prioritas Berdasarkan Kuisisioner.....	48

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1	Simpulan.....	52
5.2	Saran.....	53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Prinsip Kerja kWh meter	9
Gambar 2. 2	Konsep Internet of Things	11
Gambar 2. 3	NodeMCU ESP8266.....	12
Gambar 2. 4	Sensor PZEM-004T	13
Gambar 2. 5	ESP-NOW.....	14
Gambar 2. 6	Tampilan Awal Aplikasi WEKA.....	19
Gambar 3. 1	Diagram Alir.....	22
Gambar 3. 2	Diagram Alir Penentuan Pohon Keputusan dengan Alogaritama C4.5	23
Gambar 3. 3	Desain Alat Sistem Pengukuran Daya Listrik	24
Gambar 3. 4	Desain Sistem Monitor	25
Gambar 3. 5	Case Alat Monitor (1), Case Alat Pengukur Daya listrik (2)	26
Gambar 3. 6	Skema Konsep Penggunaan Sistem Monitor Daya Listrik	26
Gambar 4. 1	Struktur Dalam Alat.....	34
Gambar 4. 2	Realisasi Alat.....	34
Gambar 4. 3	Listing Sender ESP-NOW	35

Gambar 4. 4 Listing Receiver ESP-NOW	36
Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Tegangan dan Arus Perangkat Rumah Tangga Pada Sensor PZEM-004T	37
Gambar 4. 6 Grafik Data Pengujian Daya Keluaran Pada Sensor PZEM-004T .	37
Gambar 4. 7 Visualisasi Monitor Setelah pengiriman data dengan ESP-NOW..	39
Gambar 4. 8 Pohon Keputusan Node Pertama Berdasarkan Pengujian Alat Monitor Kendali Prioritas.....	43
Gambar 4. 9 Pohon Keputusan Node Pertama Berdasarkan Pengujian Alat Monitor Kendali Prioritas.....	43
Gambar 4. 10 Pohon Keputusan Node Kedua Berdasarkan Pengujian Alat Monitor Kendali Prioritas.....	45
Gambar 4. 11 Pohon Keputusan Node Kedua Berdasarkan Pengujian Alat Monitor Kendali Prioritas.....	45
Gambar 4. 12 Pohon Keputusan Node Ketiga Berdasarkan Pengujian Alat Monitor Kendali PrioritasPadam.....	46
Gambar 4. 13 Pohon Keputusan Node Ketiga Berdasarkan Pengujian Alat Monitor Kendali Prioritas.....	46
Gambar 4. 14 Visualisasi Pohon Keputusan Pengujian Alat Monitor Kendali Prioritas Menggunakan WEKA Software	47
Gambar 4. 15 Visualisasi Pohon Keputusan Data Kusisioner 15 Rumah Menggunakan WEKA Software.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 PIN Pada Sensor PZEM-004T	13
Tabel 3. 1 Alat Penelitian	20
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian.....	21
Tabel 3. 3 Data Pengukuran Arus dan Tegangan Sensor PZEM-004T.....	28
Tabel 3. 4 Penentuan Pohon Keputusan pada Node Pertama Berdasarkan Pengujian Alat Sistem Kendali Prioritas	29
Tabel 3. 5 Klasifikasi Data mining Algoritma C4.5.....	30
Tabel 3. 6 Penentuan Pohon Keputusan pada Node Pertama Berdasarkan Kuisisioner	30
Tabel 4. 1 Data Pengujian Protokol Komunikasi ESP-NOW	40
Tabel 4. 2 Atribut Data Penentuan Node 1 Pengujian Perangkat Sistem Monitor Kendali Prioritas.....	41
Tabel 4. 3 Penentuan Node Pertama Pohon Keputusan Sistem Monitor Prioritas Penggunaan Daya dengan Algoritma C4.5	42
Tabel 4. 4 Atribut Data Penentuan Node Kedua Pengujian Perangkat Sistem Monitor Kendali Prioritas.....	43
Tabel 4. 5 Penentuan Node Kedua Pohon Keputusan Sistem Monitor Prioritas Penggunaan Daya dengan Algoritma C4.5	44

Tabel 4. 6 Atribut Data Penentuan Node Ketiga Pengujian Perangkat Sistem Monitor Kendali Prioritas.....	45
Tabel 4. 7 Penentuan Node Ketiga Pohon Keputusan Sistem Monitor Prioritas Penggunaan Daya dengan Algoritma C4.5	46
Tabel 4. 8 Data mining dan Klasifikasi Data Algoritma C4.5 Berdasarkan Kuisisioner	48
Tabel 4. 9 Hasil Pengambilan Data Kuisisioner Berdasarkan Atribut Data Algoritma C4.5 pada 15 Rumah.....	49
Tabel 4. 10 Hasil Pengambilan Data Kuisisioner Berdasarkan Atribut Data Algoritma C4.5 pada 15 Rumah.....	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Daya yang dikonsumsi oleh konsumen PLN dari golongan rumah tangga memiliki jumlah yang cukup besar. Berdasarkan Catatan Statistik Ketenagalistrikan tahun 2021 yang dikeluarkan Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, jumlah konsumen listrik PLN mencapai 2.543.980 pelanggan, jumlah ini meningkat 4,49% dari akhir tahun 2020 (Artono dan Susanto, 2019).

Tingginya jumlah penggunaan listrik rumah tangga, juga akan meningkatkan potensi bahaya di lingkungan rumah tangga. Faktor penyebab konsleting dan kebakaran saat ini banyak disebabkan karena penggunaan daya yang melebihi batas secara berulang-ulang sehingga instalasi listrik mengalami kerusakan (Hasrianto et al., 2023). Alat kWh meter disediakan oleh pemerintah Indonesia, agar penggunaan energi listrik pada suatu bangunan atau rumah dapat dihitung dengan alat tersebut. Konsumen diharuskan membayar listrik yang digunakan setiap bulannya, sesuai yang dihitung kWh meter (kWh meter pasca bayar). Namun kWh meter pasca bayar dinilai kurang signifikan dalam mengontrol beban listrik yang digunakan setiap bulannya. Sehingga pemerintah meluncurkan sistem baru yaitu kWh meter pra bayar, dapat mengontrol dan menghemat penggunaan listrik. Namun banyak pengguna yang justru belum bisa mengontrol penggunaan daya listrik sehingga listrik bisa tiba-tiba habis tanpa disadari (Pramartaningthyas dan Rokhim, 2023).

Penggunaan listrik yang saat ini semakin tinggi, listrik juga menjadi salah satu sarana perkembangan teknologi. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya teknologi yang saat ini menggunakan energi listrik, sehingga diperlukan pengendali arus,

selain sebagai faktor penghemat biaya juga dapat menjaga usia pakai alat dan keamanan dalam penggunaan elektronik rumah tangga. *Smart home* merupakan penggunaan teknologi komputer, teknologi komunikasi yang saling terhubung yang bekerja secara otomatis dan dapat dikontrol melalui jarak jauh, sehingga dapat tercipta suasana yang lebih nyaman. Implementasi *smart home* umumnya masih ada yang menggunakan kabel-kabel, dengan seiring berkembangnya teknologi saat ini *smart home* dapat dioperasikan dengan teknologi sensor nirkabel yang lebih mempermudah pemasangan sistem *smart home* (Li dkk., 2018).

Dengan perkembangan *smart home* ini tentu memiliki perangkat pendukung yang diperlukan untuk mendukung sistem rumah cerdas yang nantinya alat penghubung antara rumah cerdas dengan perangkat kendali baik berupa komputer atau *smartphone*. IoT (*Internet Of Things*) dan Sensor dipilih untuk mendeteksi dan mengidentifikasi parameter alat melalui jaringan komunikasi kabel maupun nirkabel sehingga mampu mendapat data yang akurat serta proses kontrol yang dapat dilakukan secara *real time* (Hidayatullah & Juliando, 2017).

Internet of Things (IoT) adalah perangkat fisik dan virtual yang saling terhubung, berkomunikasi satu sama lain dan terintegrasi dalam jaringan untuk tujuan tertentu. Penggunaan IoT pada suatu perangkat dapat membantu *memonitoring* suatu peristiwa secara otomatis atau tanpa campur tangan manusia secara langsung. Koneksi Internet yang selalu aktif banyak digunakan dan merupakan konsep *Internet of Things*. Penggunaan teknologi IoT memerlukan koneksi internet yang kuat dan keterampilan yang memadai. Penerapan IoT harus dioptimalkan di segala bidang kehidupan (Lasera dan Wahyudi, 2020).

Disisi lain kebutuhan listrik saat ini sangat besar, kebutuhan energi listrik yang meningkat diakibatkan oleh para konsumen yang tidak efisien dalam penggunaan energi listrik. Hal ini juga dapat memicu penggunaan listrik rumah yang cukup tinggi sehingga terjadi pemborosan. Pemborosan terjadi ketika suatu alat yang mengonsumsi energi listrik dibiarkan bekerja terus menerus dan tidak digunakan secara efisien. Dengan demikian dibutuhkan alat yang dapat membantu untuk menunjang perilaku hemat energi, dan alat yang dapat *memonitoring* penggunaan

listrik (Suryaningsih dkk., 2016). Teknologi IoT (*Internet of Thing*) dapat membantu mempermudah monitoring penggunaan peralatan listrik dalam rumah dari jarak jauh.

Selama ini penggunaan daya listrik di rumah tangga hanya dapat dilihat dari alat ukur kWh meter yang didistribusikan oleh PLN. Penggunaan alat tersebut pada dasarnya tidak memberikan informasi tentang seberapa besar daya listrik yang digunakan secara *real-time*. kWh meter hanya dapat menunjukkan daya yang terpakai secara kumulatif. Oleh karena itu dibutuhkan alat yang dapat memperlihatkan penggunaan daya listrik secara *real-time* sekaligus memberikan efisiensi pada penggunaan daya listrik tersebut (Pangestu dkk., 2019).

Konsep alat monitor daya berupa alat yang akan membantu masyarakat dapat sikap hemat energi listrik dengan menampilkan penggunaan daya listrik dari meningkatkan efisiensi konsumsi energi listrik pada perangkat elektronik prioritas yang digunakan dalam rumah. Sistem kendali ini dapat membaca besar tegangan, arus, daya serta yang digunakan secara *real-time*. Jika terjadi arus pendek atau gangguan pada arus listrik yang melebihi batas yang telah diatur pada mikrokontroler, maka relay akan memutus arus pada perangkat elektronik yang tidak prioritas. Dengan tegangan, arus, dan daya yang didapatkan dari *monitoring* alat ini, maka akan didapatkan besar kWh serta biaya yang dikeluarkan selama penggunaan perangkat elektronik prioritas tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang hanya mendapatkan tegangan, arus, dan daya, maka penulis akan merancang sistem kendali prioritas penggunaan perangkat *smart home* untuk efisiensi daya listrik berbasis *Internet of Things*. Dengan menggunakan perbaruan data dan perangkat yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dan mengonversi daya listrik yang ditampilkan pada perangkat ke bentuk kWh.

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 perangkat sistem monitor daya listrik yang dapat membaca besar penggunaan daya pada *smart home* yang dapat terkoneksi antar alat ke dalam satu monitor berbasis *Internet of Things* (IoT)?
2. Bagaimana hasil penerapan protokol komunikasi ESP-NOW pada sistem monitor daya listrik?
3. Bagaimana hasil penentuan prioritas penggunaan perangkat rumah tangga dengan algoritma C4.5 berdasarkan data pengukuran dan kuisisioner?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui cara membuat perangkat sistem monitor daya listrik yang dapat membaca besar penggunaan daya pada *smart home* yang dapat terkoneksi antar alat ke dalam satu monitor berbasis *Internet of Things* (IoT).
2. Mengetahui hasil penerapan protokol komunikasi ESP-NOW pada sistem monitor daya listrik.
3. Mengetahui hasil prioritas penggunaan perangkat rumah tangga dengan algoritma C4.5 berdasarkan data pengukuran dan kuisisioner.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mampu membuat perangkat *monitoring* dan kendali daya listrik berbasis *Internet of Things* (IoT);
2. Mampu membuat sistem perangkat tanpa kabel yang dapat menampilkan besar penggunaan energi listrik;
3. Mampu mengelola prioritas penggunaan daya listrik pada perangkat elektronik rumah tangga secara efisien dengan algoritma C4.5.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2024 hingga Februari 2025
2. Penelitian dilakukan di laboratorium Elektronika dasar Jurusan Fisika Universitas Lampung.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah NodeMCUESP8266.
4. Bahasa pemrograman yang digunakan pada mikrokontroler Arduino Uno adalah bahasa pemrograman C dengan *software* Arduino IDE. Yang diprogram dengan *hardware* Dell Latitude E5440
5. Arus, Tegangan dan Daya ditampilkan pada *Display* dengan tipe LCD TFT ILI9341
6. Penelitian ini hanya berfokus pada sistem monitor nirkabel yang dapat digunakan untuk perangkat elektronik rumah tangga dengan, PZEM-004T pada perangkat pengukurannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini merupakan pengembangan dari beberapa penelitian sebelumnya. 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. Sebelumnya penelitian dilakukan oleh Pangestu dkk, (2019) mengenai sistem *monitoring* beban listrik menggunakan Arduino dan ESP8266, penelitian ini menggunakan beban sebesar 220V sebagai beban pengujian. Dari pengujian alat *monitoring* beban listrik dengan menggunakan beban induktif berupa lampu LED 15 watt sebanyak 2 buah dan beban resistif berupa setrika listrik 350 Watt yang diset pada titik panas maksimum, alat bekerja dengan baik dan mampu membaca besaran arus dan daya yang digunakan pada saat pengkondisian ON terhadap beban induktif dan beban resistif, dan tingkat akurasi dari alat dalam membaca berkisar 96% sampai dengan 99% (Pangestu et al., 2019).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Putra dan Mukhaiyar, (2020) yang membuat alat *monitoring* daya listrik secara *real time*. Hasil dari penelitian ini adalah alat berupa prototype sistem *monitoring* daya listrik serta proteksi pada daya listrik. Dengan Alat tersebut dapat terlihat penggunaan arus dan tegangan, serta setiap ruangan mendapatkan batas pemakaian daya sebesar 440 Watt, jika melebihi batas penggunaan sistem akan secara otomatis mematikan stop kontak. Pada pengujian sensor arus masih terdapat eror pengukuran yang cukup besar yakni pada saat diuji menggunakan lampu philips terjadi nilai eror pengukuran sebesar 21,4%. Dan peneliti juga menyimpulkan bahwa sensor ACS712 belum dapat berfungsi secara maksimal (Putra dan Mukhaiyar, 2020).

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Pratika dkk., (2021) yang melakukan perancangan perangkat *monitoring* daya listrik yang mampu mengontrol serta *memonitoring* alat elektronik dan penggunaan daya melalui android. *Controlling* dilakukan dengan menggunakan saklar utama pada perangkat yang dirancang dan tombol yang ada pada aplikasi android, kemudian pada penelitian ini juga dapat memantau tegangan (V), arus (A), dan daya (W) pada alat elektronik secara *real-time* menggunakan android. Pada pengujian sistem *controlling* diperoleh dari pengujian dengan menghubungkan catu daya AC dengan perangkat elektronik, kemudian dilakukan juga pengujian relay yang mendapatkan hasil pada 4 kali pengujian fungsi relay dan saklar utama berhasil guna mematikan dan menghidupkan perangkat elektronik. Berikutnya dilakukan pengujian sistem *Monitoring* pada pembacaan arus dipengujian *monitoring* arus (A) yang dihasilkan belum sesuai dengan yang diinginkan sehingga perlu adanya penyesuaian agar penghitungan daya (W) yang dihasilkan lebih baik (Pratika et al., 2021)

Penelitian yang dilakukan oleh Jokanan dkk, (2022) penelitian yang dilakukan adalah rancang bangun alat *monitoring* yang dapat membaca nilai tegangan, arus, daya serta menampilkan energi listrik yang digunakan dalam bentuk kWh beserta estimasi biaya yang dibutuhkan saat menggunakan perangkat elektronik. Hasil penelitian pada sensor yang dilakukan sebanyak 10 kali menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran tegangan dengan rata-rata error sebesar 0,35%, pada pengukuran arus memiliki error rata-rata 6,7%, sedangkan pada pengukuran daya error rata-rata sebesar 6,6% dan pada pengukuran energi yang dihasilkan dengan pengujian selama 5 menit pada masing-masing beban menunjukkan tingkat kesalahan dengan error rata-rata sebesar 7,8%. Berdasarkan besar nilai error rata-rata tegangan dan arus perangkat ini dapat dikatakan berkerja dengan baik, karena nilai error tegangan dan arusnya masih tergolong kecil (Jokanan et al., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Rachman dkk., (2023) penelitian yang dilakukan adalah membuat rancang bangun sistem *monitoring* daya listrik berbasis IoT menggunakan arduino mega pro 2560 dan ESP8266-01. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa alat ini mampu mengukur besaran arus dan daya listrik dengan

akurat, serta menyajikan hasil pengukurannya secara realtime melalui web dan aplikasi Blynk. Rachman dkk menggunakan beberapa alat elektronik untuk menguji alat. Data yang masuk pada aplikasi sesuai dengan data yang diukur menggunakan multimeter (Rachman et al., 2023).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Daya Listrik

Daya listrik disebut juga sebagai hantaran energi listrik yang dikeluarkan agar rangkaian listrik dapat menghasilkan usaha atau bekerja. Biasanya daya listrik juga digambarkan sebagai laju energi yang dibutuhkan. Daya listrik dapat didapatkan dengan persamaan

$$P = V \cdot i \quad (2.1)$$

dengan P sebagai daya listrik (watt) yang dicari dengan mengalikan V dan i . dengan V adalah tegangan listrik (volt), dan i adalah arus listrik yang mengalir (Ampere) (Hartono, 2023).

Daya listrik dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

a. Daya aktif (P)

Daya aktif merupakan daya yang biasanya digunakan oleh konsumen listrik sehari-hari pada berbagai peralatan rumah tangga yang digunakan. Daya aktif juga merupakan daya yang dihitung PLN dan pengguna harus membayar berdasarkan kebutuhan listrik yang digunakan, energi yang telah digunakan diukur menggunakan kWh meter, berdasarkan lama pemakaian energi listrik tersebut daya aktif dapat dituliskan dengan persamaan :

$$P = V \cdot i \cdot \cos\varphi \quad (2.2)$$

b. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang tidak termanfaatkan oleh konsumen, namun daya reaktif hanya ada pada jaringan listrik. Daya reaktif timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif. Daya reaktif dibagi menjadi dua yaitu daya reaktif panas dan daya reaktif mekanik. Persamaan daya reaktif adalah sebagai berikut

$$Q = V \cdot i \cdot \sin\varphi \text{ atau } = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.1)$$

c. Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya yang dibangkitkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik atau nilai tenaga listrik yang dihasilkan melalui perantara dan merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantarnya. Daya semu terdiri dari daya aktif dan daya reaktif.

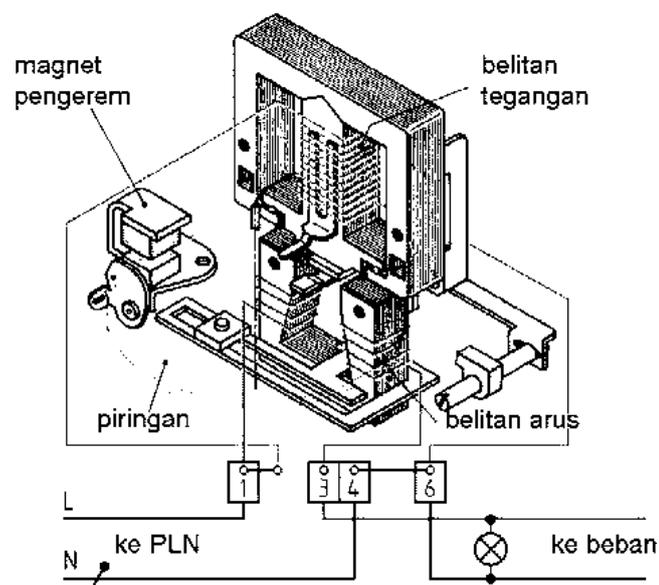
$$S = V \cdot i = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.2)$$

(Toba et al., 2023).

2.2.2 kWh Meter

Kilowatt-hour meter (kWh) adalah alat untuk mengukur transaksi energi dan harus disetujui oleh pelanggan dan perusahaan yang bersangkutan serta diverifikasi oleh pemerintah. Jika ada kesalahan dalam pengukuran, pelanggan dapat mengklaim perusahaan listrik yang menyediakan layanan tersebut. Pada hakikatnya, meteran ini mengukur jumlah energi yang telah digunakan oleh pelanggan (Roid dkk., 2023).

Pada kWh meter, komponen utama terdiri dari kumparan tegangan, kumparan arus, piringan aluminium, magnet yang menetralkan induksi medannya di piringan aluminium, dan gear mekanik yang digunakan untuk merekam putaran.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja kWh meter
(<https://images.app.goo.gl/xtnn1GHMf1TMs8um7>)

Pada KWh meter, kumparan tegangan dan kumparan arus terhubung secara paralel terhadap beban kWh meter, yang harus disepakati antara pelanggan dan perusahaan listrik serta diverifikasi oleh pemerintah setempat, adalah alat yang sangat penting dalam industri listrik karena dapat mengukur penggunaan energi. KWH meter digital menggunakan teknologi elektronik yang telah diprogram sebelumnya. KWH meter analog, atau biasanya disebut sebagai KWH meter mekanik, bekerja dengan roda putar yang dihubungkan ke pengukur yang mengukur jumlah listrik yang digunakan dan penunjuk yang menunjukkan harga yang harus dibayar oleh pelanggan (Kale et al., 2024).

2.2.3 Smart home System

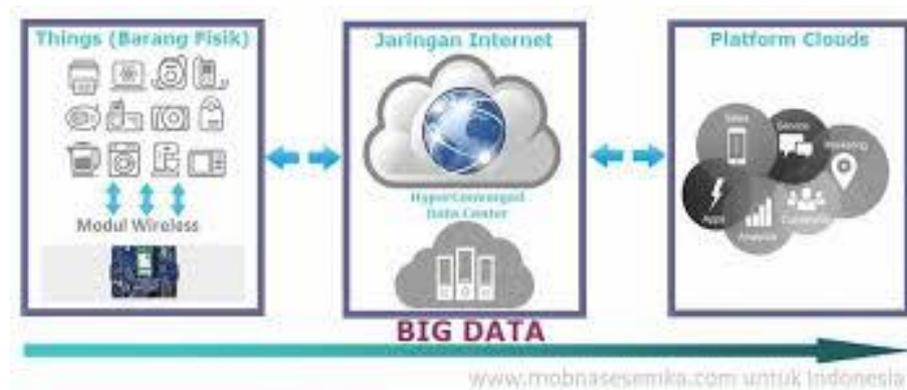
Smart home merupakan salah satu cabang dari *ubiquitous and pervasive computing*. *Smart home* selalu berkaitan dengan kecerdasan buatan yang digunakan untuk meningkatkan fungsi, kenyamanan, keamanan serta penghematan energi dalam suatu rumah. *Smart home* akan menawarkan kualitas hidup yang lebih mudah bagi penggunanya, karena sistem *smart home* mengenalkan sistem otomatis pada penggunaan alat-alat rumah tangga. *Smart home* merupakan sebuah panduan dari jaringan komunikasi yang terhubung ke perangkat rumah dan memungkinkan untuk dikontrol, *dimonitoring* dan diakses dari mana pun dan kapanpun (Artono dan Susanto, 2019)

2.2.4 Internet of Things (IoT)

Ide tentang *Internet of Things* (IoT) pertama muncul dari Kevin Ashton pada tahun 1999. Saat ini banyak perusahaan besar yang mulai mendalami *Internet of Things* (IoT). Kevin Ashton menjelaskan bahwa Iot adalah sebuah gagasan dimana semua benda di dunia nyata dapat berkomunikasi satu dengan yang lain sebagai bagian dari suatu kesatuan sistem terpadu dengan jaringan internet yang terhubung (Rachma dan Salam, 2022) dikemukakan adalah struktur dimana objek, orang disediakan dengan identitas eksklusif dan kemampuan untuk memindahkan data melalui jaringan tanpa memerlukan hubungan dua arah seperti manusia ke

manusia, namun akan langsung ke sumber tujuan atau akan terjadi interaksi manusia ke komputer. (Burange dan Misalkar, 2015).

Konsep *Internet of Thing* (IoT) mencakup 3 elemen utama yaitu: benda fisik yang telah diintegrasikan pada modul sensor, koneksi internet, dan pusat data pada server untuk menyimpan data atau informasi dari aplikasi. Pengguna benda terkoneksi dengan internet, yang akan menghimpun data yang terkumpul menjadi ‘*Big data*’ kemudian diolah dan dianalisis oleh perusahaan atau pemerintah dan dimanfaatkan bagi kepentingan masing-masing

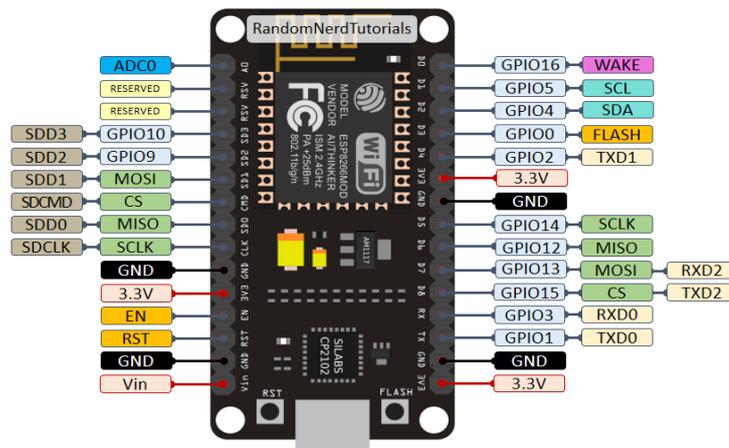


Gambar 2. 2 Konsep Internet of Things (Setiadi dan Abdul Muhaemin, 2018)

2.2.5 NodeMCU ESP8266

NodeMCU memiliki port micro usb yang dapat digunakan untuk memprogram dan menyalakannya. Pada dasarnya, NodeMCU adalah modifikasi dari ESP8266 dengan firmware berbasis Lua. NodeMCU bergabung dengan paket ESP8266 dan memiliki dua tombol push button yang berfungsi sebagai tombol reset dan flash. Karena memiliki susunan logika pemrograman yang sama, NodeMCU dan Bahasa Lua juga disupport oleh software IDE Arduino. Sintaksnya adalah satu-satunya perbedaan. Jika Anda menggunakan NodeMCU di Arduino IDE, Anda harus mengubah manajer boardnya. NodeMCU adalah platform IoT open source. Untuk digunakan di board Arduino, board harus diflash terlebih dahulu agar dapat berfungsi dengan alat yang digunakan. Pengembangan kit ini didasarkan pada perangkat ESP8266 yang saling terintegrasi, dan semuanya terangkai dalam satu board antara GPIO, PWM, I2C, dan ADC (Analog to Digital Converter). Skema

IDE Arduino membantu programmer membuat prototipe produk IoT. (Hidayat dan Sari, 2021).



Gambar 2.3 NodeMCU ESP8266
(<https://images.app.goo.gl/t7bn7KVJSQGSQ7gS8>)

Saat ini, NodeMCU telah diupgrade tiga kali. Perangkat yang sering digunakan saat ini adalah NodeMCU versi ketiga (V1.0), yang memiliki lebih banyak kemampuan daripada versi sebelumnya. NodeMCU memiliki 17 Pin GPIO (General Input/Output) atau pin generik yang digunakan membaca input dan mengontrol output sesuai dengan kondisi yang berbeda, yang dapat diintegrasikan dengan komponen elektronik lainnya. NodeMCU V1 bekerja pada tegangan 3.3 v–5 v, konsumsi daya 10uA–170mA, kecepatan prosessor 80–160 MHZ, dan RAM 32KB+80KB dengan flash memory hingga 16 MB. Ini membuatnya lebih efisien daripada versi sebelumnya (Manullang et al., 2021).

2.2.6 Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul elektronik yang dapat mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energi, dan faktor daya. Sensor ini cocok untuk digunakan untuk proyek maupun eksperimen alat pengukur daya pada jaringan listrik seperti rumah atau gedung karena fungsinya yang lengkap. Produser Peacefair membuat modul PZEM-004T dengan kapasitas 10 ampere dan 100 ampere. PZEM-004T adalah sensor aktif yang bisa dihubungkan ke NodeMCU dan platform *open-source*

lainnya. Papan PZEM-004T berukuran 3,1 x 7,4 cm secara fisik, dan dilengkapi dengan kumparan trafo arus berdiameter 3 mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal 100A. Dengan menghubungkannya ke sumber tegangan AC, modul sensor PZEM-004T dapat mengukur nilai daya dan energi listrik, seperti yang dinyatakan dalam datasheetnya (Ibrahim dan Yulianti, 2022). PZEM-004T memiliki 7 pin berikut pin beserta keterangan

Tabel 2.1 PIN Pada Sensor PZEM-004T

PIN	Keterangan
GND	Ground (Terhubung pada mikrokontroler)
TX	Transmit (Mengirim)
RX	Receive (Menerima)
VCC	VCC 5V DC (Terhubung pada mikrokontroler)
CT	Current Tranformer (Split Core)
N	Netral (220 V AC)
L	Fasa (220 VAC)

Karena komunikasi serial TTL, modul PZEM-004T sangat mudah digunakan dalam pemrograman dengan berbagai jenis board mikrokontroler, seperti Arduino, ESP8266, STM32, WeMos, NodeMCU, dan Raspberry Pi, antara lain. Sangat penting untuk diingat bahwa protokol yang digunakan untuk PZEM-004T V2.0 dan PZEM-004T V3.0 berbeda, dan library dan pemograman yang digunakan untuk masing-masing versi juga berbeda. Tidak sedikit orang yang mengira bahwa modul PZEM-004T rusak atau tidak berfungsi karena mereka tidak tahu atau menggunakan library yang tidak sesuai (Ramadhani et al., 2023).

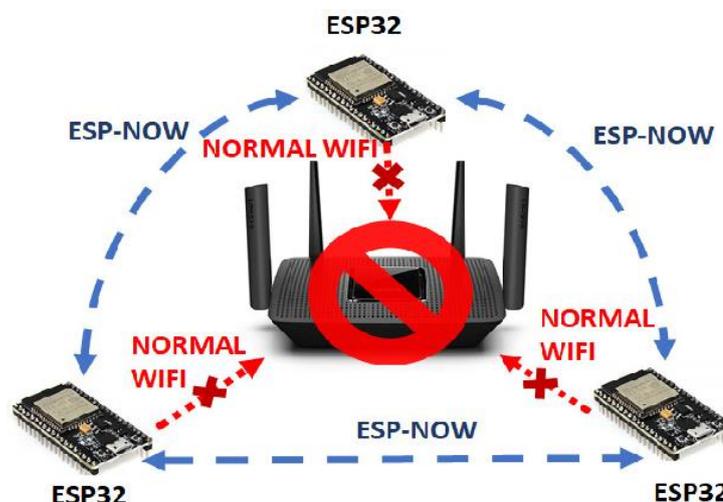


Gambar 2. 4 Sensor PZEM-004T (<https://images.app.goo.gl/AqPgESrYJ6tuf3yA7>)

2.2.7 ESP-NOW

ESP-NOW adalah protokol komunikasi yang dikembangkan oleh Espressif yang hanya dapat digunakan untuk perangkat ESP saja. Komunikasi ini dilakukan tanpa adanya kabel yang terhubung antar perangkat ESP (*Nirkabel*), atau adanya sambungan dengan perangkat WiFi. Protokol ini bekerja seperti protokol komunikasi 2.4Ghz yang umumnya ditemukan pada perangkat komputer dan mouse, yaitu dilakukan pairing antar perangkat. *ESP-NOW* memiliki jangkauan yang cukup jauh untuk mengirimkan data yaitu mencapai jarak 76 m. Untuk menilai jangkauan efektif *ESP-NOW* di ruang luar (Rizqullah dkk., 2023). Pengiriman data dengan latensi rendah, konsumsi daya rendah, dan tahan interferensi dapat dicapai berkat fitur-fitur protokol ini. Dengan *ESP-NOW*, Anda dapat dengan mudah menambahkan jenis atau jumlah node yang Anda inginkan tanpa mengubah apa pun (Adolfo dan Budi, 2023).

Terdapat dua metode siaran pada *ESP-NOW*, yakni unicast dan multicast, dengan kecepatan transfer data yang mampu mencapai 1 Mbps atau lebih. Selain itu, *ESP-NOW* juga mendukung metode komunikasi terenkripsi, memungkinkan pengiriman data dalam jumlah besar hingga 250 byte per payload dalam waktu singkat. Protokol ini dirancang khusus untuk digunakan dengan modul ESP8266 dan ESP32 yang diproduksi oleh Espressif (Anjasmoro dkk., 2024).



Gambar 2. 5 ESP-NOW (<https://images.app.goo.gl/K8aMooYonZshQ8qj8>)

2.2.8 *Data mining*

Istilah *data mining* mulai populer dikalangan pengguna database pada tahun 1990-an. Namun, teori dan metode dasar dari *data mining* sudah ada jauh sebelum era 90. Perkembangan awal *data mining* dimulai pada tahun 1763 ketika Thomas Bayes mempublikasikan Teorema Bayes. Teori ini sangat penting dalam *data mining*, karena memungkinkan estimasi kejadian yang sudah berlangsung. Kemudian pada tahun 1805 berkembang juga teori regresi yang mempelajari hubungan antar variabel. Perkembangan *data mining* terus terjadi hingga saat ini baik dalam segi perangkat keras maupun algoritma yang digunakan dalam pengolahan *data mining* (Syam dkk, 2024).

Data mining adalah metode yang dapat digunakan oleh para penggunanya untuk mengakses data yang besar dalam waktu yang relatif cepat. *Data mining* juga dapat diartikan sebagai sebuah aplikasi atau alat yang didalamnya menggunakan analisis statistik pada data melalui suatu proses ekstraksi atau penggalian data dan informasi yang belum diketahui sebelumnya. *Data mining* masuk dalam beberapa bagian disiplin ilmu, seperti *artificial intelligence* (kecerdasan buatan), *information system* (sistem informasi), statistik, *machine learning*, *management science*, dan database. Pada dasarnya *data mining* memiliki tujuh fungsi dasar berikut beberapa fungsi dasar *data mining*.

a. *Prediction* (Prediksi)

Prediksi merupakan proses untuk menemukan pola pada sebuah data menggunakan analisis regresi untuk menemukan data yang tidak tersedia.

b. *Sequencing* (Sekuesnsi)

Sekuensi adalah bentuk jamak dari asosiasi yang berfungsi sebagai proses menentukan hubungan yang berbeda dari kumpulan data tersebut.

c. *Classification* (klasifikasi)

Klasifikasi berfungsi untuk menyimpulkan beberapa definisi karakteristik pada suatu grup atau kelompok atau dapat dikatakan sebagai suatu tindakan untuk memberikan kelompok pada setiap keadaan dimana setiap keadaan berupa sekelompok atribut, salah satunya adalah *class attribute*. Hal ini sangat

dibutuhkan untuk dapat ditentukannya sebuah model dapat yang menjelaskan *class attribute* tersebut berfungsi sebagai *input attribute*.

d. *Association* (asosiasi)

Asosiasi merupakan identifikasi hubungan dari kejadian-kejadian yang telah terjadi pada waktu yang dilakukan dengan menyimpulkan definisi karakteristik suatu data.

e. *Clustering* (pengelompokan)

Dalam proses identifikasi kelompok alami dari buah kasus yang didasarkan pada sebuah kelompok atribut, clustering, juga disebut sebagai *segmentation*, sangat bermanfaat. Proses ini mengelompokkan data yang memiliki kesamaan atribut.

f. *Forecasting*,

Salah satu fungsi *data mining* adalah forecasting yang bertujuan untuk memperkirakan hasil data dimasa depan dengan menggunakan pola yang ditemukan dalam kumpulan data yang besar.

g. *Description* (deskripsi)

Pada *data mining*, fungsi deskripsi membantu memahami lebih jauh karakteristik utama data dengan mencari pola tertentu yang tersembunyi. Dengan kata lain, jika ada pola berulang dan nilai dalam data, karakteristik data dapat diketahui (Syam dkk., 2024).

Dalam menggunakan *data mining* tentu terdapat proses dan teknik yang harus terlibat didalamnya, proses *data mining* pada umumnya terdiri dari beberapa langkah utama, sebagai berikut:

1. Pengumpulan data: proses yang dilakukan dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber, baik berupa sumber yang terstruktur (seperti database) atau tidak terstruktur (seperti teks atau gambar).
2. Persiapan data: Proses ini dilakukan dengan memformat atau merapihkan data agar siap dianalisis.
3. Eksplorasi data: merupakan proses menganalisis data secara keseluruhan untuk dapat memahami karakteristik dan pola yang ada.
4. Modeling: proses menerapkan berbagai algoritma untuk menentukan pola dan hubungan dalam data.

5. Evaluasi dan Validasi: adalah proses mengukur sejauh mana model yang telah dibangun untuk memprediksi atau menjelaskan data yang ada. Proses ini mencakup pengujian akurasi model dan penyesuaian jika diperlukan (Ardilla et al., 2021).

2.2.9 Algoritma C4.5

Banyak algoritma yang dapat digunakan untuk membentuk pohon keputusan, salah satunya adalah algoritma C4.5. Algoritma C4.5 adalah algoritma yang dikembangkan dari algoritma *Intrative Dichotomiser 3* (ID3) yang dikembangkan oleh J Ross Quinlan. Algoritma C4.5 merupakan teknik pohon keputusan yang sering digunakan karena memiliki beberapa keunggulan. Algoritma C4.5 dapat mengelolah data *numeric* (kontinyu) dan *diskret*, dapat menangani nilai atribut yang hilang, algoritma ini juga dapat menghasilkan aturan-aturan yang mudah diinterpretasikan dan tercepat diantara algoritma lainnya. Hasil dari proses klasifikasi algoritma C4.5 berupa aturan yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai atribut bertipe *diskret* dari *record* yang baru. Algoritma C4.5 bekerja dengan cara menghitung nilai *entropy* dan *gain* untuk dapat menentukan node atau cabang pada pohon keputusan, atribut dengan nilai *gain* tertinggi akan dijadikan akar utama pada pohon keputusan. Untuk mendapatkan nilai *Gain* harus ditentukan terlebih dulu nilai *Entropy*

$$Entropy(S) = - \sum_{i=1}^n p_i \times \log_2 p_i \quad (2.1)$$

Dimana :

S : Himpunan Kasus

N : Jumlah pertisi dalam S

p_i : Proporsi S_i terhadap S

nilai *entropy* disebut sebagai nilai ketidakpastian dalam suatu himpunan data. Dalam konteks klasifikasi, *entropy* mengukur seberapa bercampurnya *class* dalam suatu subdata. Nilai *entropy* harus ditentukan untuk dapat menentukan nilai *Gain*

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} \times Entropy(S_i) \quad (2.2)$$

Dimana :

S : Himpunan Kasus

A : Atribut

N : Jumlah partisi dalam S

$|S_i|$: Jumlah kasus pada partisi ke- i

$|S|$: Jumlah kasus dalam S

Gain mengukur seberapa efektif suatu atribut dalam memisahkan sampel ke dalam kelas-kelas yang berbeda *Gain* dihitung dengan membandingkan *entropy* sebelum dan setelah pemisahan dilakukan (Yendrizar, 2022).

2.2.10 Aplikasi WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*)

WEKA merupakan suatu *open source software* yang berisi implementasi metode-metode *data mining*. WEKA dikembangkan oleh Universitas Waikato, Slandia Baru menggunakan bahasa pemrograman Java. WEKA memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan perangkat lunak *data mining* lainnya. Pengguna WEKA dapat menggunakan aplikasi berlisensi GNU (*General Public License*) yang artinya WEKA dapat diakses secara gratis. Penggunaan bahasa Java dalam pengembangan WEKA menyebabkan WEKA dapat diinstal pada hampir semua sistem operasi modern, selama sistem tersebut mendukung *Java Virtual Machine*. WEKA dapat mengelolah berbagai algoritma *data mining*, mulai dari pemrosesan awal sampai pemodelan data, sehingga mempermudah penggunaanya dalam menganalisis data. Apabila algoritma yang akan digunakan tidak tersedia pada WEKA, pengguna dapat menambahkan algoritma tersebut melalui bahasa pemrograman Java. Yang artinya WEKA memberikan akses bagi penggunaannya untuk dapat menambahkan algoritma yang dibutuhkan. Penggunaan WEKA juga tergolong cukup mudah dibandingkan dengan beberapa aplikasi *data mining* lainnya.



Gambar 2. 6 Tampilan Awal Aplikasi WEKA (Adinugroho dan Sari, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan bulan Agustus 2024. 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 Elektronika Dasar, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Pengujian alat dilakukan di daerah Pringsewu Barat, Kabupaten Pringsewu, Lampung. Penelitian dilakukan dari bulan Desember 2024 sampai dengan Februari 2025.

3.2 Alat dan Bahan Peneliatan

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 dapat ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Alat Penelitian

No.	Alat Penelitian	Fungsi
1	Laptop Dell Letitude E5440	Sebagai perangkat menjalankan <i>software</i> Arduino IDE
2	<i>Software</i> Arduino IDE	Sebagai pengembang kode program perangkat berbasis arduino dengan menggunakan bahasa pemrograman.

3.2.2 Bahan Penelitian

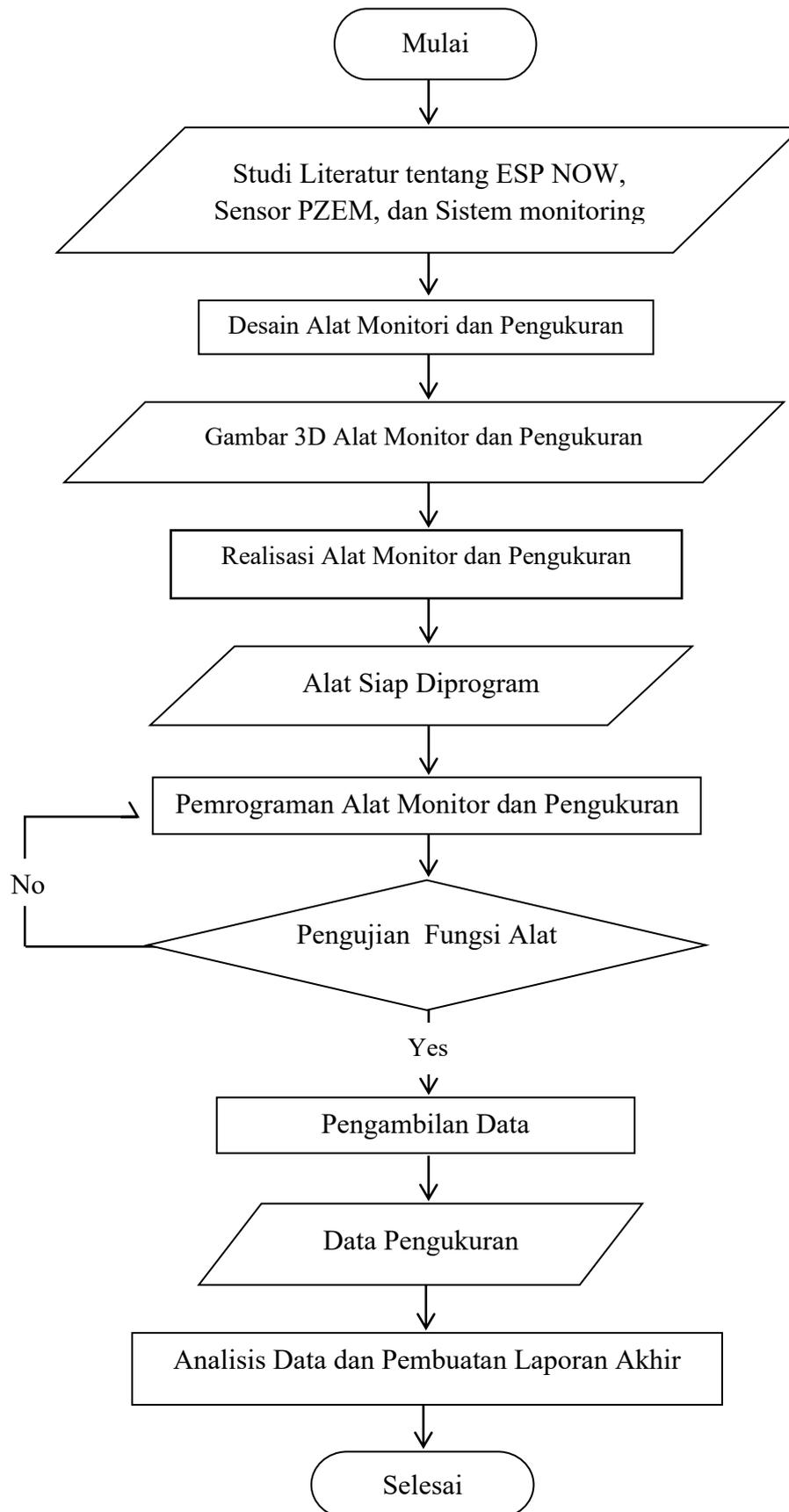
Bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Tabel 3. 2**.

Tabel 3. 2 Bahan Penelitian

No.	Bahan Penelitian	Fungsi
1.	NodeMCU ESP8266	Sebagai pengendali berbagai jenis perangkat elektronik yang dengan mudah terintegrasi untuk memantau perangkat yang terhubung.
2.	Module Sensor PZEM-004	Sebagai pengukur arus, tegangan dan energi listrik yang digunakan dalam perangkat rumah tangga.
3.	Coil	Pengukur arus listrik yang masuk ke sensor PZEM-004T.
4.	Adaptor	Sebagai pengonversi tegangan listrik arus AC nilai tinggi ke DC dengan nilai yang lebih rendah, dan mengatur tegangan yang masuk pada alat.
5.	Male Jack	Sebagai bagian penghubung perangkat dalam dengan adaptor.
6.	TFT LCD ILI9341	Sebagai layar yang akan menampilkan hasil pengukuran.

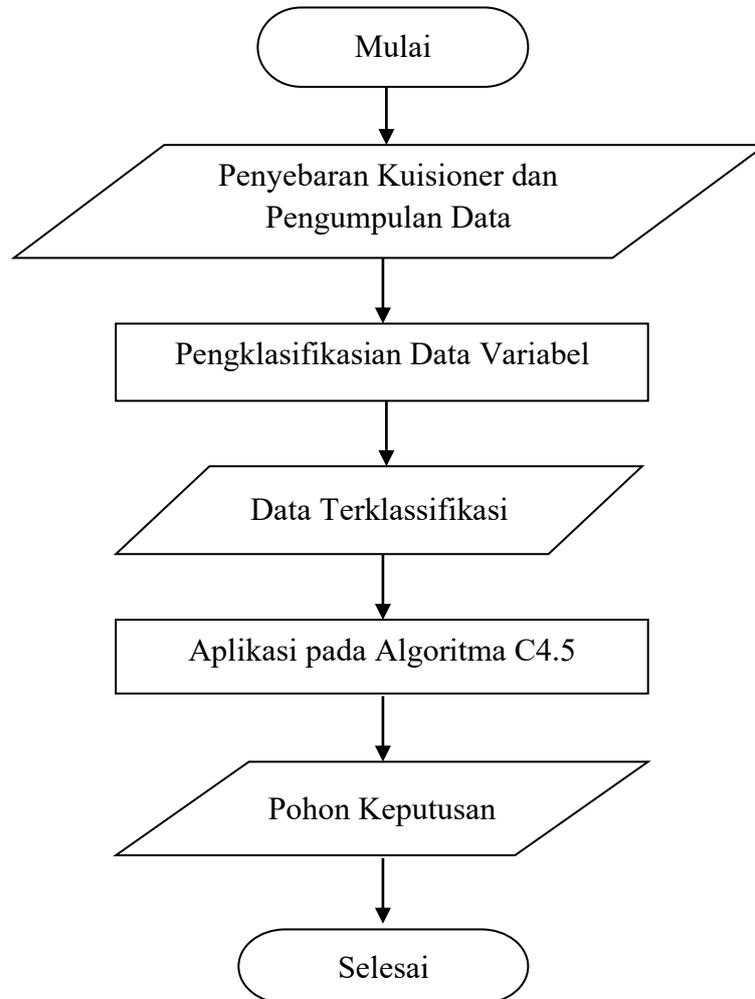
3.3 Prosedur Penelitian

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 Penelitian

Selain itu terdapat diagram alir klasifikasi *data mining* Algoritma C4.5 pada alat kendali prioritas daya listrik di jelaskan pada **Gambar 3. 2**



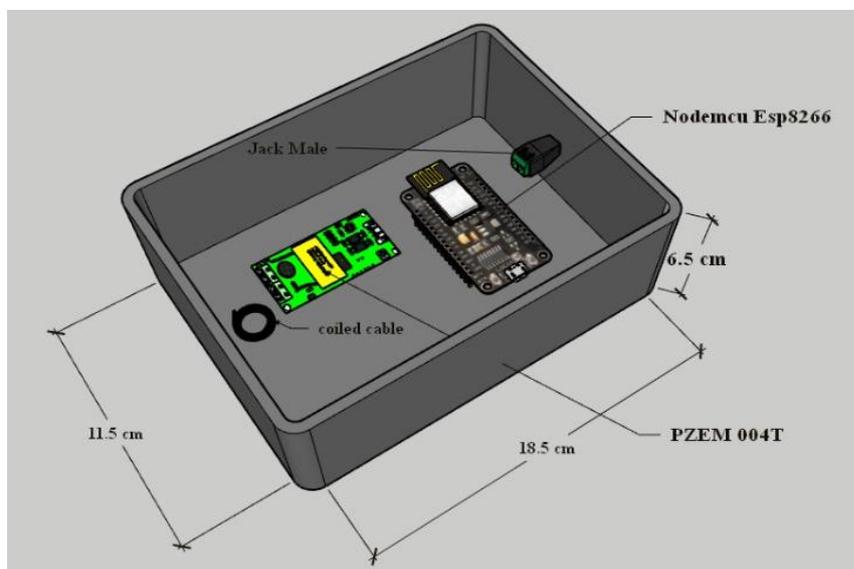
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penentuan Pohon Keputusan dengan Alogaritama C4.5

3.4 Tahap Perancangan Sistem

Pada tahap ini perangkat yang dibuat dibagi menjadi 2 yaitu perangkat monitor dan perangkat prioritas optimalisasi daya listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan *NodeMCU* ESP8266.

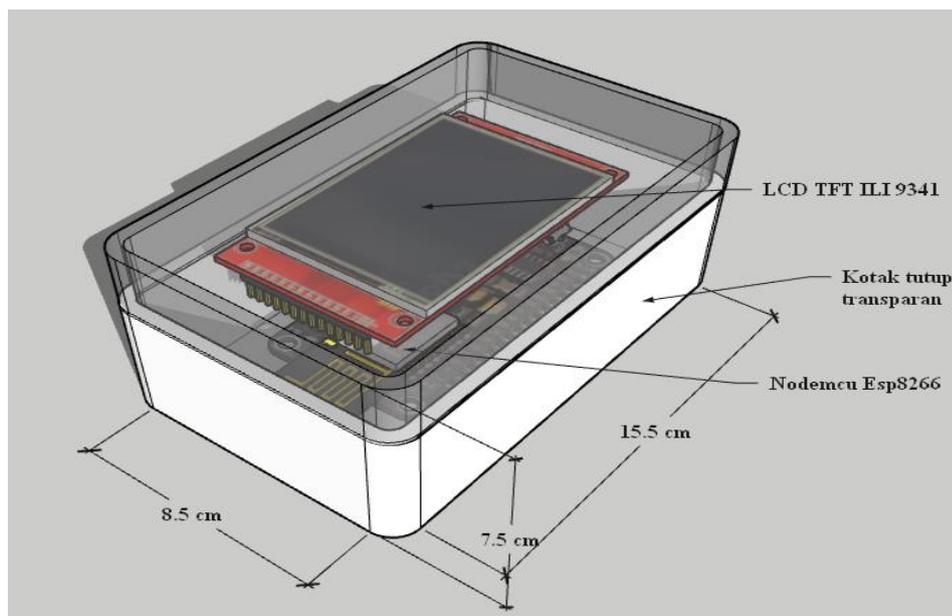
3.4.1 Alat Monitor Daya Listrik

Alat sistem *monitoring* adalah alat yang dirancang untuk dapat menampilkan hasil pengukuran dari alat optimalisasi daya listrik. Skema rancang alat sistem *monitoring* seperti pada **Gambar 3.2**



Gambar 3. 3 Desain Alat Sistem Pengukuran Daya Listrik

Penelitian ini bertujuan untuk *memonitoring* dan membuat sistem prioritas penggunaan energi listrik dalam rumah tangga guna membuat efisiensi penggunaan listrik. Alat ini akan bekerja sebagai perangkat yang akan mengumpulkan dan menampilkan data penggunaan energi listrik pada rumah tangga, dilengkapi dengan informasi mengenai arus, tegangan, daya, dan energi yang digunakan pada perangkat rumah tangga yang terpasang. Alat 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 relay. *NodeMCU* ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler dan juga berfungsi sebagai sistem pemantauan. sensor PZEM-004T mendeteksi arus, tegangan, daya dan energi listrik pada sistem prioritas optimalisasi daya listrik. TFT LCD ILI9341 menampilkan nilai-nilai yang sudah ditentukan pada sistem *monitoring* prioritas. Selanjutnya, relay berfungsi sebagai saklar otomatis pada sistem kendali.

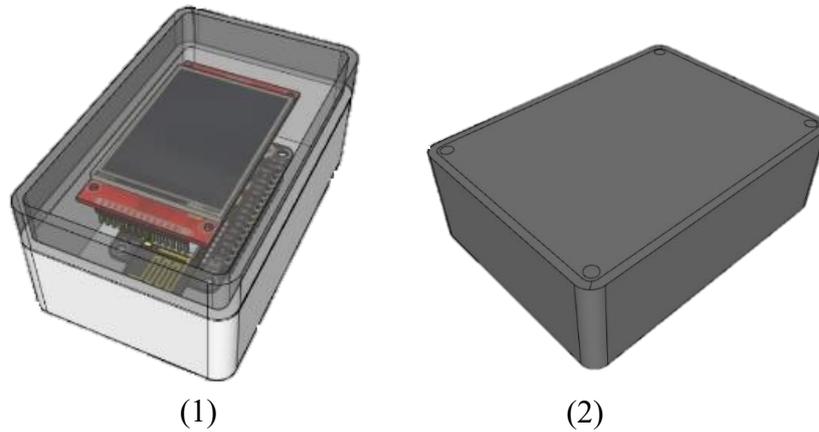


Gambar 3. 4 Desain Sistem Monitor

3.4.2 Alat Kendali Prioritas Daya

Alat kendali prioritas daya adalah alat yang dirancang untuk dapat mengukur tegangan, arus, daya dan energi listrik yang digunakan pada peralatan rumah tangga. Alat ini nantinya akan terhubung langsung dengan peralatan rumah tangga. Alat prioritas daya memiliki skema bangun yang sama dengan alat sistem *monitoring*, seperti pada **Gambar 3.4**

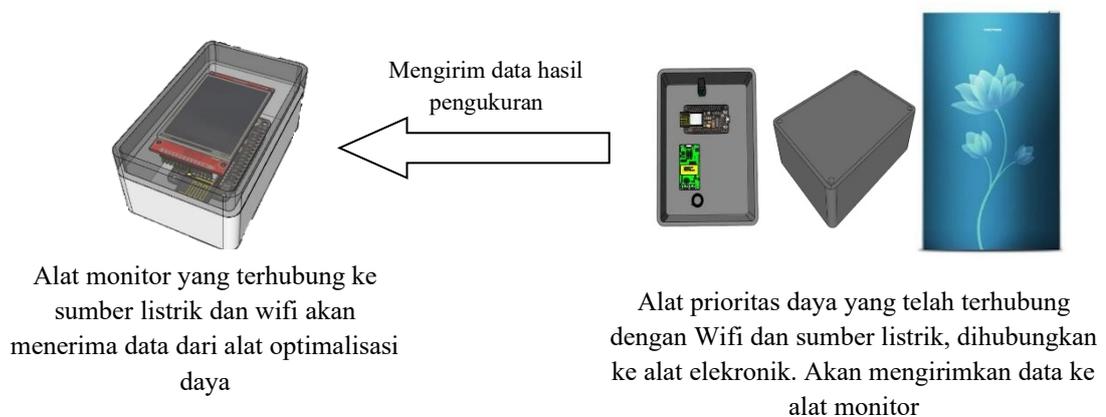
Tegangan, arus, daya dan energi listrik akan diukur dengan alat ini yang bekerja sebagai perangkat yang dihubungkan langsung ke peralatan rumah tangga. Kemudian data akan dikirim pada sistem *monitoring*, hasil pengukuran akan ditampilkan pada LCD. Komponen sistem pemantauan terdiri dari *NodeMCU* ESP8266, dan sensor PZEM-004T. *NodeMCU* ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler dan juga berfungsi sebagai sistem pengirim data pengukuran kepada perangkat sistem *monitoring*. sensor PZEM-004T mendeteksi arus, tegangan, daya dan energi listrik pada sistem prioritas optimalisasi daya listrik.



Gambar 3. 5 Case Alat Monitor (1), Case Alat Pengukur Daya listrik (2)

Yang membedakan adalah pada alat kendali prioritas daya tidak terdapat TFT LCD ILI9341, seperti yang terlihat pada **Gambar 3.5** yang merupakan rancangan bagian luar pada perangkat sistem prioritas daya listrik.

Tahap pengujian alat dapat dilihat pada **Gambar 3.4**, tahap ini dilakukan untuk mengetahui sensor PZEM-004T telah bekerja baik dan hasil dari pembacaan sensor PZEM-004T sesuai dengan pengukuran. Selanjutnya, melakukan pengujian tampilan *monitoring* pada TFT LCD ILI9341 sudah dapat menampilkan data yang telah diukur pada perangkat prioritas daya atau belum. Kemudian, pengujian tingkat akurasi dan error sistem saat bekerja terhadap pengukuran secara bersamaan.



Gambar 3. 7 Skema Konsep Penggunaan Sistem Monitor Daya Listrik

Pada **Gambar 3. 6** merupakan gambar diagram blok sistem *monitoring* prioritas penggunaan daya listrik pada *smart home* yang menunjukkan alat prioritas daya

akan disambungkan dengan alat elektronik dan terhubung dengan Wifi, kemudian alat prioritas akan membaca arus, tegangan, dan daya yang digunakan pada alat elektronik. Kemudian alat prioritas akan mengirimkan data kepada alat monitoring yang terhubung dengan WiFi yang sama seperti alat prioritas daya. Kemudian alat monitoring akan menampilkan hasil data yang telah dikirimkan dari alat prioritas daya

3.5 Tahap Pengujian

3.5.1 Pengujian Alat *Monitoring* Kendali Daya Listrik dan Prioritas Penggunaan Perangkat *Smart home* Menggunakan Sensor PZEM-400t

3.5.1.1 Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian Sensor PZEM-004T dilakukan untuk menguji kinerja PZEM-004T saat menerima arus, tegangan, daya dan energi dari perangkat elektronik. Hal ini dilakukan dengan membandingkan keluaran parameter pada multimeter dengan keluaran yang dihasilkan pada *monitoring* dengan sensor PZEM-004T. Pengujian sensor PZEM-004T dilakukan dengan metode menghitung eror pada sistem *monitoring* kendali daya listrik prioritas (Yulian Hariski & Arief Wicaksono, 2022).

$$\%Error \text{ Arus} = \frac{i_{out \text{ monitor}} - i_{out \text{ multimeter}}}{i_{out \text{ multimeter}}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\%Error \text{ Tegangan} = \frac{V_{out \text{ monitor}} - V_{out \text{ multimeter}}}{V_{out \text{ multimeter}}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\%Error \text{ Total} = \frac{\%Error \text{ Tegangan} + \%Error \text{ Arus}}{2} \quad (3.3)$$

Dimana $i_{out \text{ monitor}}$ dan $V_{out \text{ monitor}}$ merupakan arus dan tegangan yang terukur oleh sensor PZEM-004, $i_{out \text{ multimeter}}$ dan $V_{out \text{ multimeter}}$ adalah arus dan tegangan yang ditampilkan saat alat diukur dengan multimeter. Yang kemudian akan dijumlahkan untuk mendapatkan persentase eror secara keseluruhan. Pengujian arus pada perangkat ini dilakukan kepada beberapa alat elektronik, seperti setrika, kulkas, mesin cuci, penanak nasi, dan pompa air. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali pada 15 rumah yang berada di daerah Pringsewu Barat, Kabupaten Pringsewu, Lampung. Dengan kriteria rumah yang memiliki kapasitas

daya 1300-2200 watt. Hasil pengujian alat dengan sensor PZEM-400T dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Data Pengukuran Arus dan Tegangan Sensor PZEM-004T

Lokasi Pengujian	Alat Prioritas	I _{out}	I _{out}	V _{out}	V _{out}	Erör
		Monitor (A)	Multimeter (A)	Monitor (V)	Multimeter (V)	Total (%)
Rumah I (2200 Watt)	Setrika Penanak Nasi Kulkas Pompa Air Mesin Cucu					

3.5.2 Penentuan Prioritas Penggunaan Perangkat Rumah Tangga

3.5.2.1 Penentuan Prioritas Penggunaan Perangkat Rumah Tangga Berdasarkan Pengujian Alat Kendali Prioritas

Sistem kendali prioritas dibuat untuk *memonitoring* jumlah penggunaan daya yang digunakan oleh 5 perangkat rumah tangga yang biasa digunakan: kulkas, setrika, penanak nasi, pompa air, dan mesin cuci. Untuk mempermudah perhitungan, data yang dikumpulkan dari alat sistem kendali prioritas dan kuisioner dari pengujian sensor harus diklasifikasikan. Saat pengujian berlangsung, algoritma C4.5 digunakan untuk menghitung entropi dan menghitung gain untuk menentukan pohon keputusan. Algoritma ini dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3.4** dan **Persamaan 3.5** (Yulia dan Azwanti, 2018).

$$Entropy (S) = \sum_{i=1}^n - p_i \times \log_2 p_i \quad (3.4)$$

$$Gain (S, A) = Entropi (S) - \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} \times Entropi (S_i) \quad (3.5)$$

Dengan S adalah himpunan kasus, A sebagai atribut, n sebagai jumlah partisi atribut A dan p_i adalah proporsi dari entropi terhadap S .

Alat sistem kendali prioritas dirancang agar dapat meningkatkan efisiensi penggunaan daya listrik rumah tangga dan memungkinkan beberapa perangkat rumah tangga dihidupkan secara bersamaan dengan tidak melebihi kapasitas daya pada rumah tangga, kemudian melihat kondisi *relay* menyala atau mati. Alat ini juga akan memonitoring penggunaan arus, tegangan, dan daya listrik secara *real time* seluruh data akan terbaca pada alat prioritas dan dikirimkan ke alat monitoring, kemudian akan ditampilkan pada LCD ILI9341. Selanjutnya, pengujian dilakukan menggunakan algoritma C4.5 untuk menentukan perangkat mana yang akan diutamakan dari perangkat rumah tangga dengan nilai entropi tertinggi untuk penentuan pohon keputusan pada *node* pertama berdasarkan pengujian sensor perangkat rumah tangga yang ditunjukkan pada **Tabel 3.4**

Tabel 3. 4 Penentuan Pohon Keputusan pada *Node* Pertama Berdasarkan Pengujian Alat Sistem Kendali Prioritas

Atribut Data	Jumlah (S)	Ya (Si)	Tidak (Si)	Entropy	Gain
Total					
Setrika					
		Menyala			
		Padam			

Setelah mendapatkan nilai *gain* yang tertinggi pada **Tabel 3.4**, selanjutnya mengambil data *entropy* yang memiliki nilai tertinggi. *Gain* tertinggi akan digunakan untuk menentukan *node* selanjutnya pada pohon keputusan.

3.5.2.2 Penentuan Prioritas Penggunaan Perangkat Rumah Tangga Berdasarkan Kuisisioner

Selain menggunakan metode penentuan prioritas penggunaan perangkat rumah tangga dengan sistem monitoring kendali prioritas yang diuji secara bersamaan,

penentuan prioritas juga dilakukan berdasarkan kuisioner pada 15 rumah yang diklasifikasikan pada Tabel 3.7

Tabel 3. 5 Klasifikasi *Data mining* Algoritma C4.5

Atribut Data	Klasifikasi Data
Efisiensi Listrik	
Kualitas Instalasi	
Jumlah Anggota	
Kapasitas	

Atribut data yang telah diklasifikasikan, selanjutnya dilakukan pengambilan sampel berdasarkan kuisioner pada 15 rumah lalu dilakukan perhitungan algoritma C4.5 untuk mendapatkan *entropy* dan *gain* tertinggi dari salah satu data atribut. Data penentuan pohon keputusan akan ditentukan berdasarkan *entropy* dan *gain* tertinggi pada *node* pertama berdasarkan kuisioner ditunjukkan pada **Tabel 3.8**.

Tabel 3. 6 Penentuan Pohon Keputusan pada *Node* Pertama Berdasarkan Kuisioner

Atribut Data		Jumlah (S)	Ya (SI)	Tidak (SI)	Entropy	Gain
Total						
Efisiensi	Tinggi					
	Sedang					
	Rendah					

Setelah mendapatkan nilai *gain* tertinggi, seperti pada **Tabel 3.8**, maka akan didapatkan *node* pertama pohon keputusan. Selanjutnya adalah membagi dataset berdasarkan nilai dari atribut yang dipilih sebagai *node* tersebut menjadi subset, kemudian menghitung *entropy* untuk masing masing subset yang dihasilkan.

Sebagai contoh, atribut penggunaan pagi dipilih sebagai *node* pertama karena memiliki informasi *gain* tertinggi, kemudian membagi dataset menjadi subset berdasarkan nilai dari atribut penggunaan pagi yang telah dipilih menjadi *node* pertama sebelumnya, berikutnya menghitung *entropy* dan informasi *gain* untuk

masing-masing subset, kemudian ulangi langkah sebelumnya hingga tidak ada lagi atribut yang tersisa untuk membagi. Dengan melakukan pembagian dan perhitungan *entropy* pada setiap langkah algoritma C4.5 secara bertahap membangun pohon keputusan yang dapat digunakan untuk klasifikasi dengan akurasi tinggi, yang nantinya akan menentukan prioritas penggunaan alat rumah tangga berdasarkan pohon keputusan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan rancang bangun alat monitor penggunaan daya listrik dengan komunikasi ESP- NOW yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka terdapat beberapa simpulan sebagai berikut.

1. Sistem Monitor Daya Listrik Berbasis IoT berhasil dirancang menggunakan sensor PZEM-004T dan NodeMCU ESP8266 yang mampu memonitor tegangan, arus, dan daya listrik dengan satu sensor secara *real-time* kemudian ditampilkan pada layar TFT LCD ILI9341 yang dirancang terpisah, dengan tingkat kesalahan (*error*) 2% pada pengukuran tegangan, arus, dan daya, akurasi sistem rata-rata 98%. Sensor PZEM-004T dapat mendeteksi parameter listrik pada banyak perangkat rumah tangga, seperti kulkas, mesin cuci, dan pompa air, dengan mudah.
2. Protokol ESP-NOW berfungsi dengan baik. Pengujian yang dilakukan pada protokol ini menunjukkan bahwa protokol ini dapat mengirim data meskipun terdapat hambatan dinding ruangan dengan jarak efektif hingga lima belas meter tanpa kehilangan data.
3. Algoritma C4.5 berhasil menempatkan penggunaan perangkat rumah tangga sebagai prioritas utama. Hasil analisis menunjukkan bahwa pompa air adalah perangkat yang paling penting, diikuti oleh kulkas dan penanak nasi. Sistem kendali otomatis memiliki kemampuan untuk mematikan perangkat *non-prioritas* ketika daya melebihi kapasitas. Rumah dengan kapasitas 1300W sangat efisien dalam penggunaan daya dan memiliki risiko *overload* sebesar 40%. Rumah dengan kapasitas 2200W juga lebih efisien jika jumlah anggota rumah kurang dari empat orang.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Memperbaiki desain agar lebih efisien dalam segi bentuk dan penggunaan kabel dibagian luar
2. Menggunakan layar dengan ukuran lebih besar agar dapat memuat informasi lebih lengkap.
3. Penambahan alat safety pada sistem, seperti SSR (*Solid State Relay*).

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, S., & Sari, Y. A. (2018). *Implementasi Data Mining Menggunakan Weka*. Universitas Brawijaya Press.
- Adolfo, V., & Budi, A. S. (2023). Perancangan Sistem Deteksi Node Baru Otomatis dalam Basis ESP-NOW dengan Tree Topology WSN. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 7(5), 2475–2480.
- Anjasmoro, R., Ichsan, M. H. H., & Syauqy, D. (2024). Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Kotak Benih terhadap Ruangan menggunakan Protokol ESP-NOW. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 8(1), 63–74.
- Ardilla, Y., Manuhutu, A., Ahmad, N., Hasbi, I., Manuhutu, M. A., Ridwan, M., & Wardhani, A. K. (2021). *Data Mining Dan Aplikasinya*. Penerbit Widina. <https://books.google.co.id/books?id=53FXEAAAQBAJ>
- Artono, B., & Susanto, F. (2019). Wireless Smart Home System Menggunakan Internet Of Things. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Terapan*, 5(1), 17–24. <https://doi.org/10.25047/jtit.v5i1.74>
- Burange, A. W., & Misalkar, H. D. (2015). Review of Internet of Things in development of smart cities with data management & privacy. *2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications*, 189–195. <https://doi.org/10.1109/ICACEA.2015.7164693>
- Hartono, D. R. (2023). Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet of Things Menggunakan Metode Simple Exponential Smoothing untuk Prediksi Kebutuhan Energi. *CYCLOTRON*, 6(2).

- Hasrianto, N., Redho, A., & Susanti, N. (2023). Penyuluhan K3 Di Rumah Tangga Pada Peserta Senam Sehat Kelurahan Mentangor Kecamatan Kulim. *Devote: Jurnal Pengabdian Masyarakat Global*, 2(1), 31–34. <https://doi.org/10.55681/devote.v2i1.1082>
- Hidayat, D., & Sari, I. (2021). Monitoring Suhu Dan Kelembaban Berbasis Internet Of Things (Iot). *Jurnal Teknologi Dan Ilmu Komputer Prima (JUTIKOMP)*, 4(1), 525–530. <https://doi.org/10.34012/jutikomp.v4i1.1676>
- Hidayatullah, N. A., & Juliando, D. E. (2017). Desain dan Aplikasi Internet of Thing (IoT) untuk Smart Grid Power Sistem. *VOLT : Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 35. <https://doi.org/10.30870/volt.v2i1.1347>
- Ibrahim, R. R., & Yulianti, B. (2022). Rancang Bangun Monitoring Pemakaian Arus Listrik Pln Berbasis Iot. *Jurnal Teknologi Industri*, 11(2).
- Jokanan, J. W., Widodo, A., Kholis, N., & Rakhmawati, L. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase dan Aplikasi. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 47–55. <https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p47-55>
- Kale, A. C., Sirait, D. F. R., Rizal, M. F., Huda, I. F., Al Farisi, M. S., Siregar, F. P., Maulana, A. G., & Saputra, O. R. H. Y. (2024). Pengaruh Variasi Tegangan dan Arus pada KWh Meter Mekanik dan Digital Satu Fasa di Sekitar Cempakasari. *Jurnal Majemuk*, 3(1), 32–46.
- Lasera, A. B., & Wahyudi, I. H. (2020). Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 5(2), 112–120. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i2.34261>
- Li, M., Gu, W., Chen, W., He, Y., Wu, Y., & Zhang, Y. (2018). Smart Home: Architecture, Technologies and Systems. *Procedia Computer Science*, 131, 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.219>
- Manullang, A. B. P., Saragih, Y., & Hidayat, R. (2021). Implementasi Nodemcu Esp8266 Dalam Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Iot. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Elektronik*, 4(2), 163–170.

- Maulana, E., Rahmadewi, R., & Budhi Santoso, D. (2024). Sistem Deteksi Arah Gerak Untuk Penghitung Dan Pemantauan Orang Di Rumah Dengan Protokol Esp-Now. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(5), 10362–10369. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i5.10993>
- Pangestu, A. D., Ardianto, F., & Alfaresi, B. (2019). Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino Nodemcu Esp8266. *Jurnal Ampere*, 4(1), 187–197.
- Pramartaningthyas, E. K., & Rokhim, A. G. (2023). Implementasi Internet Of Things (Iot) Pada Sistem Monitoring Dan Notifikasi Pemakaian Listrik Rumah Tangga Berbasis Aplikasi BLYNK. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 12(3), 144–149.
- Pratika, M., Toby S., Piarsa, I. N., & Wiranatha, A. A. K. A. C. (2021). Rancang Bangun Wireless Relay dengan Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Komputer*, 2(3), 515–523.
- Putra, D. A., & Mukhaiyar, R. (2020). Monitoring Daya Listrik Secara Real Time. *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika)*, 8(2), 26. <https://doi.org/10.24036/voteteknika.v8i2.109138>
- Rachma, N., & Mulki Salam, R. (2022). Aplikasi Penyiram Tanaman Otomatis Dan Kelembapan Tanah Berbasis Iotmengggunakan Node Mcu V3. *Jurnal SIBERNETIKA*, 7(2), 23–33.
- Rachman, I., Al Hamdani, D. M., & Permadi, Y. S. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Cerdas Berbasis Internet of Things Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega Pro 2560 Dan ESP8266-01. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 5(4), 329–334.
- Ramadhani, N. A., Hikmat, Y. P., & Setiadi, B. (2023). Rancang Bangun Sistem Kendali dan Monitoring Penggunaan Daya Listrik pada Gedung Komersial Berbasis Internet of Things. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 14(1), 387–393.
- Rizqullah, A. N., Budi, A. S., & Primananda, R. (2023). Sistem Pemanggil Pelayan LCLE (Low Cost Low Energy) berbasis ESP-NOW. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 7(1), 342–354.

- Roid, F., Aulia, R., & Muthalib, M. A. (2023). Perancangan Alat Perekam Data Penggunaan Energi Listrik Pada KWH Meter Untuk Rumah Tinggal 4 Ampere Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputasi (ELKOM)*, 5(1), 85–94. <https://doi.org/10.32528/elkom.v5i1.9170>
- Setiadi, D., & Abdul Muhaemin, M. N. (2018). Penerapan Internet Of Things (Iot) Pada Sistem Monitoring Irigasi (Smart Irigasi). *Infotronik : Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 3(2), 95. <https://doi.org/10.32897/infotronik.2018.3.2.108>
- Suryaningsih, S., Hidayat, S., & Abid, F. (2016). Rancang Bangun Alat Pemantau Penggunaan Energi Listrik Rumah Tangga Berbasis Internet. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-JOURNAL) SNF2016 UNJ, SNF2016-ERE-87-SNF2016-ERE-90*. <https://doi.org/10.21009/0305020617>
- Syam, S., Tokoro, Y., Judijanto, L., Garonga, M., Sinaga, F. M., Umar, N., Handika, I. P. S., Iin, J. N., Apriyanto, A., & Sitanggang, A. T. (2024). *Data Mining : Teori dan Penerapannya dalam Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia. <https://books.google.co.id/books?id=hTAXEQAAQBAJ>
- Toba, F., Suoth, V. A., Kolibu, H. S., Mosey, H. I. R., As'ari, & Pandara, D. P. (2023). Analisis Perbandingan Daya Listrik Saat Sebelum Dan Sesudah Variasi Kapasitor Pada Beban Listrik Rumah Tangga. *Jurnal MIPA*, 13(1), 11–17. <https://doi.org/10.35799/jm.v13i1.48968>
- YENDRIZAL, S. K. M. K. (2022). *Monograf Algoritma C4.5 Pada Teknik Klasifikasi Penyusutan Volume Pupuk*. CV. Azka Pustaka. <https://books.google.co.id/books?id=gsldEAAAQBAJ>
- Yulia, Y., & Azwanti, N. (2018). Penerapan Algoritma C4.5 Untuk Memprediksi Besarnya Penggunaan Listrik Rumah Tangga di Kota Batam. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 2(2), 584–590. <https://doi.org/10.29207/resti.v2i2.503>
- Yulian Hariski, & Arief Wicaksono. (2022). Monitoring Penggunaan Daya 3 Phase Dengan Notifikasi Berbasis Telegram. *Jurnal JEETech*, 3(1), 25–35. <https://doi.org/10.48056/jeetech.v3i1.187>