



Implementasi Sistem Monitoring biaya listrik dan air Berbasis IoT Menggunakan Metode Unified Modeling Language (UML)

Laporan Tugas Akhir

**Oleh:
M.AL.Hafizh.A (4242201003)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)

Disusun oleh:
M.Al.Hafizh.A (4242201003)

Tanggal Sidang: 12 January 2026

Disetujui oleh :

1. Afif Nuril Musthofa, M.Tr.T
NIK: 125340



Ir. Ridwan, S.ST, M.Tr.T.
NIK: 113113



Ridwan, S.ST, M.Tr.T
NIK: 113113
20/01/2026

2. Mishthafiyatillah, S.Si., M.Sc
NIK: 124328



Implementasi Sistem Monitoring biaya listrik dan air Berbasis IoT Menggunakan Metode Unified Modeling Language (UML)

Abstrak

Kebutuhan masyarakat terhadap listrik dan air bersih terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan penggunaan peralatan elektronik rumah tangga yang semakin kompleks. Namun, kurangnya kesadaran dan ketiadaan sistem pemantauan yang memadai sering kali menyebabkan konsumsi energi yang berlebihan serta pemborosan biaya. Studi ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring konsumsi listrik dan air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang membantu pengguna memantau penggunaan energi secara *real-time* serta memperoleh estimasi biaya secara otomatis. Perancangan sistem dilakukan menggunakan metode *Unified Modeling Language* (UML) untuk memodelkan struktur dan alur kerja sistem melalui *sequence diagram*. Perangkat keras utama yang digunakan meliputi mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor PZEM-004T untuk parameter kelistrikan, dan sensor *flowmeter* YF-S201 untuk debit air. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler dan dikirim ke *Firestore Realtime Database* untuk ditampilkan melalui antarmuka *web monitoring*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau parameter kelistrikan dengan akurasi tinggi, di mana rata-rata *error* tegangan tercatat sebesar 0,06% dan *error* arus di bawah 3% pada beban nominal rumah tangga. Sementara itu, pengujian sensor air menunjukkan adanya variasi akurasi yang signifikan tergantung pada stabilitas debit air, sehingga disarankan penggunaan jenis sensor yang lebih presisi untuk aliran rendah di masa mendatang. Secara keseluruhan, sistem ini berhasil menyajikan informasi konsumsi dan estimasi biaya secara *real-time*, sehingga diharapkan dapat membantu masyarakat dalam mengelola efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional rumah tangga.

Kata kunci: *Internet of Things*, Monitoring Energi, Konsumsi Listrik dan Air, NodeMCU ESP8266, UML, *Web Monitoring*, *Firestore*.

Implementation of IoT-Based Electricity and Water Cost Monitoring System Using Unified Modeling Language (UML)

Abstract

The public's demand for electricity and clean water continues to increase along with population growth and the use of increasingly complex household electronic devices. However, a lack of awareness and the absence of an adequate monitoring system often lead to excessive energy consumption and wasteful costs. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based electricity and water consumption monitoring system that helps users monitor energy usage in real-time and automatically obtain cost estimates. The system design is carried out using the Unified Modeling Language (UML) method to model the system's structure and workflow through sequence diagrams. The main hardware used includes the NodeMCU ESP8266 microcontroller, the PZEM-004T sensor for electrical parameters, and the YF-S201 flowmeter sensor for water flow. Data from the sensors is processed by the microcontroller and sent to the Firebase Realtime Database for displayed through the web monitoring interface. Test results showed that the system is capable of monitoring electrical parameters with high accuracy, with an average voltage error recorded at 0.06% and current error below 3% under nominal household load. Meanwhile, water sensor testing showed significant variations in accuracy depending on the stability of the water flow, so it is recommended to use a more precise type of sensor for low flow in the future. Overall, this system successfully presents consumption information and cost estimates in real time, which is expected to help the public manage energy efficiency and reduce household operational costs.

Keywords: *Internet of Things, Energy Monitoring, Electricity and Water Consumption, NodeMCU ESP8266, UML, Web Monitoring, Firebase.*

Daftar Isi

Lembar Pengesahan	i
Abstrak	ii
<i>Abstract</i>	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	iv
Daftar Tabel	vi
Bab 1. Pendahuluan	7
1.1. Latar Belakang	7
1.2. Rumusan Masalah	8
1.3. Tujuan	8
1.4. Manfaat	8
1.5. Batasan	8
Bab 2. Tinjauan Pustaka	10
Bab 3. Metodologi Penelitian	23
3.1.1 Sistem Dengan Sequence Diagram	24
3.1.2 Desain Elektrikal	27
3.1.3 Desain Mekanikal	28
3.1.4 Perancangan Pemrograman Sistem	30
Bab 4. Hasil Dan Pembahasan	35
Bab 5. Penutupan	60
Daftar Pustaka	62

Daftar Gambar

Gambar 1. Konsumsi Energi Primer Berdasarkan Sumber di Indonesia (1965–2020)	3
Gambar 2. Proyeksi Konsumsi Listrik Berdasarkan Sektor (2010–2026)	4
Gambar 3. Sensor Flow Meter YF-S201	6

Gambar 4. Sensor PZEM-004T	7
Gambar 5. NodeMCU ESP8266	8
Gambar 6. Mind Map keunggulan Telegram.....	9
Gambar 7. IoT Melalui Platform Telegram	10
Gambar 8. Skematik Perancangan Elektrikal.....	15
Gambar 9. Desain Sequence Diagram.....	16

Daftar Tabel

Tabel 1. Sistem Utama IoT.....	8
Tabel 2. Protokol Komunikasi	10
Tabel 3. Fungsi Sequence Diagram.....	11
Tabel 4. Penjelasan Komponen Sequence Diagram	12
Tabel 5. Proses Pembuatan Sequence Diagram	12
Tabel 6. Fungsi Komponen Sequence Diagram	12
Tabel 7. Manfaat Penggunaan Sequence Diagram.....	18
Tabel 8. Komponen Utama dalam Sequence Diagram	17
Tabel 9. Alur Kerja dalam Sequence Diagram	17
Tabel 10. Manfaat Sequence Diagram	18
Tabel 11. Pengujian Sistem	20
Tabel 12. Penelitian Terdahulu.....	21
Tabel 13. Variabel yang Diukur.....	23
Tabel 14. Anggaran Biaya	24
Tabel 15. Jadwal kegiatan	24

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pada era globalisasi, kemajuan teknologi telah mengubah pola hidup manusia secara fundamental. Inovasi digital yang terus berkembang turut mentransformasi cara berkomunikasi dan sistem kerja di berbagai sektor. Saat ini, kesadaran masyarakat akan pentingnya efisiensi listrik dan air di lingkungan rumah tangga mulai tumbuh. Namun, ironisnya, konsumsi energi justru cenderung meningkat seiring pertumbuhan populasi dan adopsi perangkat elektronik. Minimnya sistem pemantauan yang efektif sering kali menjadi penyebab utama pemborosan energi dan pembengkakan biaya. Oleh karena itu, sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) hadir sebagai solusi untuk memantau konsumsi energi secara *real-time*. Melalui sensor yang terintegrasi, pengguna dapat mengakses statistik penggunaan dan estimasi biaya langsung melalui perangkat seluler, sehingga pengelolaan efisiensi dan pengeluaran menjadi lebih terkendali [1]

Penelitian ini merancang sistem yang dapat diakses melalui antarmuka web (*web localhost*) guna memberikan kemudahan akses bagi pengguna, menyajikan visualisasi data yang lebih modern, serta menjamin penyimpanan data yang terstruktur. Proses perancangan sistem dilakukan dengan menerapkan metode *Unified Modeling Language* (UML). Metode ini dipilih karena kemampuannya sebagai standar pemodelan visual yang efektif untuk menata struktur dan alur sistem secara jelas serta sistematis, sehingga mempermudah tahapan pengembangan perangkat lunak [2]

Sistem monitoring konsumsi listrik dan air berbasis Internet of Things (IoT) dengan perancangan terstruktur menggunakan Unified Modeling Language (UML) masih jarang diterapkan secara langsung di lingkungan rumah tangga. Padahal, pemantauan penggunaan energi dan air yang akurat sangat dibutuhkan untuk menghindari pemborosan serta menekan biaya tagihan bulanan. Tanpa adanya sistem pemantauan yang efektif, masyarakat sering kali menyadari besarnya konsumsi mereka setelah menerima tagihan, yang terkadang jauh di luar perkiraan.. Misalnya, jika kita melihat angka yang diberikan oleh Badan Pusat Statistik, atau singkatnya BPS, kita dapat melihat bahwa rata-rata penggunaan listrik per orang di Indonesia melonjak dari 1.120 kWh pada tahun 2021 menjadi 1.200 kWh pada tahun 2022, yang cukup melonjak, Pada saat yang sama, sementara perusahaan yang menyediakan air minum memompa lebih banyak air bersih, rumah tangga masih menghadapi beberapa tantangan besar dalam menggunakan air secara efisien, seperti yang disorot oleh Riana dan teman-temannya pada tahun 2023 [3].

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem monitoring listrik dan air berbasis web dengan NodeMCU ESP8266, sensor PZEM-004T, dan sensor YF-S201?
2. Bagaimana memodelkan struktur dan alur kerja sistem monitoring tersebut dengan pendekatan Unified Modeling Language (UML)?
3. Bagaimana akurasi hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur pembanding pada sistem monitoring ini?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem monitoring biaya listrik dan air berbasis web dengan ESP8266 dan sensor PZEM-004T serta YF-S20.
2. Menerapkan UML untuk memodelkan sistem secara terstruktur.
3. Melakukan pengujian untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran serta kestabilan pengiriman data melalui web.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian ini antara lain:

- Memberikan solusi bagi masyarakat untuk memantau penggunaan listrik dan air secara real-time melalui web.
- Membantu penghematan energi dan air dengan pemantauan.
- Menjadi referensi pengembangan sistem IoT dengan metode UML dan antarmuka berbasis web.

1.5. Batasan

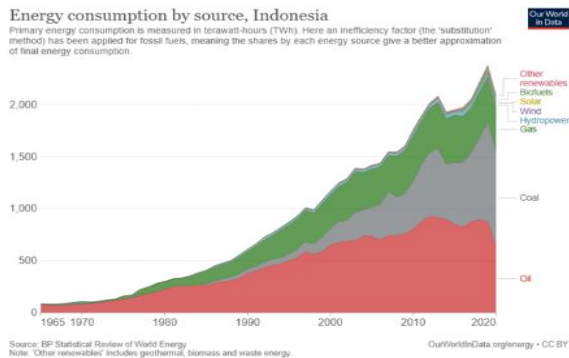
Batasan masalah pada Tugas Akhir ini bertujuan untuk memperjelas ruang lingkup penelitian agar pembahasan lebih terfokus dan terarah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang dikembangkan hanya difokuskan pada pemantauan konsumsi listrik dan air pada rumah tangga.
2. Pengukuran listrik dilakukan menggunakan sensor PZEM-004T yang mencakup parameter tegangan, arus, daya aktif, dan energi listrik.
3. Pengukuran konsumsi air dilakukan menggunakan sensor flowmeter YF-S201 yang menghitung debit dan volume air dalam satuan liter.
4. Sistem monitoring menampilkan data konsumsi listrik dan air secara real time melalui web monitoring dan tidak mencakup pengendalian (control) beban listrik maupun aliran air.

5. Estimasi biaya listrik dan air yang ditampilkan pada sistem hanya bersifat perhitungan perkiraan berdasarkan tarif yang telah ditentukan dan tidak digunakan sebagai dasar penagihan resmi.
6. Pengujian sistem dilakukan pada lingkungan rumah tangga dengan kondisi beban listrik dan aliran air yang bervariasi.
7. Analisis performa sistem dibatasi pada akurasi pengukuran sensor, respon sistem, dan kesesuaian data dengan alat ukur pembanding.

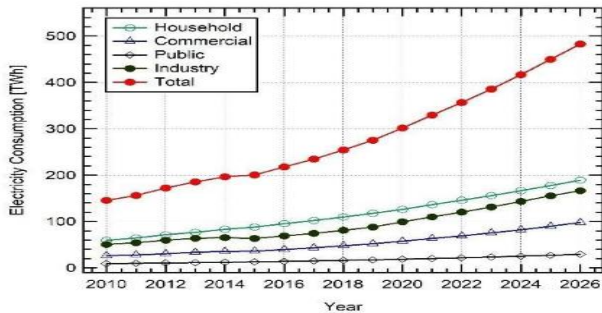
Bab 2. Tinjauan Pustaka

Konsumsi energi dan air di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan perkembangan teknologi. Data menunjukkan bahwa dalam beberapa dekade terakhir, konsumsi energi primer di Indonesia meningkat secara signifikan dan masih didominasi oleh sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Kecenderungan ini mencerminkan pertumbuhan kebutuhan energi dalam skala nasional yang berdampak langsung pada peningkatan emisi dan tantangan keberlanjutan lingkungan [4].



Gambar 1. Konsumsi Energi Primer Berdasarkan Sumber di Indonesia (1965–2020). Sumber: *OurWorldInData.org* dan *Data Sektor Listrik Nasional*

Peningkatan konsumsi juga melihat pada sektor rumah tangga. Berdasarkan proyeksi konsumsi listrik dari tahun 2010 hingga 2026, rumah tangga merupakan salah satu sektor dengan pertumbuhan konsumsi listrik paling tinggi. Selain listrik, kebutuhan akan air bersih di lingkungan rumah tinggal juga semakin tinggi, terutama di kawasan padat seperti rumah kos dan perumahan kota.



Gambar 2. Proyeksi Konsumsi Listrik Berdasarkan Sektor (2010–2026)

Sumber: OurWorldInData.org dan Data Sektor Listrik Nasional

Peningkatan konsumsi ini mencerminkan kebutuhan yang semakin besar terhadap dua sumber daya esensial—listrik dan air. Namun demikian, masih banyak pengelolaan yang dilakukan secara manual tanpa pemantauan real-time, sehingga menyebabkan potensi pemborosan serta kurangnya kontrol biaya operasional. Hal tersebut mendorong perlunya solusi inovatif berbasis teknologi Internet of Things (IoT) yang mampu memantau dan mengendalikan pemakaian utilitas secara terintegrasi. Sistem monitoring berbasis IoT terbukti tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi penggunaan energi hingga 20%, tetapi juga memudahkan pengguna dalam mengelola estimasi biaya pemakaian serta mendukung perilaku penghematan sumber daya secara berkelanjutan [5].

2.1. Penelitian Terkait

Penelitian ini mengacu pada hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai bahan perbandingan dan kajian terkait sistem monitoring konsumsi listrik dan air berbasis IoT. Berdasarkan pembuatan proposal terdapat beberapa jurnal dan makalah referensi yang menjadi inspirasi. Seiring perkembangan teknologi Internet of Things (IoT), mulai banyak sistem monitoring berbasis IoT digunakan pada banyak bidang, termasuk pada pengelolaan energi listrik serta air. Sistem ini menyediakan proses pengukuran, pemantauan, hingga pengendalian konsumsi energi secara real-time melalui perangkat berbasis internet. Beberapa penelitian di Indonesia telah menunjukkan hasil dari sistem untuk menaikkan efisien penggunaan energi, mempermudah pengawasan dari jarak jauh, dan mengurangi biaya operasional.

Dari penelitian [6]. merancang sistem kontrol monitoring lampu serta pendingin ruangan pada laboratorium komputer berbasis IoT. Sistem ini menggunakan NodeMCU ESP8266, relay, dan website monitoring untuk mengendalikan dan memantau perangkat secara real-time. pada perancangan, metode Unified Modeling Language (UML) digunakan untuk memodelkan kebutuhan sistem supaya proses pengembangan terencana. hasil penelitian menunjukkan sistem berhasil memantau serta mengendalikan perangkat laboratorium secara efektif, sekaligus membantu efisiensi penggunaan listrik di ruang umum.

Selanjutnya, penelitian dari merancang sistem monitoring dan kontrol energi listrik pada beban 3 fasa di laboratorium elektronika berbasis IoT. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 serta sensor PZEM-004T untuk memantau tegangan, arus, serta daya listrik di setiap fasa secara presisi [7]. Selain pemantauan, sistem ini memiliki keunggulan fitur kontrol pemutusan arus jarak jauh untuk keamanan. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu membaca parameter listrik dengan tingkat akurasi tinggi (error di bawah 1%) dan efektif dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan beban serta perhitungan biaya listrik di laboratorium..

di bidang monitoring air [8]Merancang sistem monitoring volume serta jumlah penggunaan air higienis di rumah kos berbasis IoT. Sistem memanfaatkan dua NodeMCU ESP8266 menggunakan sensor flowmeter (YF-S201) yg menghitung jumlah air yg dipergunakan dan biaya pemakaian per kamar secara otomatis. Data pemakaian ditampilkan melalui LCD serta aplikasi Blynk. Penelitian ini fokus di aspek biaya air per penghuni kos, dan hasilnya menunjukkan akurasi sensor mencapai 94,25% seperti yang dirancang.

Adapun di bidang monitoring konsumsi listrik berbasis IoT menggunakan integrasi analisis, penelitian dari [9] merancang sistem monitoring daya listrik berbasis IoT menggunakan prosedur pemecahan Fuzzy Logic Sugeno dan platform Firebase. Sistem memanfaatkan sensor PZEM-004T serta ESP8266 untuk mengukur arus serta daya listrik, yang kemudian dikirim ke Firebase serta ditampilkan melalui software Android. Desain sistem menggunakan diagram UML, mirip use-case, activity, serta sequence diagram. Hasilnya, sistem mampu memonitoring serta menganalisis konsumsi listrik secara real-time, dan membantu pengguna mengatur energi lebih efisien.

Penelitian yang paling mendekati topik ini dilakukan oleh, [10] yang merancang sistem monitoring listrik prabayar berbasis web menggunakan ESP8266, sensor PZEM-004T, dan aplikasi berbasis MySQL-PHP. Sistem ini memonitoring arus, tegangan, daya, dan energi listrik secara real-time, dan

menghitung biaya pemakaian secara otomatis. Perancangan sistem dilakukan secara terstruktur menggunakan UML, meliputi activity diagram, use-case, dan sequence diagram. Implementasi menunjukkan sistem mampu menyajikan data penggunaan listrik serta perkiraan secara akurat, serta menaikkan kontrol konsumsi energi pada rumah tangga.

Berdasarkan penelitian sebelum nya, bisa disimpulkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT ini sudah terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas pada pengelolaan listrik maupun air. tetapi, belum ditemukan penelitian yang secara spesifik menggabungkan monitoring konsumsi listrik dan air sekaligus dengan sistem berbasis IoT dengan metode perancangan UML yg terstruktur dalam satu sistem yang saling terhubung. Maka penelitian ini, yaitu “Implementasi Sistem Monitoring biaya Listrik dan Air Berbasis IoT memakai Metode Unified Modeling Language (UML)”, system ini menawarkan cara baru untuk mengatur energi listrik dan air untuk rumah tangga agar lebih efisien penggunaan energi listrik dan air, mempermudah pengawasan dari jarak jauh, dan bisa mengurangi biaya operasional.

2.2. Sensor Aliran Air (Flow Meter YF-S201)

Flow Meter YF-S201 adalah sensor berbasis hall-effect yang menghasilkan pulsa digital sebanding dengan kecepatan aliran air. Pulsa ini dihitung oleh mikrokontroler untuk menentukan debit air (liter/menit) dan total volume. Sensor ini digunakan untuk menghitung jumlah air yang digunakan dan mengestimasi biaya pemakaian air. Sensor Flow Meter YF-S201 bermanfaat untuk memantau konsumsi air secara real-time, membantu pengguna mengetahui jumlah pemakaian dan mendeteksi lonjakan secara cepat. Sensor ini mudah diintegrasikan dengan ESP8266, hemat biaya dan tahan lama, sehingga bagus untuk sistem monitoring air rumah tangga. Dari penelitian [11] yang merancang sistem serupa yang mampu menunjukkan bahwa sensor YF-S201 mampu menghitung estimasi tagihan PDAM dan mengirim data ke Telegram dengan akurasi 98%.



Gambar 3. Sensor Flow Meter YF-S201 [12].

2.3. Sensor Daya Listrik (PZEM-004T)

PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter arus listrik AC. Selain itu sensor ini sering digunakan untuk membaca nilai dari tegangan, arus, dan daya listrik dengan nilai akurasi yang cukup akurat. Keunggulan dari sensor ini mampu menyediakan suplai daya DC, dengan demikian, rangkaian tidak memerlukan modul power supply tambahan karena PZEM-004T bisa langsung mengkonfekt daya yang cukup untuk seluruh komponen utama sistem. Untuk tingkat akurasi pada sensor ini melihat dari penelitian sebelum nya mengataka bahwa sensor cukup baik untuk sistem monitoring daya listrik rumah tangga, karna untuk tingkat akurasi pada sensor ini menunjukkan persentase error terkecil 0,6% (tegangan) dan 1,21% (arus) pada beban total 820W, serta error terbesar mencapai 2,51% (tegangan) dan 4,8% (arus) saat beban rendah 70W. Sensor ini dipasang di sumber listrik utama rumah (MCB) agar pengukuran energi lebih maksimal dan memberikan total konsumsi listrik seluruh rumah secara real-time. sistem monitoring berbasis ESP8266 dan PZEM-004T berhasil mengirimkan data arus, tegangan, dan daya secara real-time ke Telegram, memungkinkan pengguna memantau konsumsi listrik dari jarak jauh oleh [13].

2.3.1 Konsep Daya Listrik AC dan Faktor Daya

Dalam sistem distribusi listrik arus bolak-balik (AC), karakteristik daya listrik dipetakan ke dalam tiga komponen utama yang membentuk konsep Segitiga Daya. Komponen dasar yang pertama adalah Daya Semu (*Apparent Power, S*), yang merepresentasikan kapasitas daya total hasil perkalian antara tegangan dan arus listrik. Daya ini dinyatakan dalam satuan Volt-Ampere (VA) dan dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

$$S = V \cdot I$$

Komponen kedua adalah Daya Aktif (*Active Power, P*), yaitu daya nyata yang benar-benar diserap oleh beban untuk dikonversi menjadi kerja yang bermanfaat, seperti energi panas, gerak mekanik, atau cahaya. Daya inilah yang terukur dalam satuan Watt (W) pada kWh meter dan menjadi dasar perhitungan biaya tagihan listrik oleh PLN. Besarnya daya aktif dipengaruhi oleh sudut fase antara tegangan dan arus, seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Efisiensi penggunaan daya tersebut ditentukan oleh komponen ketiga, yaitu Faktor Daya (*Power Factor* atau $\cos \varphi$). iFaktor daya merupakan rasio perbandingan antara Daya Aktif terhadap Daya Semu. Nilai faktor daya berkisar antara 0 hingga 1, yang mencerminkan seberapa efektif arus listrik dikonversi menjadi kerja nyata. Pada beban resistif murni seperti elemen pemanas atau lampu, nilai $\cos \varphi$ adalah 1 (efisiensi sempurna). Namun, pada beban induktif seperti motor listrik, pompa, atau pendingin ruangan (AC), nilai faktor daya akan berada di bawah 1 (umumnya berkisar 0,5 hingga 0,8) akibat adanya daya reaktif yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet.

2.3.2 Prinsip Pengukuran Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T bekerja dengan mengukur tegangan dan arus secara real-time, serta mendeteksi pergeseran fasa (phase shift) antara gelombang tegangan dan arus. Dengan data tersebut, sensor dapat menghitung Faktor Daya ($\cos \varphi$) secara internal dan menghasilkan keluaran Daya Aktif (Watt) yang presisi, berbeda dengan alat ukur biasa (Clamp Meter) yang umumnya hanya mengukur arus total tanpa memperhitungkan faktor daya.



Gambar 4. Modul PZEM-004T [14].

2.4. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266

ESP8266 merupakan mikrokontroler utama dalam sistem Smart Storage yang berfungsi memproses data debit air dari sensor flow meter YF-S201 dan parameter sensor listrik PZEM-004T, untuk menghitung keseluruhan pemakaian listrik dan air, selanjutnya mengirim data melalui web yang telah dibuat berupa nilai pengeluaran dari sensor tersebut ke pengguna. ESP8266 dipilih karena mendukung koneksi nirkabel, memiliki banyak pin input/output, serta efisien dalam mengolah data, sehingga cocok untuk sistem otomatisasi berbasis IoT. Dari penelitian [15]. membuktikan bahwa ESP8266 juga dapat digunakan untuk membaca dan mengirim parameter daya listrik dari sensor PZEM-004T ke platform monitoring berbasis IoT.



Gambar 5. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 [16].

2.5. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep di mana berbagai perangkat fisik seperti sensor, alat elektronik, dan peralatan rumah tangga dapat saling terhubung melalui jaringan internet untuk saling bertukar data dan informasi secara otomatis tanpa interaksi manusia secara langsung. Teknologi ini memungkinkan perangkat untuk dipantau, dikendalikan, dan dianalisis dari jarak jauh menggunakan aplikasi atau platform berbasis internet. IoT dipilih dalam implementasi sistem monitoring biaya listrik dan air karena Teknologi ini memberikan kemudahan akses real-time, di mana data konsumsi dapat dipantau langsung dari mana saja melalui internet tanpa harus berada di lokasi alat. Berikut merupakan tabel sistem utama dalam perangkat IoT:

Tabel 1. Sistem Utama IoT

Komponen	Fungsi
Sensor	Media pengumpulan data dari lingkungan, seperti sensor arus dan sensor air.
Jaringan Internet	Media komunikasi antara perangkat, yang memungkinkan data dikirim ke server.
Server	analisis informasi dari sensor, yang memproses data yang dikirim oleh sensor kepada pengguna.

2.6.1 Web Monitoring

Web Monitoring merupakan antarmuka berbasis web yang dirancang untuk memvisualisasikan hasil pengukuran sistem monitoring listrik dan air secara real-time. Dalam arsitektur sistem ini, data telemetri yang diakuisisi oleh sensor dikirimkan dan disinkronisasi ke cloud database melalui mikrokontroler ESP8266. Platform yang digunakan sebagai penyimpan data adalah Firebase Realtime Database, yang dipilih karena keunggulannya dalam mendukung sinkronisasi data berlatensi rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian Jokanan, et al. (2022) yang menunjukkan bahwa penggunaan Firebase memungkinkan data tegangan, arus, dan daya dapat diakses secara cepat dan akurat melalui aplikasi pengguna tanpa penundaan yang signifikan [17].

Di bidang monitoring air, Imansyah dan Widiastuti (2022) merancang sistem monitoring volume serta jumlah penggunaan air berbasis IoT. Sistem memanfaatkan NodeMCU ESP8266 dan sensor *flowmeter* untuk menghitung jumlah air yang digunakan serta biaya pemakaian secara otomatis. Data pemakaian ditampilkan secara digital untuk memudahkan pengguna. Penelitian ini fokus pada aspek pengendalian biaya air, dan hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu memonitor dan mengontrol penggunaan air secara *real-time*, sehingga menjadi referensi valid dalam upaya pengurangan biaya tagihan air yang seringkali tidak terkontrol [18].

Keunggulan utama dari implementasi *web monitoring* ini terletak pada fleksibilitas akses dan visualisasi data. Pengguna dapat memantau sistem melalui berbagai perangkat (*multi-platform*), baik komputer maupun telepon pintar, tanpa perlu menginstal aplikasi tambahan. Web ini menyajikan fitur-fitur unggulan sebagai berikut:

1. Visualisasi data konsumsi listrik dan air secara *real-time*.
2. Grafik tren historis penggunaan energi untuk analisis jangka panjang.

3. Kalkulasi estimasi biaya otomatis.
4. Fitur ekspor data riwayat penggunaan dalam format CSV (*Comma-Separated Values*).

2.6.2 Protokol Komunikasi Internet of Things (IoT)

Protokol komunikasi dalam Internet of Things (IoT) berfungsi untuk menghubungkan perangkat satu sama lain melalui jaringan internet agar dapat saling bertukar data secara efisien dan aman. Pemilihan protokol komunikasi yang tepat sangat penting untuk memastikan pengiriman data real-time dari perangkat sensor ke server atau basis data. Dalam sistem monitoring biaya listrik dan air berbasis web ini, protokol komunikasi yang digunakan adalah HTTP dan Firebase Realtime Database Protocol, yang bekerja untuk mengirim dan menampilkan data dari perangkat IoT ke web interface. Berikut adalah tabel protokol komunikasi yang digunakan pada sistem ini:

Tabel 2. Protokol Komunikasi Internet of Things (IoT)

Teknologi	Fungsi dan Penjelasan
HTTP	Digunakan untuk komunikasi antara NodeMCU ESP8266 dan Firebase Realtime Database. Protokol ini berperan dalam mengirim data hasil pembacaan sensor listrik dan air ke server berbasis cloud sehingga dapat ditampilkan di web monitoring. HTTP dipilih karena mudah diimplementasikan dan didukung oleh pustaka bawaan ESP8266.
Firebase Realtime Database Protocol	Merupakan protokol yang digunakan Firebase untuk sinkronisasi data secara langsung antara perangkat dan server. Setiap perubahan data pada Firebase akan otomatis diperbarui di web monitoring tanpa perlu melakukan refresh halaman. Protokol ini sangat efisien untuk sistem monitoring real-time.
Web API	API Firebase digunakan untuk menghubungkan web dengan basis data secara langsung. Melalui API ini, web monitoring dapat membaca dan menampilkan data penggunaan listrik serta air dari Firebase dalam bentuk tabel, grafik, dan total biaya.

2.6. Pemodelan Sistem Dengan Unified Modeling Language (UML) Menggunakan Sequence Diagram

UML adalah alat bantu standar untuk memodelkan sistem perangkat lunak secara visual. Dalam penelitian ini, UML digunakan untuk memetakan interaksi pengguna dengan sistem, alur kerja, dan struktur sistem secara keseluruhan. Diagram utama yang diterapkan adalah *Sequence Diagram*, yang berfungsi menggambarkan interaksi antar objek dalam sistem berdasarkan urutan waktu. Penggunaan diagram ini pada sistem berbasis IoT untuk memastikan alur data berjalan logis, sebagaimana diterapkan dalam penelitian Sinulingga dan Santa (2025). Dalam studi tersebut, *Sequence Diagram* digunakan secara efektif untuk memodelkan skenario pengiriman data (*data telemetry*) dari sensor ke *Firestore Realtime Database* hingga visualisasinya pada antarmuka pengguna. Dengan pemodelan ini, urutan proses mulai dari inisialisasi sensor, validasi koneksi, hingga sinkronisasi data dapat didefinisikan secara presisi untuk meminimalisir kegagalan pengiriman data pada tahap implementasi [19]. Berikut adalah tabel fungsi Sequence Diagram:

2.7.1 Fungsi Sequence Diagram

Dibawah ini merupakan tabel 3 fungsi sequence diagram.

Tabel 3. Fungsi Sequence Diagram.

No	Fungsi Sequence Diagram	Penjelasan
1	Memodelkan interaksi antar objek	Sequence Diagram digunakan untuk menunjukkan bagaimana objek saling berinteraksi melalui pengiriman pesan.
2	Menggambarkan urutan proses sistem	Diagram ini memperlihatkan urutan eksekusi dari setiap proses yang terjadi dalam sistem secara kronologis.
3	Menjelaskan aliran pesan antar komponen	Sequence Diagram membantu memahami komunikasi antar aktor dan objek dalam sistem.
4	Menjadi dasar implementasi sistem	Diagram ini menjadi acuan bagi pengembang dalam menulis kode program berdasarkan urutan proses yang digambarkan.
5	Mendukung analisis dan desain sistem	Sequence Diagram digunakan oleh analis untuk memahami kebutuhan sistem serta

No	Fungsi Sequence Diagram	Penjelasan
		oleh desainer untuk merancang alur logika program.

2.7.2 Tabel Penjelasan Komponen Sequence Diagram

Dibawah ini merupakan tabel 4 Penjelasan Komponen Sequence Diagram.

Tabel 4. Penjelasan Komponen Use Case Diagram.

No	Komponen	Penjelasan
1	Actor (Aktor)	Pihak luar yang berinteraksi dengan sistem, seperti pengguna atau perangkat eksternal.
2	Object (Objek)	Elemen dalam sistem yang saling berinteraksi, seperti modul, kelas, atau entitas proses.
3	Lifeline	Garis vertikal yang menunjukkan waktu hidup suatu objek selama proses berlangsung.
4	Message (Pesan)	Panah horizontal yang menunjukkan komunikasi atau panggilan fungsi antar objek.
5	Activation Bar	Persegi panjang tipis di atas lifeline yang menunjukkan waktu objek aktif melakukan suatu proses.
6	Return Message	Panah putus-putus yang menunjukkan pengembalian hasil dari pesan yang dikirim.
7	Boundary / Control Object	Komponen penghubung antara aktor dengan sistem atau pengendali proses utama.

2.7.3Tabel Proses Pembuatan Sequence Diagram

Dibawah ini merupakan tabel 5 Proses Pembuatan Sequence Diagram.

Tabel 5. Proses Pembuatan sequence Diagram.

No	Tahapan	Deskripsi
1	Identifikasi aktor dan objek	Menentukan siapa saja yang berinteraksi dengan sistem serta komponen utama yang terlibat.
2	Tentukan skenario proses	Menentukan alur atau kasus penggunaan (use case) yang akan digambarkan dalam sequence diagram.

No	Tahapan	Deskripsi
3	Susun urutan interaksi	Mengatur urutan pesan antar objek dari awal hingga akhir proses sesuai alur sistem.
4	Gambarkan lifeline dan pesan	Menambahkan garis hidup (lifeline) dan panah pesan (message) antar objek sesuai urutan.
5	Tambahkan aktivasi dan hasil balik	Menambahkan activation bar dan return message untuk memperjelas waktu proses dan hasil respon.
6	Validasi dengan alur sistem	Mengecek kesesuaian diagram dengan kebutuhan dan logika sistem agar tidak terjadi kesalahan rancangan.

2.7.4 Tabel Manfaat Penggunaan Sequence Diagram

Dibawah ini merupakan tabel 6 Manfaat Penggunaan Sequence Diagram.

Tabel 6. Manfaat Penggunaan Sequence Diagram.

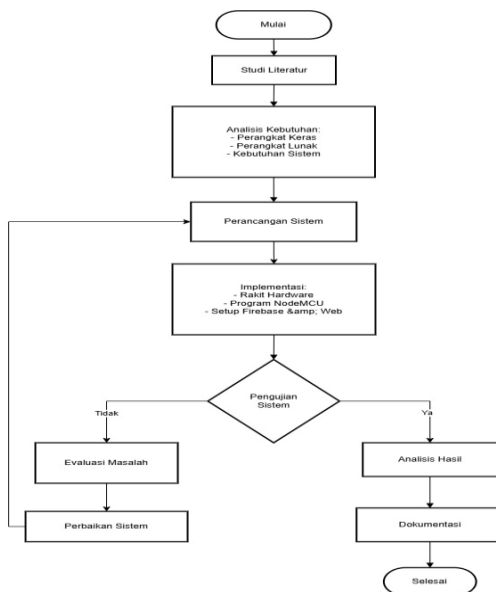
No	Manfaat	Penjelasan
1	Mempermudah pemahaman sistem	Sequence Diagram menampilkan alur interaksi secara visual, sehingga mudah dipahami oleh pengembang dan pengguna.
2	Membantu desain dan implementasi	Diagram ini menjadi panduan dalam merancang struktur logika dan penulisan kode program.
3	Menemukan kesalahan logika sejak dini	Pengembang dapat melihat ketidaksesuaian atau redundansi proses sebelum implementasi sistem dilakukan.
4	Menjadi dokumentasi teknis sistem	Sequence Diagram berfungsi sebagai dokumentasi visual yang menjelaskan cara kerja sistem.
5	Meningkatkan komunikasi antar tim	Diagram ini menjadi media komunikasi yang efektif antara analis, desainer, dan programmer.
6	Menunjukkan ketergantungan antar komponen	Mempermudah analisis ketika ada perubahan pada satu bagian sistem agar tidak memengaruhi bagian lainnya.

Dari tabel-tabel tersebut, penggunaan Sequence Diagram dalam pemodelan sistem monitoring berbasis IoT sangat penting. Sequence Diagram membantu dalam menggambarkan interaksi antar objek dan mendefinisikan alur

proses, tetapi juga meningkatkan komunikasi antara pengembang. Dengan pendekatan yang terstruktur ini, pengembangan sistem menjadi lebih efisien dan terarah, sehingga dapat memenuhi tujuan penelitian dengan lebih baik.

Bab 3. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini mengacu pada pendekatan pengembangan sistem berbasis IoT dengan tahapan yang terstruktur. Setiap tahapan dirancang untuk memenuhi tujuan penelitian, yaitu membantu pengguna dalam mengontrol penggunaan energi listrik dan air secara efektif. Alur penelitian digambarkan dalam bentuk flowchart pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Flowchart Alur Penelitian

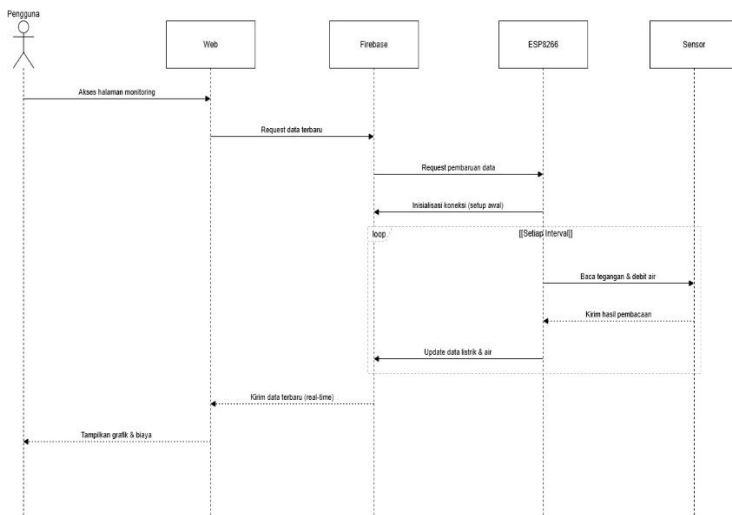
Tahapan penelitian dimulai dengan Studi Literatur untuk mengumpulkan dasar teori dan referensi yang relevan. Setelah landasan teori terbentuk, proses berlanjut ke tahap Analisis Kebutuhan, di mana penulis mengidentifikasi spesifikasi perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan kebutuhan sistem secara keseluruhan yang diperlukan untuk membangun alat. Berdasarkan analisis tersebut, dilakukan Perancangan Sistem untuk mendesain arsitektur dan skema alat. Rancangan ini kemudian direalisasikan pada tahap Implementasi, yang mencakup kegiatan perakitan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler NodeMCU, serta pengaturan (*setup*) Firebase dan antarmuka *Web Monitoring*.

Setelah implementasi selesai, dilakukan Pengujian Sistem untuk memvalidasi apakah alat berfungsi sesuai spesifikasi. Pada tahap ini terdapat percabangan keputusan: jika hasil pengujian menunjukkan kegagalan atau ketidaksesuaian (Tidak), maka dilakukan Evaluasi Masalah untuk mengidentifikasi penyebab *error*, dilanjutkan dengan Perbaikan Sistem, dan alur akan kembali berulang ke tahap Perancangan Sistem. Sebaliknya, jika sistem berfungsi dengan baik (Ya), proses dilanjutkan ke Analisis Hasil untuk mengolah data yang didapat. Tahapan akhir dari penelitian ini adalah penyusunan Dokumentasi sebagai laporan pertanggungjawaban, sebelum seluruh rangkaian kegiatan dinyatakan Selesai.

3.1. Perancangan

3.1.1 Sistem Dengan Sequence Diagram

Sequence Diagram merupakan jenis diagram dalam Unified Modeling Language (UML) yang digunakan untuk menggambarkan interaksi antar objek atau komponen sistem berdasarkan urutan waktu. Diagram ini menunjukkan bagaimana setiap objek berkomunikasi melalui pertukaran pesan secara berurutan dari awal hingga akhir proses. Sequence Diagram juga membantu memvisualisasikan alur kerja sistem secara kronologis, sehingga memudahkan memahami mekanisme kerja, hubungan antar komponen, serta logika proses yang terjadi di dalam sistem. Dapat dilihat Desain Sequence Diagram pada gambar 7:



Gambar 7. Desain Sequence Diagram

Diatas merupakan gambar 7 perancangan sistem kerja dengan Sequence Diagram yang berfungsi untuk memperjelaskan alur komunikasi antar komponen di dalam sistem monitoring konsumsi listrik dan air berbasis IoT. Proses kerja sistem dimulai ketika pengguna mengakses halaman web monitoring untuk melihat data konsumsi listrik dan air. Web kemudian mengirim permintaan (request) data terbaru ke Firebase. Firebase selanjutnya meneruskan permintaan pembaruan data ke perangkat ESP8266. Pada tahap awal, ESP8266 melakukan inisialisasi koneksi WiFi ke Firebase agar dapat berkomunikasi dengan server. Setelah koneksi berhasil, ESP8266 mulai membaca data sensor listrik (PZEM-004T) dan sensor air (YF-S201) secara berkala sesuai interval yang telah ditentukan di dalam program.

Nilai tegangan, arus, daya, energi, debit, dan volume air yang diperoleh dikirim kembali ke Firebase untuk disimpan. Firebase kemudian memperbarui data listrik dan air secara real-time, yang selanjutnya dikirim ke web monitoring untuk ditampilkan kepada pengguna. Web menampilkan hasil pembacaan dalam bentuk grafik, tabel, serta estimasi biaya listrik dan air yang digunakan. Dengan perancangan ini, sistem dapat menampilkan informasi konsumsi listrik dan air secara otomatis, real-time, dan akurat melalui web interface.

- **Komponen Utama dalam Sequence Diagram**

Komponen utama dalam sequence diagram dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Komponen Utama dalam Sequence Diagram.

No	Komponen	Deskripsi
1	Pengguna	Aktor yang berinteraksi dengan sistem melalui halaman web untuk memantau konsumsi listrik dan air secara real-time.
2	Web Monitoring	Antarmuka berbasis web yang menampilkan data penggunaan listrik dan air yang diambil dari Firebase. Web ini juga mengirimkan permintaan data terbaru ke Firebase.
3	Firebase Realtime Database	Media penyimpanan cloud yang berfungsi sebagai penghubung antara perangkat ESP8266 dan web. Firebase menyimpan, memperbarui, dan meneruskan data secara real-time.
4	ESP8266 (NodeMCU)	Mikrokontroler utama yang membaca data sensor, mengirimkan hasilnya ke Firebase, dan melakukan inisialisasi koneksi jaringan serta autentikasi ke server.

5	Sensor PZEM-004T & YF-S201	Komponen pengukuran yang mendeteksi parameter listrik (tegangan, arus, daya, energi) dan parameter air (debit dan volume), lalu mengirimkan hasil pembacaan ke ESP8266.
---	----------------------------	---

- **Alur Kerja dalam Sequence Diagramm**

alur kerja dalam sequence diagram dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Alur Kerja dalam Sequence Diagram

No	Langkah Proses	Penjelasan
1	Akses halaman monitoring	Pengguna membuka halaman web untuk melihat data penggunaan listrik dan air.
2	Request data terbaru	Web mengirim permintaan data ke Firebase untuk mendapatkan nilai konsumsi terkini.
3	Request pembaruan data	Firebase meneruskan permintaan pembaruan data ke perangkat ESP8266.
4	Inisialisasi koneksi (setup awal)	ESP8266 melakukan koneksi awal ke jaringan WiFi dan autentikasi ke Firebase agar dapat berkomunikasi dengan server.
5	Loop [Setiap Interval]	ESP8266 menjalankan proses pembacaan sensor secara periodik sesuai interval waktu yang telah ditentukan.
6	Baca tegangan & debit air	ESP8266 mengambil data dari sensor PZEM-004T dan YF-S201 untuk mendapatkan nilai listrik dan air.
7	Kirim hasil pembacaan	Sensor mengirimkan hasil bacaan ke ESP8266 untuk diolah dan dikonversi.
8	Update data listrik & air	ESP8266 mengirimkan hasil olahan ke Firebase dalam format JSON agar dapat diakses oleh web.
9	Kirim data terbaru (real-time)	Firebase meneruskan data terbaru ke web secara otomatis.
10	Tampilkan grafik & biaya	Web menampilkan hasil pembacaan dalam bentuk grafik, tabel, dan estimasi biaya penggunaan listrik dan air kepada pengguna.

- **Manfaat Sequence Diagram:**

manfaat sequence diagram dapat dilihat pada tabel 9.

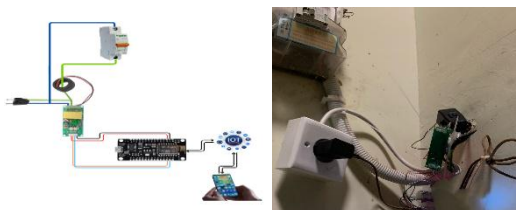
Tabel 9. Manfaat Sequence Diagram

No	Manfaat	Deskripsi
1	Memvisualisasikan interaksi antar komponen sistem	Sequence Diagram membantu menunjukkan bagaimana setiap komponen (pengguna, web, Firebase, ESP8266, dan sensor) saling berkomunikasi.
2	Menjelaskan urutan proses secara kronologis	Diagram memperlihatkan alur waktu setiap pesan dan aktivitas dalam sistem IoT dari awal hingga akhir.
3	Mempermudah analisis dan implementasi sistem	Pengembang dapat memahami hubungan logis antar bagian sistem sebelum menulis atau memodifikasi kode program.
4	Menjadi panduan dokumentasi teknis	Sequence Diagram berfungsi sebagai referensi visual untuk menjelaskan mekanisme kerja sistem dalam laporan atau dokumentasi proyek.
5	Meningkatkan efisiensi pengembangan sistem	Dengan memahami urutan interaksi, proses debugging dan pengembangan fitur lanjutan menjadi lebih cepat dan terarah.

3.1.2 Desain Elektrikal

3.1.2.1 Desain Elektrikal Listrik

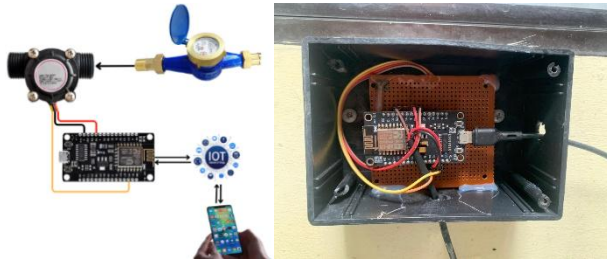
sistem monitoring penggunaan listrik dengan NodeMCU ESP8266 sebagai pusat pengendali. Sumber listrik dari PLN dialirkan melalui Miniature Circuit Breaker (MCB) yang berfungsi sebagai pengaman, kemudian arus listrik diukur menggunakan sensor arus (CT), Pada sensor PZEM-004T tidak hanya berfungsi untuk mengukur parameter tegangan, arus, dan daya, tetapi juga mampu menyediakan suplai daya DC untuk NodeMCU ESP8266. Dengan demikian, rangkaian tidak memerlukan modul power supply tambahan karena PZEM-004T bisa langsung menkonfert daya yang cukup untuk seluruh komponen utama sistem. NodeMCU memproses data hasil pengukuran, lalu mengirimkan data tersebut melalui koneksi WiFi ke server IoT, sehingga pengguna dapat memantau konsumsi listrik secara jarak jauh menggunakan smartphone. Gambar rangkaian desain elektrikal listrik dapat dilihat digambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. desain electrical Listrik

3.1.2.2 Desain Elektrikal Air

Sistem monitoring penggunaan air dengan menggunakan sensor flowmeter YF-S201 untuk mengukur debit dan volume air yang mengalir pada pipa. Sensor tersebut menghasilkan pulsa yang kemudian dibaca dan diproses oleh NodeMCU ESP8266 untuk menghitung jumlah konsumsi air. Data hasil perhitungan ditampilkan melalui web yang telah dibuat agar pengguna dapat langsung melihat pemakaian air. Pada web, informasi yang ditampilkan meliputi debit aliran air (Flow Rate) dalam satuan liter per menit (L/m), total volume air (Total) dalam satuan liter (L) dan juga grafik pemakaian air sehingga pengguna memperoleh gambaran real-time mengenai laju serta akumulasi pemakaian air. Dengan akses jarak jauh, sistem ini memungkinkan pengguna untuk melakukan kontrol dan evaluasi konsumsi air lebih efektif. Gambar rangkaian desain elektrikal air dapat dilihat digambar 8 dibawah ini.



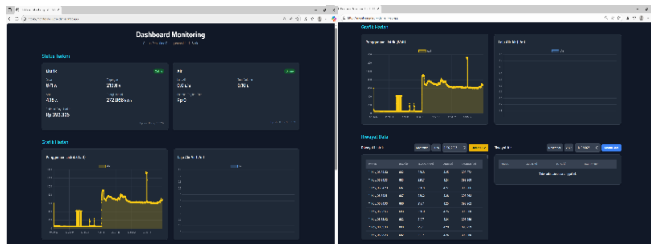
Gambar 8. desain elektrikal air

3.1.3 Desain Mekanikal

3.1.3.1 Desain Web IoT

Desain web monitoring ini dikembangkan menggunakan Visual Studio Code sebagai lingkungan pengembangan utama dengan memanfaatkan HTML, CSS, dan JavaScript sebagai dasar pembentuk antarmuka dan logika halaman. Web ini terhubung secara langsung ke Firebase Realtime Database untuk mengambil dan menampilkan data listrik dan air secara real-time. Web ini sudah didesain pembaruan tampilan otomatis setiap kali data sensor dari NodeMCU ESP8266 berubah. Desain antarmuka dibuat dengan struktur layout grid agar tampilan tetap rapi di berbagai ukuran layar, serta menampilkan grafik konsumsi listrik dan air. Pendekatan ini menghasilkan web monitoring yang mudah diakses tanpa

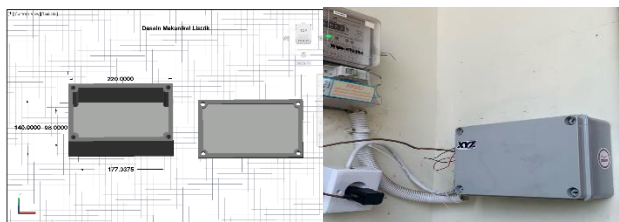
memerlukan aplikasi tambahan di perangkat pengguna. Gambar rangkaian desain web IoT dapat dilihat digambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. desain IOT Web Monitoring

3.1.3.2 Desain Mekanikal Listrik

Desain mekanikal untuk sistem listrik dibuat dengan tujuan melindungi rangkaian komponen dari gangguan luar dan memastikan pemasangan perangkat menjadi lebih rapi serta aman. Komponen utama yang ditempatkan pada bagian ini meliputi sensor PZEM-004T, NodeMCU ESP8266, serta modul catu daya. Perancangan dilakukan menggunakan software autocad dengan memperhatikan ukuran setiap komponen dan tata letak di dalam wadah. Bentuk hasil desain seperti pada gambar dibawah ini. Gambar rangkaian desain mekanikal listrik dapat dilihat digambar 10 dibawah ini.

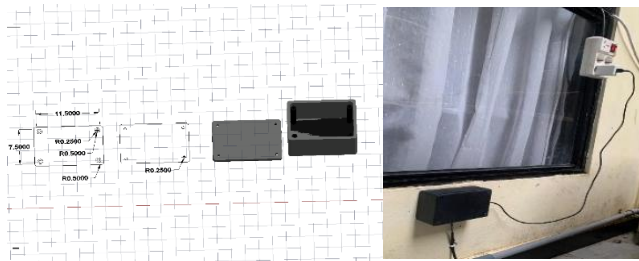


Gambar 10. desain mekanikal listrik

Desain pada gambar 10 diatas disesuaikan dengan kebutuhan ruang komponen agar mudah dilihat pengguna. Desain ini bertujuan untuk menjaga keamanan rangkaian listrik sekaligus memberikan tampilan yang ergonomis saat digunakan.

3.1.3.3 Desain Mekanikal Air

Desain mekanik pada sistem sensor air dibuat untuk melindungi komponen dari kerusakan fisik serta mempermudah proses perawatan dan pemasangan. Komponen utama seperti sensor aliran air YF-S201, NodeMCU ESP8266, dan modul daya ditempatkan dalam satu wadah pelindung berbahan plastik yang tahan terhadap percikan air. Bentuk rancangan wadah dibuat menggunakan software desain 3D dengan menggunakan software autocad dengan mempertimbangkan dimensi komponen dan posisi lubang baut pemasangan agar stabil dan mudah dirakit. Gambar desain menunjukkan tampak atas, tampak samping, serta hasil akhir model 3D, Bentuk hasil desain seperti pada gambar dibawah ini. Gambar rangkaian desain mekanikal air dapat dilihat digambar 11 dibawah ini.



Gambar 11. desain mekanikal air

Desain pada gambar 11 diatas memastikan aliran air tidak mengganggu sistem elektronik dan seluruh komponen dapat berfungsi secara optimal saat proses pengujian maupun implementasi.

3.1.4 Perancangan Pemrograman Sistem

Pada tahap ini dilakukan proses perancangan pemrograman untuk memastikan seluruh komponen sistem monitoring listrik dan air dapat bekerja dengan yang diinginkan. Pemrograman dilakukan pada dua lingkungan pengembangan utama, yaitu Arduino IDE untuk perangkat mikrokontroler dan Visual Studio Code (VS Code) untuk pengembangan antarmuka web. Adapun langkah-langkah dalam perancangan pemrograman sistem sebagai berikut:

- Pemrograman Mikrokontroler dengan Arduino IDE
NodeMCU ESP8266 diprogram menggunakan Arduino IDE untuk membaca data dari sensor dan mengirim ke Firebase Realtime Database. Proses kerja program mencakup:
 - Inisialisasi koneksi WiFi untuk menghubungkan NodeMCU ke jaringan lokal.

- Pembacaan data sensor PZEM-004T (tegangan, arus, daya, energi listrik) dan YF-S201 (debit dan volume air).
 - Pengolahan data menjadi satuan standar (Volt, Ampere, kWh, dan Liter).
 - Perhitungan estimasi biaya berdasarkan tarif listrik dan air yang berlaku.
 - Pengiriman data ke Firebase secara berkala.
- Firebase Realtime Database digunakan untuk media penyimpanan cloud yang menampung data hasil pembacaan sensor. Setiap NodeMCU mengirimkan data secara otomatis dan tersinkronisasi dengan web.
 - Pembuatan Web Monitoring dengan Visual Studio Code Antarmuka web dibuat menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript di Visual Studio Code (VS Code). Web ini terhubung langsung dengan Firebase melalui Firebase SDK (JavaScript API) untuk menampilkan data secara real-time tanpa perlu refresh halaman. Fitur utama web meliputi:
 - Tampilan data penggunaan listrik dan air (tegangan, daya, debit, volume, biaya).
 - Riwayat penggunaan harian melalui tabel dan grafik.
 - Indikator status koneksi perangkat (online/offline).
 - Web ini diakses secara lokal (localhost) atau melalui jaringan WiFi yang sama dengan NodeMCU.

3.2. Perhitungan Konsumsi meteran Listrik dan Air

3.2.1 Perhitungan konsumsi Meter PLN (kWh Meter)

Dalam sistem kelistrikan rumah tangga, PLN menggunakan kWh meter sebagai alat untuk mengukur total energi listrik yang terpakai oleh pelanggan. Prinsip kerja utama kWh meter adalah mencatat energi secara kumulatif, sehingga angka yang tampil pada meteran akan terus bertambah setiap kali listrik digunakan. Berikut merupakan rumus kWh dan Biaya yang di keluarkan pada rumus (1) :

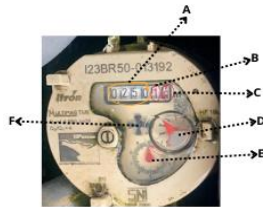
$$\begin{aligned}
 W &= V \times I \times t \\
 \sum Rp &= w \times Rp/kWh
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dalam proses perhitungan konsumsi dan biaya listrik, digunakan beberapa variabel utama yang saling berkaitan. Variabel V merepresentasikan Beda Potensial dengan satuan Volt, sedangkan I menunjukkan kuat Arus Listrik dalam satuan Ampere. Akumulasi penggunaan daya dari kedua parameter tersebut dalam durasi waktu tertentu, yang disimbolkan dengan t (hour/jam), akan menghasilkan total Energi listrik atau W dalam satuan *Kilowatt-hour* (kWh). Nilai

energi ini kemudian dikalkulasikan untuk mendapatkan estimasi Biaya operasional (*Rp*) dalam satuan Rupiah sesuai dengan tarif dasar listrik yang berlaku.

3.2.2 Perhitungan konsumsi Meter Air PDAM (m³)

Untuk perhitungan konsumsi meteran air PDAM (m³) dapat dilihat pada gambar 12 dibawah ini.



Gambar 12. Gambar Meter Air PDAM (m³)

Tabel Penjelasan Bagian Meteran Air PDAM.

Tabel 10. Penjelasan Bagian Meteran Air PDAM

Kode Panah	Penjelasan Fungsi
A	Angka yang berwarna hitam ini dapat berubah apabila penggunaan air mencapai 1000 liter atau 1 kubik.
B	Angka ini akan berputar apabila penggunaan air memasuki 500 liter.
C	Angka ini akan berputar apabila penggunaan air mencapai 10 liter.
D	Jarum untuk menghitung per 10 liter.
E	Jarum untuk menghitung per 1 liter.
F	Roda kicir meteran air ini dapat berputar apabila keran air terbuka atau air sedang digunakan.

Dalam sistem meteran air rumah tangga, PDAM menggunakan meter air sebagai alat untuk mengukur total volume air yang digunakan pelanggan. Cara kerja meter air bersifat kumulatif, yaitu angka pada meteran akan terus bertambah setiap kali air mengalir menuju rumah. Nilai ini digunakan sebagai dasar penentuan pemakaian air per bulan. Satuan yang digunakan adalah meter kubik (m³), di mana:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$$

Rumus perhitungan volume dan biaya air dapat dilihat pada rumus 2 dibawah ini:

$$Q = \text{Volume Air (m}^3\text{)} = \text{Meter Bulan Ini} - \text{Meter Bulan Lalu} \quad (2)$$

$$\sum Rp = Q \times Rp / m^3$$

Untuk menentukan besaran tagihan air, variabel Q digunakan untuk merepresentasikan akumulasi jumlah air yang telah dikonsumsi dalam satuan meter kubik (m^3). Nilai volume ini kemudian dikalkulasikan dengan variabel Rp/m^3 , yaitu tarif dasar yang ditetapkan oleh PDAM untuk setiap meter kubik air. Hasil akhir dari perhitungan tersebut dinotasikan sebagai $\sum Rp$, yang menunjukkan total biaya pemakaian yang wajib dibayarkan oleh pelanggan.

3.3. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam perancangan sistem monitoring konsumsi listrik dan air berbasis Internet of Things (IoT). Tahapan ini menjadi dasar dalam proses perancangan dan implementasi sistem agar dapat berjalan sesuai dengan tujuan penelitian.

Untuk memvalidasi pembacaan daya pada sensor PZEM-004T, digunakan metode perbandingan (benchmarking) dengan alat ukur standar Clamp Meter (Unit-T UT204R). Karena Clamp Meter standar hanya mengukur Tegangan (V) dan Arus Total (I) tanpa mengetahui Faktor Daya, maka perhitungan Daya Pembanding Manual (P_{manual}) dilakukan dengan meminjam nilai Faktor Daya ($\cos \phi$) yang terbaca oleh sensor. Hal ini dilakukan agar perbandingan bersifat "apple-to-apple" (Daya Aktif vs Daya Aktif).

Persamaan yang digunakan:

$$P_{\text{manual}} = V_{\text{clamp}} \times I_{\text{clamp}} \times \cos \phi_{\text{sensor}} \quad (3)$$

Dalam proses verifikasi perhitungan daya secara manual, variabel P_{manual} digunakan untuk merepresentasikan hasil kalkulasi daya aktif dalam satuan Watt. Nilai ini ditentukan berdasarkan pengukuran parameter listrik menggunakan alat ukur eksternal, di mana V_{clamp} adalah tegangan yang terukur pada Clamp Meter (Volt) dan I_{clamp} merupakan kuat arus yang terbaca

pada alat tersebut (Ampere). Selain kedua parameter fisik tersebut, perhitungan ini juga melibatkan variabel *COS ϕ sensor* yang mengacu pada nilai faktor daya yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor PZEM sebagai referensi efisiensi daya dalam sistem.

Perhitungan Error (%) Selisih pengukuran dihitung dengan rumus:

(4)

$$Error\% = \frac{P_{sensor} - P_{manual}}{P_{sensor}} \times 100\%$$

3.4.1 Kebutuhan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. Unit pemroses pusat menggunakan NodeMCU ESP8266 yang berperan ganda, yaitu sebagai mikrokontroler untuk mengolah data dan sebagai modul komunikasi untuk mengirimkan data tersebut ke *Firebase*. Untuk kebutuhan akuisisi data, sistem dilengkapi dengan sensor PZEM-004T yang berfungsi mengukur parameter kelistrikan meliputi tegangan, arus, daya, dan energi, serta sensor YF-S201 yang bertugas mendeteksi debit dan volume air. Seluruh komponen tersebut dirangkai menjadi satu kesatuan sistem dengan bantuan komponen pendukung yang mencakup kabel, konektor, dan *casing* pelindung.

3.4.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Pengembangan sistem ini didukung oleh serangkaian perangkat lunak yang memiliki fungsi spesifik. Proses penulisan kode program dan pengunggahan *firmware* ke dalam mikrokontroler NodeMCU dilakukan menggunakan *Arduino Integrated Development Environment* (IDE). Untuk kebutuhan manajemen data, sistem memanfaatkan *Firebase Realtime Database* sebagai media penyimpanan berbasis *cloud* yang memungkinkan sinkronisasi data secara langsung. Data yang tersimpan tersebut kemudian divisualisasikan melalui antarmuka web yang dibangun menggunakan struktur HTML, yang dapat diakses dan dipantau oleh pengguna melalui web seperti Google Chrome.

Bab 4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Hasil

Pembuatan alat ini memerlukan pengujian alat bahwa sensor PZEM-004T dan YF-S201 mampu membaca para meter yang akana diukur. Sehingga pada pengujian sensor ini dapat diketahui tingkat akurasi, stabil, serta keandalan masing-masing sensor dalam menangkap data konsumsi sesuai fungsi masing-masing sensor. Sehingga proses pengujian tersebut dapat membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur perbandingan, sehingga diperoleh gambaran menyeluruh mengenai performa sistem dan kesesuaian data yang ditampilkan pada web monitoring.

Pada tahap pengujian ini, hasil pengukuran dari sensor PZEM-004T dibandingkan dengan pengukuran menggunakan Tang Ampere (Clamp Meter), yaitu alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur arus tanpa memutuskan sirkuit. Pengujian serupa juga dilakukan pada sensor YF-S201, di mana hasil pembacaan volume air dibandingkan dengan pengukuran menggunakan gelas ukur sebagai alat ukur manual yang memiliki skala terkalibrasi untuk menentukan jumlah air secara langsung dan akurat. Perbandingan kedua metode pengukuran ini bertujuan untuk menilai tingkat akurasi sensor serta memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan parameter yang telah dirancang.

4.1.1. Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian ini bertujuan untuk menilai tingkat akurasi sensor serta memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan parameter yang telah dirancang.

4.1.1.1 Klasifikasi Umum Persentase Error

Klasifikasi umum persentase error digunakan untuk menilai tingkat akurasi sistem pengukuran. Persentase error kurang dari 2% dikategorikan sangat akurat, sedangkan error antara 2% hingga 5% termasuk akurat. Error pada rentang 5% sampai 10% diklasifikasikan cukup akurat dan masih dianggap wajar untuk sistem berbasis IoT karena dipengaruhi karakteristik sensor dan fluktuasi beban.

Sementara itu, persentase error di atas 10% menunjukkan tingkat akurasi yang rendah sehingga sistem perlu dilakukan evaluasi dan kalibrasi. Bisa dilihat untuk kategori persentase eror pada tabel 12 dibawah ini:

Tabel 12. Jadwal Pelaksanaan

Error (%)	Kategori
< 2%	Sangat akurat
2% – 5%	Akurat
5% – 10%	Cukup akurat
> 10%	Kurang akurat

4.1.1.2 Pengujian Sensor PZEM-004T

Pada tahap ini, Berikut adalah data hasil perbandingan antara pembacaan sistem monitoring dengan pengukuran manual menggunakan Clamp Meter pada berbagai jenis beban rumah tangga. Dapat dilihat hasil pengujian pada table 13.

Tabel 13. pengujian sensor PZEM 004T dengan clamp meter

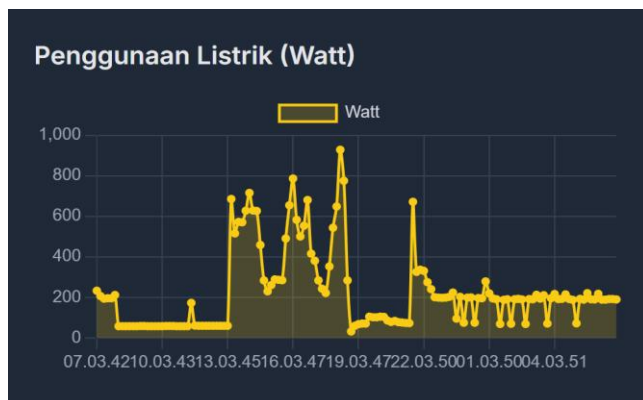
No	Nama Beban	Tegangan Sensor (V)	Arus Sensor (A)	Daya Sensor (W)	Tegangan Clamp (V)	Arus Clamp (A)	Power Factor (PF)	Daya Hitung Manual (W)	Error (%)
1	Pompa Kolam	225.9	0.52	56	225.4	0.43	0.47	46.21	17.49
2	AC (1/2 PK)	224.3	2.66	410	224.1	2.69	0.68	414.25	1.04
3	Setrika	224.6	1.76	394	224.2	1.72	0.99	384.36	2.45
4	Rice Cooker	224.2	1.80	402	223.7	1.76	0.99	392.19	2.44
5	Air Fryer	223.5	3.45	770	222.0	3.41	0.99	755.96	1.82

Tabel 13 menampilkan hasil validasi akurasi pembacaan sensor PZEM-004T yang dikomparasikan dengan perhitungan manual menggunakan data dari *Clamp Meter* terhadap lima jenis beban elektronik rumah tangga. Pengujian mencakup

beban dengan karakteristik induktif dan resistif yang memiliki variasi *Power Factor* (PF) berbeda. Pada beban induktif pertama yaitu Pompa Kolam dengan PF 0.47, tercatat selisih pengukuran yang cukup signifikan dengan persentase *error* mencapai 17.49%, di mana daya sensor terbaca 56 Watt berbanding daya hitung manual 46.21 Watt. Namun, pada beban induktif yang lebih besar seperti AC (1/2 PK) dengan PF 0.68, sensor menunjukkan akurasi yang sangat tinggi dengan tingkat *error* terendah sebesar 1.04%. Sementara itu, untuk kelompok beban resistif murni seperti Setrika, *Rice Cooker*, dan *Air Fryer* yang memiliki nilai PF stabil mendekati 1 (0.99), kinerja sensor terlihat konsisten dengan tingkat penyimpangan yang relatif kecil, yaitu masing-masing sebesar 2.45%, 2.44%, dan 1.82%. Data ini mengindikasikan bahwa sensor bekerja sangat optimal pada beban resistif dan beban induktif besar, namun memiliki deviasi yang lebih tinggi pada beban induktif berdaya rendah.

4.1.1.3 Analisis Harian 24 jam dan Estimasi Biaya Listrik

Untuk menguji kemampuan sistem dalam pemantauan jangka panjang, dilakukan pengambilan data beban listrik selama 24 jam penuh. Data ini diambil dengan interval per jam untuk melihat pola konsumsi energi dan estimasi biaya operasional real-time.



Gambar grafik 13. Tampilan Pemakaian Listrik Harian pada web IoT dalam (24 Jam)

Berdasarkan hasil pengujian jangka panjang yang divisualisasikan pada grafik pemantauan konsumsi listrik pada web monitoring, terlihat adanya variabel beban yang dinamis seiring dengan aktivitas pengguna. Grafik menunjukkan pola konsumsi yang tidak linier, di mana terdapat fase penggunaan daya rendah (*baseload*) dan fase beban puncak (*peak load*) yang sangat fluktuatif. Pada periode aktivitas tinggi, terdeteksi lonjakan daya (*spikes*) yang tajam dan berulang, dengan nilai puncak tertinggi mendekati kisaran 900 hingga 1.000 Watt. Pola lonjakan ini mengindikasikan adanya penggunaan perangkat elektronik berdaya besar yang bekerja secara intermiten atau siklik, seperti penggunaan setrika, pompa air, atau kompresor AC yang menyala-mati (*on-off*) sesuai pengaturan suhu.

Sebaliknya, pada periode waktu tertentu yang ditunjukkan di bagian awal dan akhir grafik, konsumsi energi cenderung menurun dan relatif stabil pada kisaran 200 Watt ke bawah, yang merepresentasikan kondisi *standby* atau beban minimum saat penghuni sedang beristirahat atau tidak ada aktivitas mayor. Fluktuasi kecil yang ritmis pada fase stabil tersebut kemungkinan besar berasal dari perangkat yang selalu menyala (*always-on*), seperti lemari es yang melakukan siklus pendinginan otomatis. Secara keseluruhan, sistem monitoring berbasis IoT ini terbukti mampu menangkap perubahan arus beban yang cepat secara *real-time*, memberikan gambaran detail mengenai profil penggunaan energi harian yang dapat digunakan untuk evaluasi efisiensi biaya.

Tabel 14. Rata-rata Pemakaian Listrik Per Jam (24 Jam)

No	Waktu	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Energi (kWh)	Tagihan (Rp)	Analisis Singkat
1	07.03.42	233	228.5	1.47	2.755	3982	Pagi hari (Aktivitas Normal)
2	08.03.42	58	229.1	0.51	2.954	4270	Pagi hari (Standby/Beban Minimum)
3	09.03.42	58	227.9	0.53	3.051	4410	Pagi hari (Standby/Beban Minimum)

No	Waktu	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Energi (kWh)	Tagihan (Rp)	Analisis Singkat
4	10.03.42	59	228.4	0.54	3.148	4550	Siang hari (Standby/Beban Minimum)
5	11.03.42	100	227.1	0.69	3.255	4705	Siang hari (Aktivitas Normal)
6	12.03.42	59	226.5	0.49	3.370	4872	Siang hari (Standby/Beban Minimum)
7	13.03.42	344	224.2	2.15	3.663	5294	Siang hari (Beban Tinggi)
8	14.03.42	496	223.3	3.06	4.195	6063	Siang hari (Beban Tinggi)
9	15.03.42	492	225.2	3.03	4.630	6692	Sore hari (Beban Tinggi)
10	16.03.42	477	225.8	2.94	5.062	7317	Sore hari (Beban Tinggi)
11	17.03.42	165	225.8	1.07	5.485	7929	Sore hari (Aktivitas Normal)
12	18.03.47	649	223.1	3.94	5.707	8250	Malam hari (Beban Puncak/Peak Load)
13	19.03.47	37	225.5	0.23	5.992	8661	Malam hari (Beban Terendah)
14	20.03.48	105	224.6	0.63	6.094	8808	Malam hari (Aktivitas Normal)
15	21.03.50	239	223.4	1.48	6.273	9068	Malam hari (Aktivitas Normal)

No	Waktu	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Energi (kWh)	Tagihan (Rp)	Analisis Singkat
16	22.03.50	238	224.4	1.55	6.522	9427	Dini hari (Aktivitas Normal)
17	23.03.50	148	225.1	1.01	6.726	9721	Dini hari (Aktivitas Normal)
18	00.03.50	196	225.7	1.28	6.892	9961	Dini hari (Tidur/Beban Rendah)
19	01.03.50	181	226.3	1.19	7.075	10226	Dini hari (Tidur/Beban Rendah)
20	02.03.50	158	226.1	1.09	7.239	10462	Dini hari (Tidur/Beban Rendah)
21	03.03.51	171	226.8	1.15	7.404	10701	Dini hari (Tidur/Beban Rendah)
22	04.03.51	190	227.1	1.25	7.594	10975	Dini hari (Tidur/Beban Rendah)
23	05.03.51	186	228.1	1.23	7.781	11246	Dini hari (Tidur/Beban Rendah)
24	06.03.51	189	228.7	1.24	7.965	11514	Pagi hari (Aktivitas Normal)

Tabel 14 menampilkan hasil pemantauan selama 24 jam memperlihatkan profil konsumsi energi listrik yang sangat dinamis dan berkorelasi langsung dengan pola aktivitas penghuni rumah. Pada pagi hingga siang hari (pukul 08.00–12.00), konsumsi daya cenderung berada pada titik minimum atau fase *standby*, dengan rata-rata penggunaan hanya berkisar antara 58 hingga 100 Watt. Namun, tren

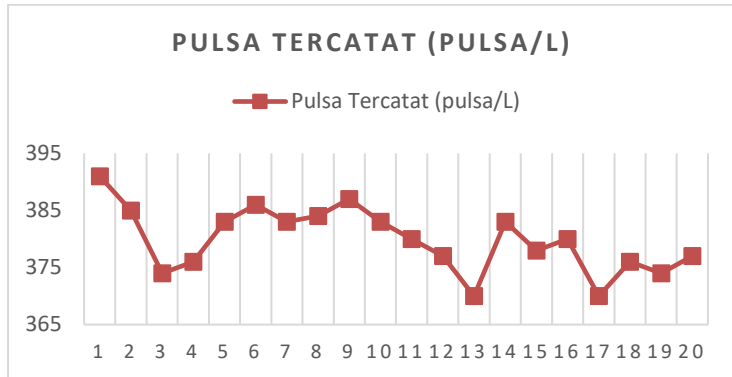
penggunaan energi mengalami peningkatan signifikan memasuki siang menuju sore hari, di mana beban listrik melonjak hingga mencapai 496 Watt pada pukul 14.00, yang mengindikasikan adanya pengoperasian perangkat elektronik berdaya besar secara intensif.

Puncak beban tertinggi (*peak load*) dalam siklus 24 jam ini tercatat pada pukul 18.03, di mana konsumsi daya mencapai angka maksimum sebesar 649 Watt. Menariknya, sistem juga berhasil mendeteksi penurunan beban yang ekstrem satu jam setelahnya, yaitu pada pukul 19.03, di mana daya anjlok ke titik terendah sebesar 37 Watt. Memasuki periode malam hingga dini hari (pukul 22.00 ke atas), pola konsumsi kembali stabil pada kisaran 150–190 Watt, yang merepresentasikan beban dasar saat penghuni sedang beristirahat. Selain fluktuasi daya, parameter tegangan terpantau relatif stabil pada rentang 223–229 Volt. Secara akumulatif, total energi yang dikonsumsi selama satu hari penuh adalah 7,965 kWh dengan total biaya operasional sebesar Rp11.514, yang menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan kalkulasi tarif secara akurat seiring bertambahnya waktu.

4.1.1.4 Pengujian Sensor Flowmeter YF-S201

Pengujian sensor flowmeter YF-S201 dilakukan untuk mengetahui akurasi dalam mengukur volume aliran air. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan gelas ukur. Sebelum pengujian, sensor terlebih dahulu dikalibrasi untuk memperoleh nilai konstanta pulsa yang sesuai dengan kondisi aliran air. Proses kalibrasi dilakukan sebanyak 20 kali menggunakan botol ukur berkapasitas 2 liter. Untuk pengujian akurasi sensor dapat dilihat pada grafik 3 dan table 15 dibawah ini:

Grafik 1. kalibrasi Sensor YF-S201



Grafik 1 di atas menampilkan hasil kalibrasi sensor aliran air (*flow sensor*) tipe YF-S201 yang dilakukan melalui 20 kali iterasi pengujian. Dalam setiap percobaan, volume air yang dialirkan dikondisikan konstan sebanyak 1 liter untuk melihat respons pembacaan pulsa yang dihasilkan oleh sensor. Visualisasi grafik menunjukkan adanya fluktuasi nilai pulsa yang dinamis pada setiap percobaan, meskipun volume air yang melewati sensor adalah sama. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor memiliki karakteristik respons yang sedikit bervariasi terhadap tekanan atau aliran air yang melaluinya, namun masih berada dalam rentang toleransi tertentu.

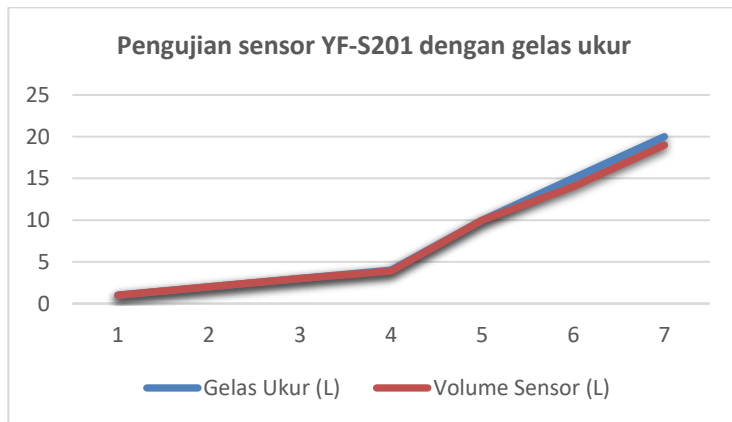
Tabel 15. kalibrasi Sensor YF-S201

No	Volume Aktual (L)	Pulsa Tercatat (pulsa/L)
1	1	391
2	1	385
3	1	374
4	1	376
5	1	383
6	1	386
7	1	383
8	1	384
9	1	387
10	1	383
11	1	380
12	1	377

13	1	370
14	1	383
15	1	378
16	1	380
17	1	370
18	1	376
19	1	374
20	1	377

Tabel 15 diatas merupakan hasil kalibrasi sensor flowmeter YF-S201 menunjukkan hasil pengujian sebanyak 20 kali menggunakan botol ukur berkapasitas 1 liter untuk memperoleh nilai konstanta pulsa per liter yang sesuai dengan kondisi aliran air pada sistem. Hasil kalibrasi memperlihatkan jumlah pulsa yang berbeda pada rentang 370 hingga 391 pulsa per liter, yang dipengaruhi oleh fluktuasi tekanan air dan kestabilan aliran selama proses pengujian. Berdasarkan data tersebut, diperoleh nilai rata-rata sebesar 379,85 pulsa per liter yang selanjutnya digunakan sebagai konstanta kalibrasi dalam sistem monitoring. Penggunaan nilai rata-rata ini bertujuan untuk meminimalkan kesalahan pengukuran dan meningkatkan konsistensi pembacaan volume air oleh sensor YF-S201. Setelah melakukan kalibrasi selanjutnya mengambil hasil perbandingan antara bacaan sensor dengan gelas ukur menghasilkan nilai error dan akurasi, sehingga dapat menentukan kelayakan sensor YF-S201. Pada tabel 16 merupakan hasil pengujian sensor YF-S201 dengan membandingkan menggunakan gelas ukur.

Grafik 2. pengujian sensor YF-S201 dengan gelas ukur



Berdasarkan Grafik 2 yang menampilkan hasil validasi sensor YF-S201 terhadap pengukuran manual menggunakan gelas ukur, terlihat adanya korelasi linear yang sangat kuat antara volume air yang sebenarnya dengan hasil pembacaan sensor. Garis biru pada grafik merepresentasikan volume aktual (standar referensi gelas ukur), sedangkan garis merah menunjukkan data digital yang direkam oleh sensor. Pada rentang pengujian awal hingga menengah (titik 1 hingga 4), kedua garis tampak hampir berimpitan sempurna, yang mengindikasikan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dan responsif terhadap aliran air dalam volume kecil.

Seiring dengan peningkatan volume air menuju kapasitas yang lebih besar (titik 5 hingga 7, mendekati angka 20 liter), mulai terlihat pola deviasi minor di mana garis merah (sensor) berada sedikit di bawah garis biru (gelas ukur). Fenomena ini menunjukkan bahwa meskipun sensor cenderung membaca nilai yang sedikit lebih rendah dibandingkan volume aktual pada debit tinggi, selisih tersebut relatif kecil dan konsisten (linier). Secara keseluruhan, tren kenaikan yang sejajar antara kedua variabel menegaskan bahwa kalibrasi sensor telah berjalan baik dan alat ini layak diimplementasikan untuk pengukuran volume air, dengan tingkat kesalahan (*error rate*) yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.

Tabel 16. pengujian sensor YF-S201 dengan gelas ukur

Percobaan	Gelas Ukur (L)	Volume Sensor (L)	Selisih (L)	Error (%)
1	1	1.00	0,00	0,00%
2	2	2.00	0,00	0,00%
3	3	3.10	0,10	3,33%
4	4	3.90	0,10	2,50%
5	10	10.00	0,00	0,00%
6	15	14.89	0,11	0,73%
7	20	19.93	0,07	0,35%

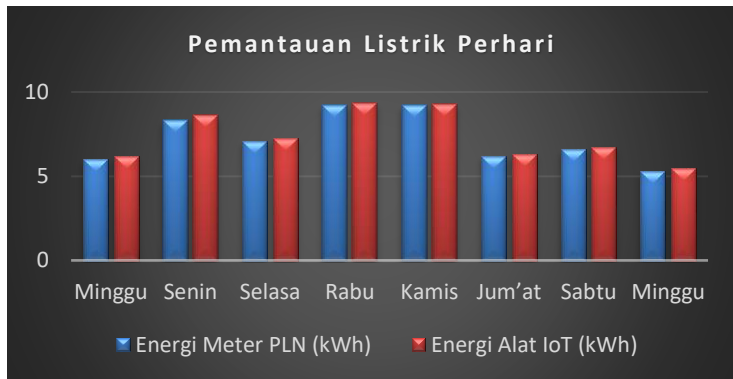
Dari table 16 dan grafik 2 diatas dapat dilihat bahwa Tingkat akurasi sensor YF-S201 dengan membandingkan gelas ukur mendapatkan nilai seperti pada tabel 16. Dari 7 hasil pengujian tersebut dapat dilihat nilai rata-rata error pada sensor YF-S201.

4.1.1.4 Pengujian Sistem Pemantauan Listrik

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam membaca dan menampilkan data konsumsi listrik secara real time melalui web monitoring. Sensor PZEM-

004T digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan energi, kemudian data dikirim ke server lokal dan ditampilkan pada dashboard web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sensor merespon perubahan beban secara cepat dan stabil, serta data yang tampil di web memiliki kesesuaian yang tinggi ketika dibandingkan dengan kWh meter rumah. Berikut merupakan grafik 3 dan table 17 hasil perbandingan meteran Listrik PLN dengan alat monitoring Listrik rumah dalam sehari:

Grafik 3. Pemantauan Listrik Perhari



Berdasarkan Grafik 3 yang menampilkan hasil pemantauan energi listrik harian, terlihat adanya perbandingan langsung antara hasil pengukuran kWh meter standar PLN (batang biru) dengan alat monitoring berbasis IoT yang dikembangkan (batang merah) selama periode pengujian satu minggu. Secara visual, kedua instrumen pengukuran menunjukkan tren yang sangat identik dan berkorelasi kuat, di mana kenaikan maupun penurunan konsumsi energi harian terekam dengan pola yang selaras pada kedua alat tersebut.

Analisis data menunjukkan bahwa konsumsi energi tertinggi terjadi pada pertengahan minggu, tepatnya hari Rabu dan Kamis, dengan total pemakaian mendekati angka 10 kWh. Sebaliknya, penurunan konsumsi yang signifikan terekam pada hari Minggu (akhir periode), di mana energi yang digunakan berada pada kisaran 5 kWh. Meskipun terdapat selisih kecil di mana hasil pembacaan alat IoT cenderung sedikit lebih tinggi (*over-reading*) dibandingkan meter PLN pada beberapa hari, deviasi tersebut sangat minim dan bersifat konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem monitoring IoT memiliki tingkat presisi yang baik dan mampu mereplikasi karakteristik pembacaan meter listrik standar sebagai referensi validasi.

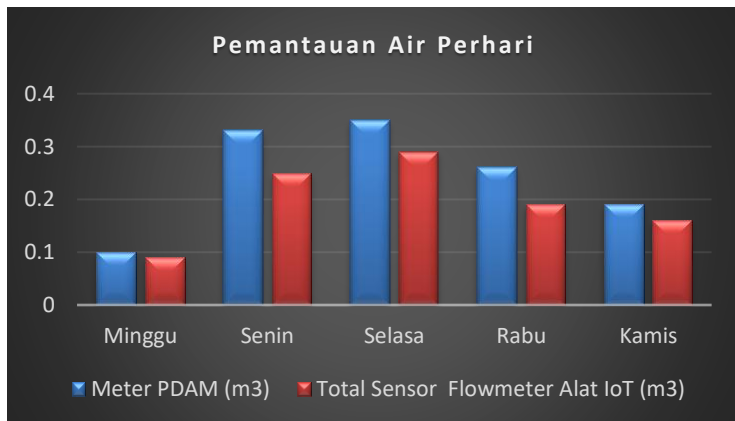
Tabel 17. Pemantauan Listrik Perhari

Hari	Energi Meter PLN (kWh)	Energi Alat IoT (kWh)	Selisih (kWh)	Error (%)
Minggu	6.0	6.181	0,181	3,02
Senin	8.3	8.585	0,285	3,43
Selasa	7.1	7.224	0,124	1,75
Rabu	9.2	9.355	0.155	1,68
Kamis	9.2	9.285	0.085	0,92
Jum'at	6.2	6.317	0,117	1,89
Sabtu	6.6	6.737	0,137	2,08
Minggu	5.3	5.465	0,165	3,11

4.1.1.5 Pengujian Sistem Pemantauan Air

Pengujian sistem pemantauan air dilakukan untuk meningkatkan akurasi pembacaan penggunaan air secara real time melalui web monitoring. Sensor flowmeter YF-S201 digunakan untuk mengukur debit dan volume air, kemudian data dikirim ke server lokal dan ditampilkan pada dashboard web. Pada tabel 18 merupakan hasil pengujian sensor YF-S201 dengan membandingkan meteran Air PDAM rumah dalam perhari. Hasil pemantauan air dalam perhari dapat dilihat pada grafik 4 dan tabel 19 dibawah ini:

Grafik 4. Pemantauan Air Perhari



Grafik 4 menampilkan perbandingan data pemantauan volume air harian antara meteran standar PDAM (batang biru) dan sensor *flowmeter* pada sistem IoT yang dikembangkan (batang merah) selama periode pengujian lima hari. Secara umum, pola konsumsi air yang terekam oleh kedua alat menunjukkan tren yang selaras, di mana fluktuasi kenaikan dan penurunan volume air harian terdeteksi dengan pola yang serupa. Penggunaan air terendah tercatat pada hari Minggu, dengan volume sekitar 0,1 m³, sedangkan puncak konsumsi tertinggi terjadi pada hari Selasa, mendekati angka 0,35 m³ untuk pengukuran PDAM.

Namun, analisis lebih mendalam memperlihatkan adanya perbedaan pembacaan yang konsisten di mana nilai yang terukur oleh sensor IoT (merah) selalu lebih rendah dibandingkan dengan meteran PDAM (biru) pada setiap hari pengujian. Selisih atau *gap* terbesar terlihat cukup signifikan pada hari Senin dan Selasa, di mana sensor IoT mencatat volume yang lebih kecil dibandingkan referensi PDAM. Fenomena *under-reading* ini mengindikasikan adanya faktor koreksi kalibrasi yang mungkin belum presisi atau potensi kehilangan tekanan (*pressure loss*) yang menyebabkan sensor *flowmeter* tidak menangkap seluruh debit air yang lewat, berbeda dengan karakteristik mekanis meter PDAM yang lebih sensitif terhadap aliran lambat. Meskipun demikian, konsistensi pola grafik menunjukkan bahwa sensor IoT tetap mampu memonitor tren penggunaan air secara *real-time*, meskipun memerlukan penyesuaian faktor kalibrasi lebih lanjut untuk mendekati akurasi meter PDAM.

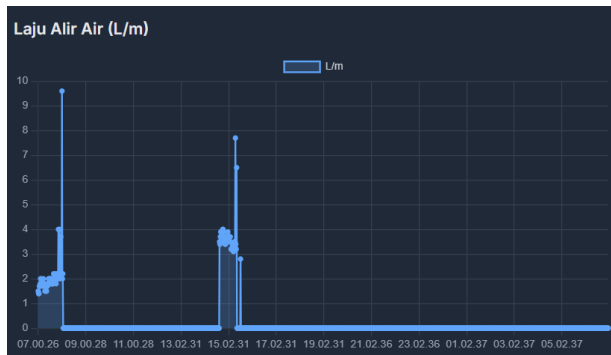
Tabel 19. Pemantauan Air Perhari.

Hari	Meter PDAM (m3)	Total Sensor Flowmeter Alat IoT (m3)	Selisih (L)	Error (%)
Minggu	0.1	0.09	0,01	10,00%
Senin	0.33	0.25	0,08	24,24%
Selasa	0.35	0.29	0,06	17,14%
Rabu	0.26	0.19	0,07	26,92%
Kamis	0.19	0.16	0,03	15,79%

4.1.1.6 Analisis Harian 24 jam dan Estimasi Biaya Air

Untuk menguji kemampuan sistem dalam pemantauan jangka panjang, dilakukan pengambilan data sensor YF-S201 selama 24 jam penuh. Data ini diambil

dengan interval per jam untuk melihat pola konsumsi Air dan estimasi biaya operasional real-time.



Gambar Grafik 14. Tampilan Pemakaian Air Harian web IoT dalam (24 Jam)

Berdasarkan Gambar Grafik 14 yang memvisualisasikan laju alir air (*flow rate*) dalam kurun waktu 24 jam, terlihat pola konsumsi air yang sangat spesifik dan terputus-putus (*intermittent*). Grafik menunjukkan bahwa aktivitas penggunaan air hanya terjadi pada dua periode waktu utama, yaitu pagi hari sekitar pukul 07.00 dan sore hari sekitar pukul 15.00, sementara di luar jam-jam tersebut garis grafik berada pada posisi nol yang menandakan tidak adanya aliran air sama sekali. Pada sesi pagi, terlihat fluktuasi penggunaan air yang bervariasi antara 1 hingga 4 L/m, namun terdapat satu lonjakan tajam (*spike*) di mana debit air mencapai titik tertinggi mendekati 10 L/m.

Pola serupa kembali terjadi pada sore hari, di mana aktivitas penggunaan air terdeteksi lagi dengan intensitas yang sedikit lebih rendah dibandingkan pagi hari, dengan lonjakan puncak (*peak*) mencapai kisaran 8 L/m. Setelah pukul 17.00 hingga keesokan paginya, grafik menunjukkan garis lurus mendatar (*flatline*) pada angka 0 L/m, yang mengonfirmasi bahwa sistem sensor bekerja dengan baik dalam mendeteksi kondisi diam saat penghuni rumah beristirahat atau tidak beraktivitas. Data ini mencerminkan perilaku penggunaan air rumah tangga yang efisien dan hanya berfokus pada jam-jam sibuk tertentu.

Tabel 20. Pengujian pembiayaan listrik

Waktu	Laju Alir (L/min)	Total (L)	Total (m3)	Tagihan (Rp)
10 Jan, 07.00.26	1.5	61.42	614	123
10 Jan, 08.00.28	9.6	177.11	1,771	354
10 Jan, 09.00.28	0.0	182.79	1,828	366
10 Jan, 10.00.28	0.0	182.79	1,828	366
10 Jan, 11.00.28	0.0	183.05	1,831	366
10 Jan, 12.00.28	0.0	183.41	1,834	367
10 Jan, 13.00.28	0.0	183.43	1,834	367
10 Jan, 14.00.28	0.0	183.43	1,834	367
10 Jan, 15.00.28	0.0	183.43	1,834	367
10 Jan, 16.00.28	0.1	184.22	1,842	368
10 Jan, 17.00.28	2.5	215.14	2,151	430
10 Jan, 18.00.29	0.0	231.14	2,311	462
10 Jan, 19.00.29	0.0	231.33	2,313	463
10 Jan, 20.00.29	1.9	234.33	2,343	469
10 Jan, 21.00.29	2.8	258.91	2,589	518

Waktu	Laju Alir (L/min)	Total (L)	Total (m3)	Tagihan (Rp)
10 Jan, 22.00.30	0.0	277.67	2,777	555
10 Jan, 23.00.30	0.0	277.67	2,777	555
11 Jan, 00.00.30	0.0	277.67	2,777	555
11 Jan, 01.00.31	0.0	277.67	2,777	555
11 Jan, 02.00.31	2.4	296.65	2,967	593
11 Jan, 03.00.31	0.0	314.16	3,142	628
11 Jan, 04.00.32	1.1	322.25	3,223	645
11 Jan, 05.00.32	1.6	338.40	3,384	677
11 Jan, 06.00.33	0.0	342.93	3,429	686

4.2. Pembahasan

4.2.1 Pengujian Akurasi Sensor PZEM-004T

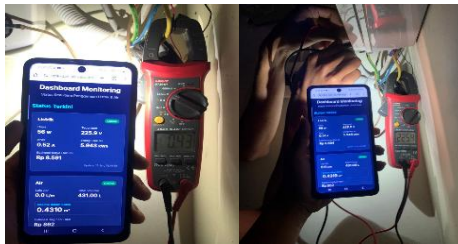
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, data perbandingan antara pembacaan sensor PZEM-004T dan Clamp Meter dapat dilihat pada Tabel 13. Hasil pengukuran mencakup parameter arus (Ampere) dan tegangan (Volt) pada lima jenis beban yang berbeda.

Analisis Data:

- Asal Faktor Daya (PF): Nilai PF pada tabel 13 bervariasi tergantung jenis beban. Pada beban pemanas (Setrika, Rice Cooker), PF bernilai mendekati 1.0, sehingga Daya (W) hampir setara dengan Daya Semu (VA). Namun, pada beban induktif seperti Pompa Air (PF 0.47) dan AC (PF 0.68), efisiensi dayanya lebih rendah.

- Validasi Perhitungan: Dengan memasukkan nilai PF ke dalam rumus manual ($V \times I \times PF$), terlihat bahwa hasil hitungan manual sangat mendekati angka yang tampil di dashboard. Contoh pada AC: Daya Semu adalah 602 VA, namun Daya Aktifnya valid di angka 414 Watt (manual) dan 410 Watt (sensor).

Kesimpulan Akurasi: Rata-rata error untuk beban di atas 300 Watt adalah di bawah 3%, yang menunjukkan sistem bekerja sangat akurat. Error yang tampak besar pada pompa (17%) murni disebabkan oleh keterbatasan sensitivitas Clamp Meter dalam membaca arus kecil ($< 0.5\text{ A}$), bukan kesalahan pada sistem sensor. Data ini memvalidasi bahwa sensor PZEM-004T layak digunakan dalam sistem karena mampu menghasilkan data yang mendekati nilai aktual dari alat ukur standar.



Gambar 15. Mengukur Arus dan tegangan.

4.2.2. Analisis Beban Harian dan Akumulasi Biaya Listrik

Berdasarkan gambar Grafik 13 terlihat bahwa sistem mampu memvisualisasikan pola penggunaan konsumsi energi pengguna. Grafik menunjukkan adanya variasi beban yang dinamis, di mana lonjakan daya yang signifikan terjadi pada rentang waktu siang hingga sore hari, serta mencapai puncaknya pada awal malam hari. Pola ini menunjukkan responsivitas sensor PZEM-004T dan sistem IoT dalam mendeteksi perubahan arus beban seketika.

Analisis lebih mendalam merujuk pada Tabel 14, di mana profil penggunaan energi dapat dikategorikan menjadi beberapa fase aktivitas:

- Fase Beban Puncak (*Peak Load*): Konsumsi daya tertinggi tercatat pada pukul 18.03 WIB, dengan daya mencapai 649 Watt dan arus sebesar 3,94 Ampere.

Pada kondisi ini, tegangan terukur mengalami sedikit penurunan (voltage drop) menjadi 223,1 Volt. Fenomena ini wajar dalam sistem kelistrikan, di mana peningkatan arus beban yang besar sering kali berbanding terbalik dengan tegangan yang terukur.

- Fase Aktivitas Siang Hari: Peningkatan beban yang signifikan juga terdeteksimumai pukul 13.03 WIB hingga 16.03 WIB, dengan rentang daya antara 344 Watt hingga 496 Watt. Hal ini mengindikasikan adanya penggunaan peralatan elektronik berdaya besar secara aktif pada periode tersebut.
- Fase *Standby* dan Beban Minimum: Sistem berhasil mendeteksi kondisi beban terendah pada pukul 19.03 WIB dengan daya hanya 37 Watt (0,23 A). Selain itu, pada pagi hari (pukul 08.00 - 10.00 WIB) dan siang hari (pukul 12.00 WIB), beban relatif stabil di angka rendah (~58-59 Watt), yang merepresentasikan kondisi peralatan dalam mode *standby* atau beban minimum.
- Stabilitas Dini Hari: Pada periode dini hari (pukul 00.00 - 05.00 WIB), grafik dan tabel menunjukkan pola konsumsi yang konstan di kisaran 158 Watt hingga 196 Watt.

Selain parameter kelistrikan, sistem juga berhasil melakukan akumulasi energi (kWh) dan estimasi biaya. Tabel 14 memperlihatkan kenaikan nilai kWh yang linier seiring berjalannya waktu, dimulai dari 2,755 kWh pada awal pengujian hingga mencapai 7,965 kWh pada akhir periode 24 jam. Secara keseluruhan, pengujian ini membuktikan bahwa sistem yang dirancang mampu berfungsi sebagai alat monitoring energi harian yang andal, memberikan informasi biaya, serta membantu pengguna mengidentifikasi waktu-waktu pemakaian listrik tertinggi.

4.2.3. Pengujian Akurasi Sensor YF-S201

Hasil pengujian sensor flowmeter YF-S201 dalam pengukuran volume air dilakukan setelah proses kalibrasi menggunakan konstanta rata-rata sebesar 379,85 pulsa per liter. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan volume air oleh sensor terhadap gelas ukur sebagai acuan pengukuran. Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 16, diperoleh nilai error yang bervariasi pada setiap percobaan. Nilai error terendah sebesar 0,00%, sedangkan nilai error tertinggi sebesar 3,33%. Variasi error

tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kestabilan aliran air, perubahan tekanan, serta respons sensor terhadap debit aliran yang tidak konstan selama proses pengukuran. Meskipun terdapat perbedaan hasil pengukuran pada beberapa percobaan, secara keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor YF-S201 mampu mengukur volume air dengan tingkat akurasi yang masih berada dalam batas toleransi sistem pengukuran berbasis IoT, sehingga sensor ini layak diterapkan pada sistem monitoring konsumsi air rumah tangga. Proses pengambilan data pengujian akurasi sensor menggunakan gelas ukur dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Pengukuran akurasi sensor YF-S201.

4.2.4. Analisis Harian dan Akumulasi Biaya Air

Pengujian stabilitas dan akurasi pembacaan sensor *Water Flow* YF-S201 dilakukan melalui pengambilan data secara kontinu selama 24 jam penuh. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membuktikan kemampuan sistem dalam memantau pola konsumsi air serta melakukan estimasi biaya operasional secara *real-time* dengan interval pengambilan data setiap satu jam.

Berdasarkan data hasil pengujian yang tersaji pada Tabel 20 dan pada Grafik 7, dapat dianalisis beberapa poin penting terkait karakteristik pemakaian air dan kinerja sensor:

- Pola Konsumsi Air Harian Data menunjukkan bahwa sensor berhasil mendeteksi fluktuasi debit air (*flow rate*) yang bervariasi sepanjang hari. Berdasarkan tabel pengujian, terlihat adanya pola penggunaan aktif dan pasif:
 - Puncak Pemakaian Tertinggi: Laju alir air tertinggi tercatat pada pukul 08.00 tanggal 10 Januari, dengan kecepatan aliran mencapai 9.6 L/min. Lonjakan ini mengindikasikan aktivitas penggunaan air yang intensif pada pagi hari.
 - Aktivitas Sore dan Malam: Terdeteksi kembali aktivitas penggunaan air yang cukup signifikan pada pukul 17.00 dengan laju 2.5 L/min dan pukul 21.00 dengan laju 2.8 L/min.
 - Waktu Non-Aktif (Idle): Sistem secara akurat mencatat laju alir 0.0 L/min pada jam-jam tertentu, yang menunjukkan tidak adanya aktivitas penggunaan air pada periode tersebut.
- Akumulasi Volume dan Estimasi Biaya Sistem yang dikembangkan mampu mengonversi data debit air menjadi total volume dan estimasi tagihan secara kumulatif.
 - Akumulasi Volume: Pada awal pengamatan (10 Jan, 07.00), total volume tercatat sebesar 61.42 Liter. Angka ini terus bertambah seiring penggunaan hingga mencapai 342.93 Liter pada akhir pengamatan (11 Jan, 06.00). Hal ini menunjukkan fungsi *counter* atau akumulasi pada mikrokontroler berjalan dengan baik.
 - Korelasi Biaya: Terdapat korelasi linear antara total volume air yang dikeluarkan dengan estimasi tagihan. Sebagai contoh, saat volume total mencapai 177.11 Liter, tagihan terestimasi sebesar Rp 354, dan saat volume mencapai 342.93 Liter, tagihan meningkat menjadi Rp 686. Data ini membuktikan bahwa algoritma perhitungan biaya pada sistem IoT telah berfungsi sesuai dengan parameter harga satuan air yang ditetapkan.
- Kestabilan Pembacaan Sensor Merujuk pada Grafik 7 (Tampilan Pemakaian Air Harian), sistem IoT berhasil memvisualisasikan data tanpa adanya *gap* atau putus data selama 24 jam. Grafik tersebut secara responsif menampilkan lonjakan (mewakili Laju Alir tinggi) dan garis datar (mewakili kondisi diam/nol), yang konsisten dengan data numerik pada tabel.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sensor YF-S201 yang terintegrasi dengan sistem IoT mampu memberikan data pemantauan yang baik, baik untuk parameter laju aliran sesaat (L/min) maupun total konsumsi air (Liter) untuk keperluan manajemen biaya.

4.2.5. Pengujian Sistem Pemantauan Harian

Pengujian sistem pemantauan harian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dalam memantau dan merekam konsumsi listrik dan air secara berkala dalam sehari. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan sistem, keakuratan pencatatan data, serta kesesuaian hasil pemantauan dengan kondisi penggunaan aktual.

4.2.3.1 Listrik

Berdasarkan hasil pengujian sistem pemantauan listrik, sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan mampu membaca dan menampilkan data konsumsi energi listrik secara real time melalui web monitoring dengan baik. Sensor PZEM-004T menunjukkan respon yang cepat terhadap perubahan beban listrik, sehingga nilai tegangan, arus, daya aktif, dan energi dapat diperbarui secara kontinu pada dashboard web. Hasil perbandingan antara energi listrik yang tercatat pada kWh meter PLN dan alat monitoring IoT menunjukkan selisih yang relatif kecil pada 3 hari pengujian. Pada hari Minggu diperoleh error sebesar 3,02% yang termasuk kategori akurat, sedangkan pada hari Senin error sebesar 6,91% yang masih berada dalam kategori cukup akurat. Nilai error terendah terjadi pada hari Selasa sebesar 1,75%, yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik. Perbedaan nilai energi dipengaruhi oleh fluktuasi beban listrik harian serta perbedaan waktu pencatatan data antara sistem IoT dan meter PLN. Secara keseluruhan, sistem ini dinilai mampu memberikan konsumsi energi listrik rumah tangga dengan tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan sebagai alat monitoring. Dapat dilihat untuk pengambilan data sensor PZEM-004T dalam sehari dengan membandingkan meteran PLN rumah dapat dilihat pada gambar 17 dibawah ini.



Gambar 17. Pengujian Sistem Pemantauan Harian listrik.

4.2.3.2 Air

Hasil pengujian sistem pemantauan harian air menunjukkan bahwa sensor flowmeter YF-S201 mampu mengukur debit dan volume air serta menampilkannya secara real time melalui web monitoring. Namun Berdasarkan hasil pengambilan data pemantauan air per hari ditunjukkan pada Tabel 19, diperoleh perbandingan antara hasil pembacaan sensor flowmeter YF-S201 pada sistem IoT dengan meteran air PDAM rumah tangga. Total pemakaian air yang tercatat oleh meter PDAM selama periode pengujian adalah sebesar 1,31 m³, sedangkan sistem IoT mencatat total penggunaan air sebesar 1,02 m³. Perbedaan ini menghasilkan selisih akumulatif sebesar 0,29 m³ atau 290 liter, yang menunjukkan bahwa pembacaan sensor YF-S201 cenderung lebih rendah dibandingkan meteran PDAM.

Selisih pembacaan paling besar terjadi pada hari Selasa dan Kamis, masing-masing sebesar 80 liter dan 70 liter, dengan nilai error harian mencapai 24,24% dan 26,92%. Sementara itu, error terendah terjadi pada hari Senin sebesar 10%, yang menunjukkan bahwa pada kondisi aliran air yang relatif stabil dan debit menengah, sensor YF-S201 masih mampu memberikan hasil pembacaan yang mendekati nilai meteran PDAM. Rata-rata error harian yang relatif tinggi mengindikasikan bahwa akurasi sensor sangat dipengaruhi oleh variasi debit air selama penggunaan.

Perbedaan hasil pembacaan ini disebabkan oleh karakteristik sensor YF-S201 yang menggunakan mekanisme turbin magnetik, di mana akurasi pengukuran sangat bergantung pada kecepatan aliran air. Pada kondisi debit rendah atau aliran air yang tidak kontinu, putaran turbin sensor tidak selalu menghasilkan pulsa yang terdeteksi oleh mikrokontroler, sehingga sebagian volume air tidak terhitung. Berbeda dengan meteran air PDAM yang telah melalui proses kalibrasi pabrik dan

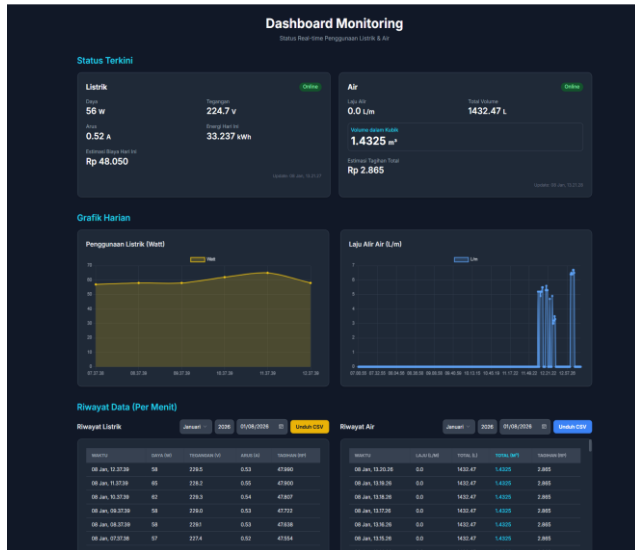
sertifikasi metrologi, sehingga memiliki tingkat presisi yang lebih tinggi terutama pada pengukuran aliran kecil.



Gambar 18. Pengujian Sistem Pemantauan Harian Air.

4.2.6. Kinerja Sistem Monitoring Berbasis Web

Secara keseluruhan, sistem monitoring listrik dan air berbasis web dapat berjalan dengan baik dan stabil. Data hasil pembacaan sensor berhasil dikirimkan ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan pada dashboard web. Tampilan grafik dan tabel memudahkan pengguna dalam memantau konsumsi listrik dan air secara berkala. Integrasi antara sensor, NodeMCU ESP8266, Firebase, dan web monitoring menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai dengan perancangan UML yang telah dibuat, sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Dapat dilihat bentuk dashboard monitoring listrik dan air pada gambar 19 dibawah ini.



Gambar 19. Dashboard Monitoring Berbasis Web.

Berdasarkan tampilan web antarmuka pada Gambar 19, *dashboard* monitoring menunjukkan kinerja sistem yang responsif dalam mengintegrasikan dan memvisualisasikan data dari sensor listrik dan air secara simultan. Pada panel "Status Terkini", sistem berhasil menampilkan parameter kelistrikan secara *real-time* dengan rincian daya terukur sebesar 56 Watt, tegangan 224,7 Volt, dan arus 0,52 Ampere. Lebih lanjut, sistem juga secara otomatis mengonversi data teknis tersebut menjadi informasi ekonomi berupa akumulasi energi hari ini sebesar 33,237 kWh dan estimasi biaya harian yang mencapai Rp48.050. Informasi finansial ini sangat krusial karena memberikan transparansi biaya langsung kepada pengguna tanpa perlu menunggu tagihan bulanan.

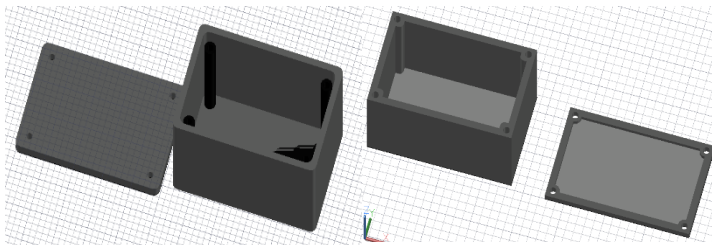
Di sisi lain, panel monitoring air menampilkan status laju alir 0,0 L/m yang menandakan tidak ada aktivitas penggunaan air pada saat pengambilan data (kondisi keran tertutup), namun sistem tetap menyimpan rekam jejak total volume kumulatif sebesar 1.432,47 Liter atau setara 1,4325 m³ dengan total tagihan terhitung Rp2.865. Visualisasi data ini diperkuat dengan adanya "Grafik Harian" yang memetakan tren penggunaan; grafik listrik memperlihatkan profil beban yang cenderung stabil di kisaran 50-60 Watt yang mengindikasikan beban dasar (*base load*), sedangkan grafik air menunjukkan pola penggunaan intermiten dengan lonjakan aktivitas (*spikes*) yang jelas terlihat pada rentang waktu siang

hari. Selain itu, tabel "Riwayat Data" di bagian bawah membuktikan bahwa sistem mampu melakukan *data logging* per menit secara presisi, mulai dari pukul 07.37 hingga 12.37, yang dilengkapi dengan fitur unduh CSV untuk keperluan arsip dan analisis lanjutan.

4.2.7. Desain Alat Monitoring Listrik dan Air

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi yang telah dilakukan, desain alat monitoring biaya listrik dan air berbasis Internet of Things (IoT) menunjukkan kesesuaian dengan rancangan awal. Penempatan sensor pada jalur utama listrik dan pipa air memungkinkan sistem memperoleh data total pemakaian rumah tangga secara menyeluruh. Pada sisi mekanikal, desain casing yang dirancang menggunakan AutoCAD telah disesuaikan dengan dimensi komponen dan kondisi lingkungan kerja. Casing mampu melindungi rangkaian elektronik dari gangguan fisik serta percikan air, sekaligus memudahkan proses instalasi dan perawatan. Tata letak komponen di dalam casing juga membantu menjaga kerapian rangkaian dan mengurangi risiko gangguan koneksi antar modul selama sistem beroperasi.

Selain itu, penggunaan Unified Modeling Language (UML) melalui sequence diagram memberikan gambaran alur kerja sistem yang jelas, mulai dari proses pembacaan sensor, pengiriman data ke Firebase Realtime Database, hingga penampilan data pada web monitoring. Implementasi sistem yang mengikuti perancangan UML ini menunjukkan bahwa alur komunikasi antar komponen berjalan sesuai dengan desain, sehingga sistem mampu bekerja secara stabil dan terstruktur. Dengan demikian, desain alat yang dibuat tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga mendukung keandalan sistem monitoring dalam menampilkan data konsumsi listrik dan air secara real-time melalui web.



Gambar 20. Desain alat monitoring listrik dan air.

Bab 5. Penutupan

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan pada sistem monitoring biaya listrik dan air berbasis IoT ini, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring biaya listrik dan air berhasil dikembangkan dengan mengintegrasikan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor PZEM-004T, dan sensor YF-S201. Keberhasilan implementasi ini tidak terlepas dari penerapan metode *Unified Modeling Language* (UML), khususnya penggunaan *Sequence Diagram*, yang terbukti efektif dalam memodelkan alur kerja sistem secara terstruktur sehingga mempermudah proses pengembangan perangkat lunak. Seluruh data hasil pembacaan sensor berhasil dikirimkan ke *Firestore Realtime Database* dan divisualisasikan pada antarmuka web secara *real-time*.

Dari segi kinerja pengukuran, hasil pengujian menunjukkan karakteristik akurasi yang berbeda antara kedua parameter. Sensor listrik PZEM-004T menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan tingkat akurasi tinggi serta *error* harian yang kecil dan stabil saat divalidasi terhadap meteran PLN. Sebaliknya, pengukuran volume air menggunakan sensor *flowmeter* YF-S201 menunjukkan tingkat akurasi yang rendah dengan deviasi *error* yang cukup besar dan tidak konsisten jika dibandingkan dengan meteran PDAM. Ketidakakuratan ini terutama disebabkan oleh keterbatasan karakteristik sensor berbasis turbin magnetik yang kurang sensitif dalam mendeteksi debit air rendah dan aliran yang tidak stabil, sehingga menyebabkan hasil pengukuran volume air cenderung lebih kecil (*under-reading*) dari nilai sebenarnya. Meskipun terdapat limitasi pada sensor air, secara fungsional sistem ini telah mampu melakukan kalkulasi estimasi biaya otomatis berdasarkan tarif yang berlaku, memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau pengeluaran listrik dan air secara transparan melalui peramban web.

5.2. Saran

Untuk pengembangan sistem yang lebih optimal, terdapat beberapa rekomendasi teknis dan fungsional yang dapat dipertimbangkan. Aspek pertama yang perlu ditingkatkan adalah keamanan data, di mana disarankan untuk mengimplementasikan mekanisme autentikasi pengguna yang lebih ketat pada antarmuka web guna memastikan bahwa data konsumsi hanya dapat diakses

secara aman oleh pemilik rumah yang berhak. Selanjutnya peningkatan akurasi pengukuran air dengan mengganti sensor tipe YF-S201 yang berbasis turbin dengan sensor berbasis ultrasonik atau tipe *positive displacement* (piston). Langkah ini direkomendasikan karena sensor turbin terbukti memiliki keterbatasan dalam membaca aliran kecil, sedangkan teknologi ultrasonik atau piston memiliki sensitivitas yang jauh lebih tinggi dalam mendeteksi debit air rendah (*low flow rate*) bahkan tetesan air. Penggantian ini diharapkan mampu meminimalisir selisih pembacaan (*error*) sehingga presisi pengukuran sistem IoT dapat mendekati standar meteran air PDAM. Selain itu, sistem juga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur notifikasi cerdas yang berfungsi memberikan peringatan dini kepada pengguna apabila terdeteksi anomali atau penggunaan listrik dan air yang tidak wajar, sehingga upaya penghematan dapat dilakukan lebih dini.

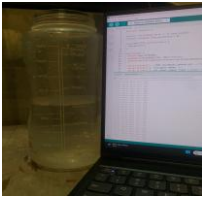
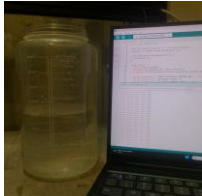
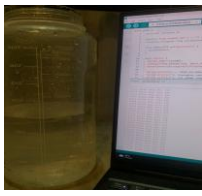
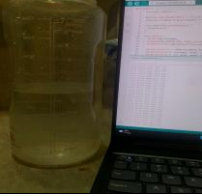
Daftar Pustaka

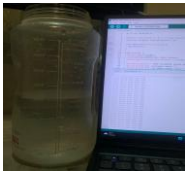
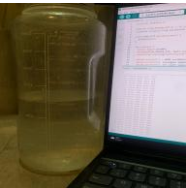
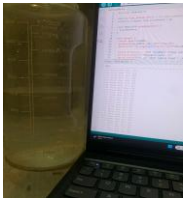
- [1] D. Listrik Bagi Pelanggan Rumah Tangga Berbasis IoT dan Z. Abidin, "Desain dan Implementasi Sistem Monitoring Pemakaian Design and Implementation of an IoT-Based Electrical Power Usage Monitoring System for Household Customers," *Cogito Smart Journal* |, vol. 9, no. 2, 2023.
- [2] S. Sidik dan W. Haryono, "SIMULASI SISTEM MONITORING DAN KONTROLING SUHU DAN KELEMBABAN RUANGAN LAB KALIBRASI BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS) (STUDI KASUS : PT.QUANTUM INTI AKURASI)," 2024.
- [3] E. Riana *dkk.*, "ANALISIS TINGKAT KONSUMSI AIR BERSIH PADA RUMAH TANGGA DI WILAYAH KERJA PUSKESMAS MAKRAYU KOTA PALEMBANG TAHUN 2023 ANALYSIS OF CLEAN WATER CONSUMPTION LEVELS IN HOUSEHOLDS IN THE WORK AREA OF THE PALEMBANG MAKRAYU HEALTH CENTER IN 2023," 2023.
- [4] D. N. Putri, A. P. Ramadhani, C. Manurung, B. Purba, P. Studi, dan I. Ekonomi, "Konsep Konsumsi Energi Di Indonesia Serta Menganalisis Keterkaitannya Dengan Emisi Gas Rumah Kaca," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 10, no. 14, hlm. 338–345, 2024, doi: 10.5281/zenodo.13456203.
- [5] M. B. Yusuf *dkk.*, "IMPLEMENTASI SISTEM IOT UNTUK MONITORING KONSUMSI ENERGI LISTRIK DI RUMAH PINTAR," *Journal of Digital Business and Technology Innovation (DBESTI)*, vol. 2, no. 1, hlm. 28–34, 2025, [Daring]. Tersedia pada: www.pemantauan.com,
- [6] A. Maulana Ibrahim, A. Solikhin, M. Karya Mandiri, dan P. Studi Manajemen Informatika Politeknik Mitra Karya Mandiri, "SISTEM KONTROL DAN MONITORING BERBASIS IoT PADA LAMPU DAN AC DI LABORATORIUM KOMPUTER POLITEKNIK MITRA KARYA MANDIRI," 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/just-it/index>
- [7] W. Yuniarto, M. Diponegoro, E. Program Studi Teknik Elektro, P. Negeri Pontianak, K. Barat, dan K. Kunci, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things (IoT)," 2023.
- [8] N. Imansyah dan S. H. Widiastuti, "Sistem Kontrol dan Monitoring Penggunaan Air Berbasis IoT Menggunakan Modul ESP8266," *Jurnal Informasi dan Teknologi*, hlm. 108–113, Sep 2022, doi: 10.37034/jidt.v4i3.207.
- [9] Ahmad Muzakir, "SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK INTERNET OF THINGS (IoT)," 2023.

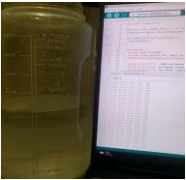
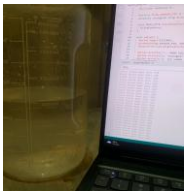
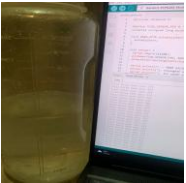
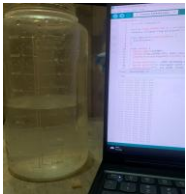
- [10] A. Hashfi Fauzan Burhan, I. Vitra Paputungan, dan K. Dwi Irianto, "Sistem Monitoring Listrik Cerdas Prabayar Berbasis Web."
- [11] "JURNAL THORIQ JEITECH23".
- [12] "Handson Technology User Guide YF-S201B Water Flow Sensor." [Daring]. Tersedia pada: www.handsontec.com
- [13] W. F. Galla, S. Syam, S. Kurniati, dan H. Artikel, "RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI DAN MONITORING ARUS DAN TEGANGAN LISTRIK BERBASIS TELEGRAM Info Artikel ABSTRACT," *Jurnal Media Elektro*, 2022, doi: 10.35508/JME.V0I0.8045-Nursalim.
- [14] "PZEM-004T."
- [15] M. A. Rofiq dkk., "Implementasi Logika Fuzzy Terhadap Kontrol dan Monitoring Pada Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 15, no. 1, hlm. 47, Jan 2024, doi: 10.22441/jte.2024.v15i1.008.
- [16] "ESP 8266." [Daring]. Tersedia pada: <https://www.espressif.com/en/subscribe>.
- [17] D. A. Android dkk., "Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase."
- [18] N. Imansyah dan S. H. Widiastuti, "Sistem Kontrol dan Monitoring Penggunaan Air Berbasis IoT Menggunakan Modul ESP8266," *Jurnal Informasi dan Teknologi*, hlm. 108–113, Sep 2022, doi: 10.37034/jidt.v4i3.207.
- [19] M. R. Simulingga, K. Santa, dan Q. C. Kainde, "Aplikasi Monitoring Kelayakan Air Pada Saluran Irigasi Sawah Berbasis Iot Menggunakan Metode Rapid Application Development IOT-Based Water Suitability Monitoring Application In Rice Field Irrigation Channels Using The Rapid Application Development Method".

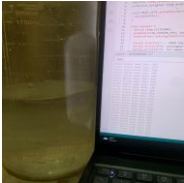
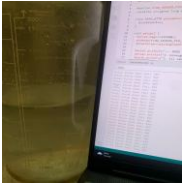
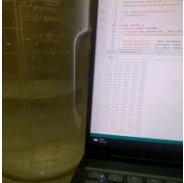
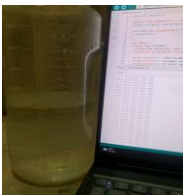
Lampiran A - Foto Hasil Pengujian Sensor

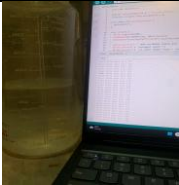
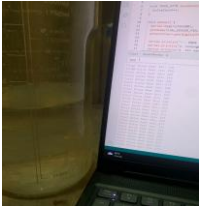
- Dokumentasi Hasil Pengujian Air
 - Foto dokumentasi kalibrasi sensor YF-S201

Percobaan	Foto
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 391 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 385 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 374 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 376 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi	

Percobaan	Foto
sensor YF-S201 yaitu 383 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 386 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 383 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 384 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 387 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	

Percobaan	Foto
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 383 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 380 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 377 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 370 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 383 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	

Percobaan	Foto
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 378 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 380 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 370 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 376 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 374 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	

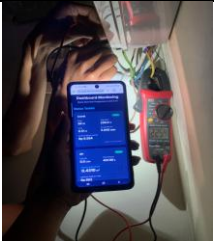
Percobaan	Foto
	
Percobaan pertama ini mendapatkan hasil kalibrasi sensor YF-S201 yaitu 377 putaran kincir sensor YF-S201 dalam 1 liter gelas ukur.	

- Dokumentasi Pemantauan Air Perhari.

Hari	Foto
1	
2	
3	

Hari	Foto
	
4	
5	

○ Dokumentasi Pengujian Sensor PZEM-004T

Jenis Beban	Foto Pengukuran Tegangan	Foto Pengukuran Arus
Pompa Kolam		

○ Dokumentasi Hasil Pengujian Listrik

Hari	Foto
1	
2	
3	
4	

Hari	Foto
5	 A hand holds a smartphone displaying a smart meter app. The app screen shows a green bar graph and numerical data. The smart meter itself is mounted on a wall, displaying a digital readout of 00000 and a green indicator light. Below the meter is a blue label with the text 'SMAS 1'.
6	 A hand holds a smartphone displaying a smart meter app. The app screen shows a green bar graph and numerical data. The smart meter itself is mounted on a wall, displaying a digital readout of 00000 and a green indicator light. Below the meter is a blue label with the text 'SMAS 1'.
7	 A hand holds a smartphone displaying a smart meter app. The app screen shows a green bar graph and numerical data. The smart meter itself is mounted on a wall, displaying a digital readout of 00000 and a green indicator light. Below the meter is a blue label with the text 'SMAS 1'.