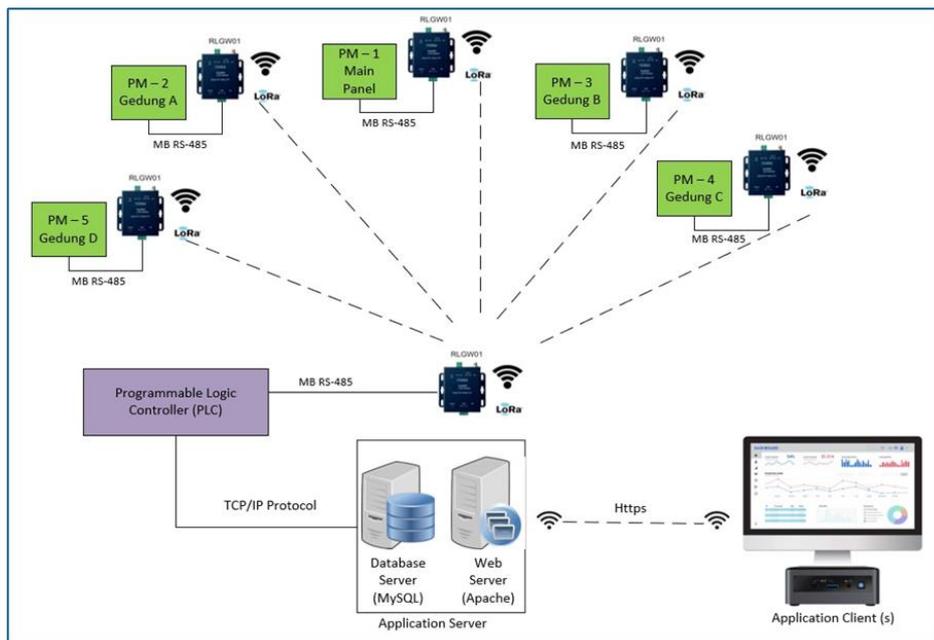


Dokumen Prototipe

Tema Riset:

"Pengembangan Platform Inovatif untuk Monitoring dan Audit Energi: Solusi Digital dalam Meningkatkan Efisiensi Pengelolaan Energi pada Bangunan Gedung"

Prepared by: Syahril Ardi, Surawan Setiyadi, Suhendra



Politeknik Astra

Jakarta 2025

Daftar Isi

1. Halaman Judul
 2. Ringkasan eksekutif
 3. Latar Belakang
 4. Konsep Platform Prototipe
 5. Spesifikasi Teknis
 6. Penutup
 7. Daftar Pustaka
- Lampiran: Dokumen Penelitian dan Publikasi Ilmiah di Politeknik Astra

1. Halaman Judul

- Judul lengkap penelitian: Pengembangan Platform Inovatif untuk Monitoring dan Audit Energi: Solusi Digital dalam Meningkatkan Efisiensi Pengelolaan Energi pada Bangunan Gedung
- Nama tim peneliti/pengembang: Syahril Ardi, Surawan Setiyadi, Suhendra
- Institusi/organisasi: Politeknik Astra
- Tanggal pembuatan dokumen: 4 April 2025

2. Ringkasan Eksekutif

2.1 Gambaran umum proyek prototipe

Pentingnya efisiensi energi semakin dirasakan seiring dengan meningkatnya biaya energi dan perhatian terhadap dampak perubahan iklim. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi digital yang dapat **memonitor dan menganalisis** konsumsi energi secara real-time, yang memungkinkan pengelolaan yang lebih baik dan pengambilan keputusan yang tepat untuk meningkatkan efisiensi energi. Urgensi penelitian ini adalah untuk mengembangkan platform sistem monitoring energi berbasis teknologi digital yang dapat membantu melakukan audit energi secara lebih efisien dan akurat di bangunan gedung. Hal ini dapat mendorong penghematan energi yang signifikan serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Kami sebelumnya telah melakukan **riset terapan** terkait sistem monitoring energi dengan menggunakan berbagai metode dan kasus yang beragam

2.2 Tujuan pembuatan prototipe

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah platform inovatif yang mampu memonitor dan melakukan audit energi secara otomatis pada bangunan gedung. Secara lebih spesifik, tujuan penelitian ini adalah:

- Membuat platform digital yang dapat memantau penggunaan energi secara real-time di gedung untuk memberikan informasi yang akurat tentang konsumsi energi dan potensi pemborosan.
- Menyediakan alat bantu audit energi berbasis digital yang dapat menghasilkan laporan yang terperinci, analisis, dan rekomendasi untuk peningkatan efisiensi energi.

2.3 Manfaat utama dari sistem yang dikembangkan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan platform Inovatif untuk Monitoring dan Audit Energi: Solusi Digital dalam Meningkatkan Efisiensi Pengelolaan Energi pada Bangunan Gedung. Berikut adalah hasil yang diharapkan dari penelitian ini:

- Prototipe platform dengan antarmuka pengguna yang intuitif dan dashboard interaktif.
- Sistem pemantauan energi yang mendalam dan akurat yang dapat mengidentifikasi pola konsumsi energi yang tidak efisien.

3. Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi listrik di berbagai sektor, khususnya di bangunan gedung, telah menyebabkan meningkatnya konsumsi energi dan biaya operasional. Dalam rangka mendukung keberlanjutan dan efisiensi energi, pengelolaan energi yang lebih cerdas dan berbasis teknologi sangat diperlukan. Sistem monitoring energi listrik yang efisien dan alat bantu audit energi menjadi solusi yang potensial untuk mengidentifikasi pola konsumsi energi yang tidak efisien dan mengurangi pemborosan energi di bangunan gedung.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian pengembangan platform sistem monitoring energi pada bangunan gedung bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Bagaimana cara memantau konsumsi energi secara real-time di bangunan gedung dengan akurat dan efisien?
2. Apa penyebab utama terjadinya pemborosan energi dalam operasional bangunan gedung?
3. Bagaimana platform digital dapat membantu proses audit energi secara otomatis dan terstruktur?
4. Apa jenis teknologi (hardware & software) yang paling tepat untuk dikembangkan pada sistem monitoring energi bangunan?

Penelitian ini menjadi penting mengingat peran pengelolaan energi untuk efisiensi & digitalisasi audit energi. Beberapa alasan mengapa penelitian ini penting adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan global akan efisiensi energi.
2. Bangunan gedung merupakan salah satu konsumen energi terbesar, baik di sektor publik maupun swasta. Dengan meningkatnya harga energi dan tekanan global terhadap isu perubahan iklim, efisiensi energi menjadi keharusan, bukan lagi pilihan.
3. Minimnya sistem audit energi yang otomatis dan terjangkau.
4. Audit energi di Indonesia umumnya masih dilakukan secara manual dan berkala, sehingga: tidak real-time, kurang efisien dan mahal, tidak responsif terhadap perubahan beban
5. Dukungan terhadap regulasi dan kebijakan energi.
6. Pemerintah melalui Kementerian ESDM mendorong implementasi Manajemen Energi di sektor bangunan dan industri. Platform ini: mendukung pelaksanaan PP No. 70/2009 tentang Konservasi Energi, mempermudah pemilik gedung dalam mematuhi regulasi audit energi, membantu pelaporan dan dokumentasi sesuai standar.
7. Percepatan transformasi digital di sektor bangunan gedung.
8. Potensi replikasi dan dampak luas, yaitu dalam rangka potensi komersialisasi teknologi dalam negeri, kolaborasi lintas sektor (pendidikan, industri, pemerintah)

Pendekatan Pemecahan Masalah

Melalui beberapa langkah terstruktur yang berfokus pada teknologi, desain sistem, dan implementasi yang tepat guna. Berikut adalah pendekatan pemecahan masalah yang dapat diambil:

1. Pengumpulan Data dan Analisis Kebutuhan
2. Desain dan Pengembangan Platform: Desain Arsitektur Sistem; Pengembangan Perangkat Lunak; Mengembangkan aplikasi atau dashboard berbasis web; Integrasi IoT
3. Pengujian dan Validasi Sistem: Uji Coba Sistem di Lokasi Nyata; Validasi Akurasi Data

State-of-the-Art

1. **Sistem Monitoring Energi Berbasis IoT.** Penggunaan Internet of Things (IoT) dalam pemantauan dan pengelolaan energi semakin berkembang, dengan sensor-sensor yang terhubung secara real-time untuk mengumpulkan data penggunaan energi pada berbagai peralatan dan infrastruktur gedung
2. **Audit Energi Otomatis.** Audit energi otomatis sudah mulai diterapkan dalam beberapa sistem pengelolaan gedung, dengan alat bantu yang menganalisis data konsumsi energi untuk menemukan pola-pola pemborosan energi.
3. **Dashboard Analitik dan Laporan Energi.** Beberapa platform digital telah mengembangkan dashboard analitik untuk visualisasi data penggunaan energi, namun kebanyakan masih berfokus pada pelaporan dasar dan tidak mendalam dalam memberikan wawasan atau rekomendasi terkait perbaikan efisiensi energi.

Kebaruan (Novelty) Penelitian

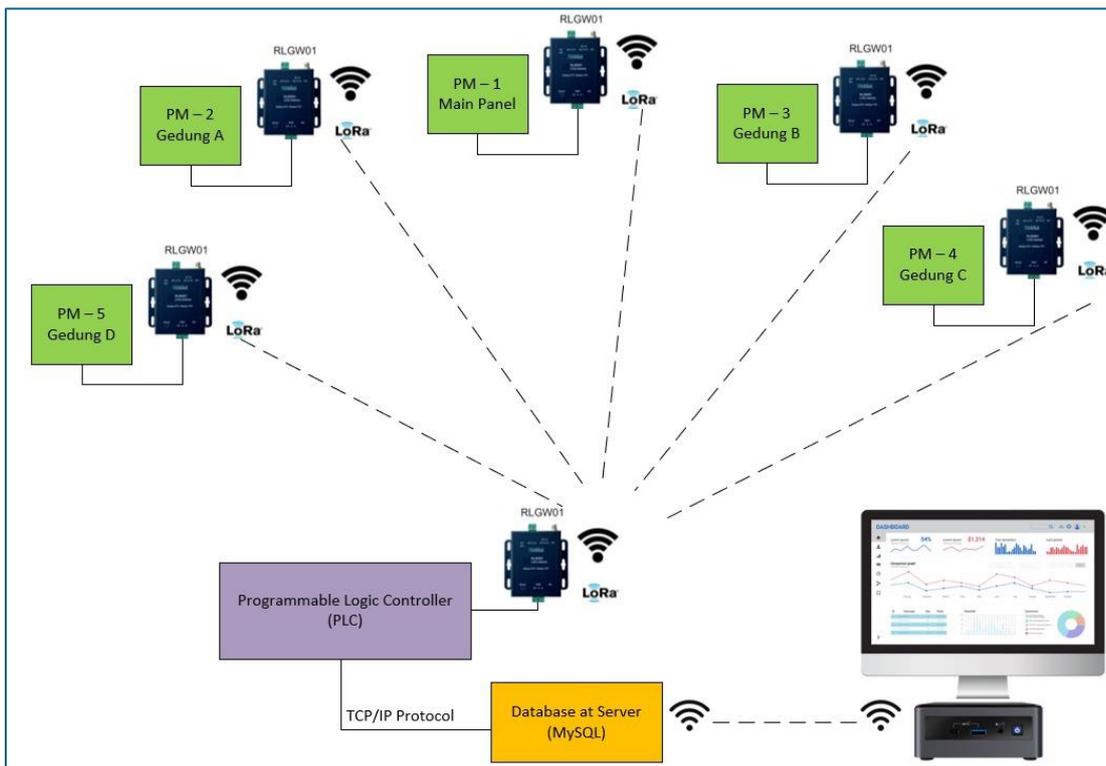
Penelitian ini memiliki beberapa elemen kebaruan yang membedakannya dari sistem yang ada, yang meliputi: **Integrasi Real-Time Monitoring dan Audit Energi.** Salah satu kebaruan utama dari penelitian ini adalah **pengembangan platform yang mengintegrasikan monitoring energi real-time dengan laporan audit energi otomatis.** Pemanfaatan Dashboard yang memungkinkan pengelola gedung untuk melihat data konsumsi energi.

Penelitian ini memiliki beberapa elemen kebaruan yang membedakannya dari sistem yang dikembangkan sebelumnya, yang meliputi:

- **Integrasi Real-Time Monitoring dan Audit Energi.** Salah satu kebaruan utama dari penelitian ini adalah pengembangan platform yang mengintegrasikan monitoring energi real-time dengan laporan audit energi otomatis, dalam hal ini **penggunaan PLC** sebagai controller utama yang menjadi standar industri.
- Pemanfaatan Dashboard yang memungkinkan pengelola gedung untuk melihat data konsumsi energi secara real time dan otomatis, dalam hal ini **penerapan system database yang menggunakan database server dan web server.**
- Penyimpanan dan pengolahan **database** untuk **proses data mining** sebagai rujukan manajemen efisiensi energi.

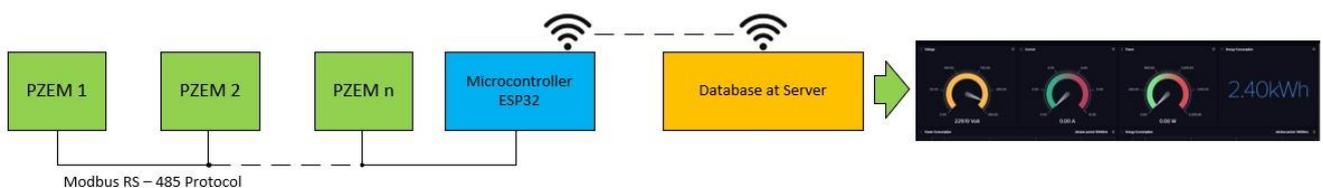
4. Konsep Platform Prototipe

Sistem pemantauan dan pengendalian energi yang diusulkan dalam penelitian ini melibatkan pengembangan perangkat keras yang menggunakan **PLC**, dan **sensor energi PZEM-004T**. Perangkat lunak pada sistem penelitian ini, yaitu **Database Server dan Web Server** sebagai pengembangan **dashboard** dan backend, kemudian ditampilkan dalam system dashboard digunakan sebagai manajemen basis data, dan visualisasi data. Prototipe yang telah berhasil dibuat memiliki fitur yang sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu menampilkan konsumsi listrik masing-masing perangkat secara individu dan memantau mereka dalam jangka waktu tertentu.



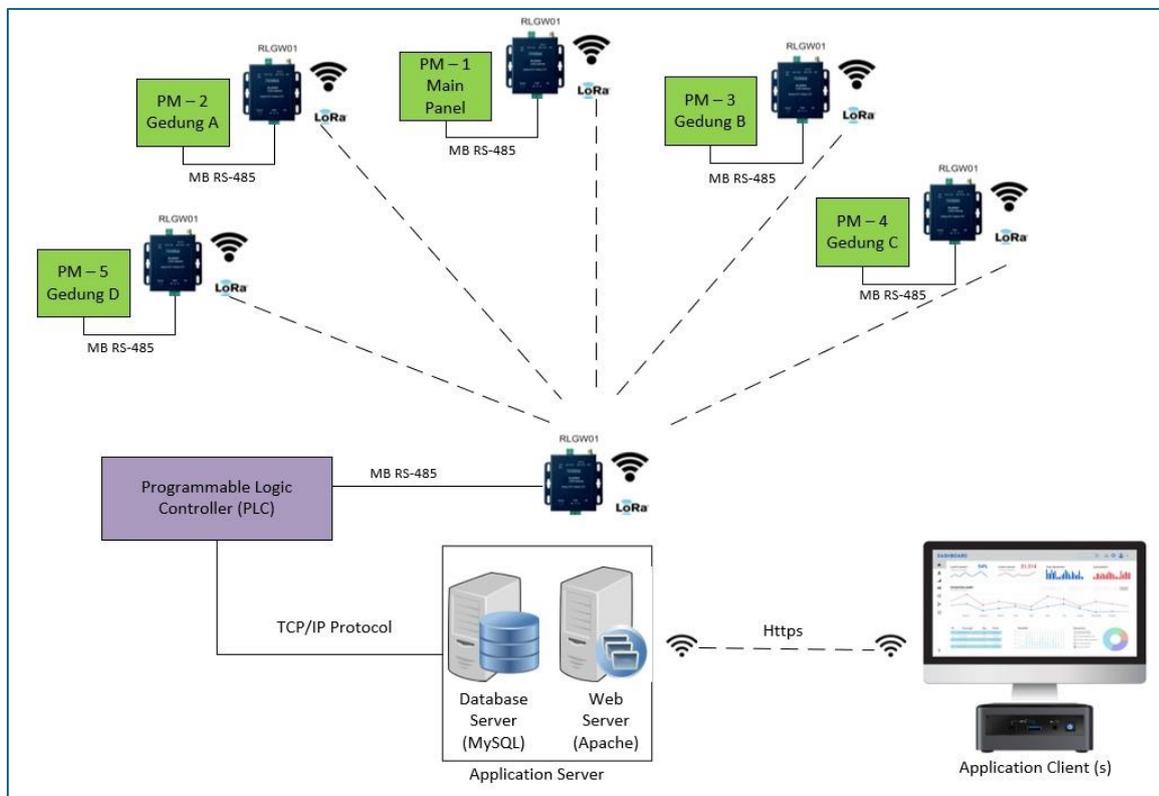
Gambar 1. Overview konsep platform

Prototipe awal: "power meter" dibuat menggunakan mikrokontroler ambil data dari PZEM-004T → data masuk ke Mikrokontroler → database (dashboard)



Gambar 2. Alur Database → Dashboard

Dari Power Meter ini, data-datanya (tegangan, arus, energy) diambil ke PLC via protokol RS 485, kemudian dari PLC masuk ke database via protokol TCP/IP.

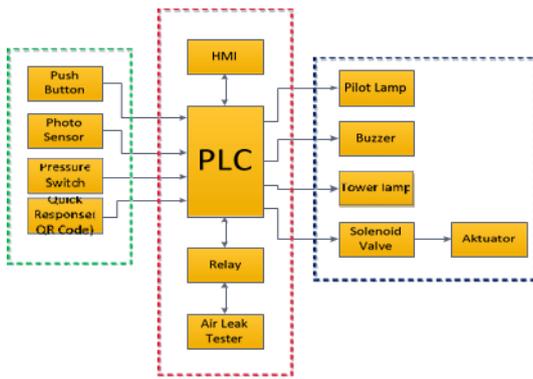


Gambar 3. Alur komunikasi PM ke LoRa menggunakan MB RS-485

Disain Sistem Kendali

Gambar 3 memperlihatkan disain diagram blok sistem kendali. Diagram blok ini menggambarkan garis besar proses komunikasi pada sistem kendali. Sistem pengendali PLC mendapat pemicu dari modul masukan berupa sensor dan tombol, kemudian semua masukan tersebut diolah oleh PLC dan dijalankan sesuai dengan program yang sudah *dicompile* ke PLC. Prinsip kerjanya adalah masukan PLC memberikan sinyal, lalu sinyal tersebut diproses untuk menggerakkan keluaran atau sinyal tersebut digunakan untuk memberikan informasi ke masukan air leak tester.

Selanjutnya sinyal tersebut diproses dan menghasilkan sinyal keluaran air leak tester dan sinyal keluaran tersebut diolah kembali oleh PLC untuk memerintahkan keluaran berupa pilot lamp dan buzzer yang berfungsi sebagai tanda apakah produk yang dilakukan pengujian sudah OK (Good) atau NG (Not Good). Pada dasarnya, pemodelan dan disain sistem kendali pada sistem otomasi industri, banyak memiliki kesamaan konsep tetapi dengan proses-proses dan urutan langkah yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi mesin otomasinya.



Gambar 3. Sistem Kendali

Implementasi Sistem

Pemantauan energi listrik dengan IoT dapat diimplementasikan untuk gedung komersil, industri manufaktur, atau rumah tangga. Studi kasus yang sudah dilakukan adalah melakukan pemantauan energi listrik di beberapa ruangan di Politeknik Astra. Pada panel utama ruang laboratorium dipasang sensor PZEM-004T sebagai deteksi arus dan tegangan yang digunakan masing-masing laboratorium. Sensor tersebut dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 yang berada dalam satu panel. Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk membaca data sensor, serta mengolah data tersebut sehingga data dapat dikirim ke *software* node-red, dan database InfluxDB. Gambar 4 menunjukkan panel utama beserta sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32.



Gambar 4. Prototipe terpasang



Gambar 5. Alat terpasang di sebuah panel

5. Tahapan dan Metode Penelitian

A. Pematangan Desain dan Pengembangan Platform

1. Proses:

- Desain Sistem Monitoring Energi Listrik dengan IoT yang real-time (integrasi antara: PLC; HMI; Power Meter; LoRa Module; TV Monitor)
- Mendesain arsitektur system monitoring energi yang terintegrasi.
- Menentukan fitur utama dashboard

2. Luaran: Dokumen desain sistem.

3. Indikator capaian: Desain sistem dibuat dan disetujui

4. PIC: Tim teknis dan pengembang sistem.

B. Pengembangan Sistem

1. Proses:

- Implementasi desain & platform hardware & software.
- Integrasi sistem.
- Pengujian fungsional awal.

2. Luaran: Sistem monitoring energi & Dashboard.

3. Indikator capaian: Sistem dapat berfungsi sesuai spesifikasi.

4. PIC: Tim pengembang sistem.

C. Implementasi dan Uji Coba

1. Proses:

- Uji coba terbatas di bangunan gedung pengusul.
- Pengumpulan data pengalaman pengguna dan identifikasi masalah.

2. Luaran: Laporan hasil uji coba.

3. Indikator capaian: User acceptance test.

4. PIC: Tim peneliti dan pengembang sistem.

D. Evaluasi

1. Proses:

- Analisis data hasil uji coba.
- Pengukuran usability system.
- Penyusunan panduan penggunaan bagi customer.

2. Luaran:

- Hasil monitoring energi tahap 1
- HKI, Prototipe Hardware & Programming
- Publikasi ilmiah.

3. Indikator capaian:

- Hasil monitoring energi tahap 1
- HKI, Prototipe Hardware & Programming
- Publikasi ilmiah.

4. PIC: Tim peneliti dan pengembang sistem

Peta Jalan (road map) Penelitian setidaknya 5 tahun

Tahapan yang Telah Dicapai

- a) Studi Literatur dan Analisis Kebutuhan Pengguna: Memahami perkembangan teknologi terkini dalam sistem monitoring energi, audit energi, serta solusi berbasis IoT di sektor bangunan gedung.
- b) Identifikasi Kebutuhan dan Pengumpulan Data: Melakukan survei terhadap pengelola gedung untuk mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam pengelolaan energi.
- c) Desain dan Pengembangan Awal Platform

Tahapan yang Akan Dilakukan Selama Jangka Waktu Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada tahun pertama (preliminary riset) pada roadmap penelitian selama lima tahun.

Tahun	Fokus Kegiatan Utama	Tujuan Spesifik	Hasil yang Diharapkan
Tahun 1	Pematangan Desain & Pengembangan Awal	- Finalisasi desain arsitektur sistem (hardware & software) - Pengembangan prototipe awal - Integrasi sensor IoT dasar	- Arsitektur sistem siap - Prototipe awal platform - Dashboard dasar berbasis web
Tahun 2	Pengujian & Validasi Sistem di Lokasi Nyata	- Uji coba platform di bangunan gedung - Validasi akurasi data energi - Pengujian fitur audit energi otomatis	- Laporan hasil uji lapangan - Data validasi akurasi & efisiensi sistem - Laporan audit energi awal
Tahun 3	Peningkatan Platform & Integrasi AI	- Pengembangan algoritma rekomendasi efisiensi berbasis AI - Optimalisasi dashboard & UI/UX - Uji coba di gedung skala besar	- Sistem yang lebih cerdas & adaptif - Dashboard lanjutan - Uji keberlanjutan & skalabilitas
Tahun 4	Replikasi & Pengujian Multi-Site	- Implementasi sistem di berbagai jenis gedung (komersial, pendidikan, industri) - Analisis efisiensi lintas lokasi	- Laporan komparatif efisiensi energi - Revisi sistem berdasarkan umpan balik pengguna
Tahun 5	Komersialisasi & Model Bisnis Berkelanjutan	- Pengembangan strategi bisnis - Penyiapan dokumentasi komersial & pelatihan pengguna - Penguatan branding produk	- Peluncuran versi final platform - Model bisnis (B2B/SaaS) - Kesiapan ekspansi pasar

5. Spesifikasi Teknis

Spesifikasi Teknis Prototipe Alat Monitoring Energi – **TKT 5**

1. Fungsi Utama

- Memonitor penggunaan energi listrik secara real-time
- Menyediakan data dasar untuk audit energi
- Menampilkan informasi konsumsi energi melalui dashboard digital sederhana

2. Komponen Perangkat Keras (Hardware)

Komponen	Spesifikasi
Sensor Arus & Tegangan	CT sensor 0–100 A, voltmeter 0–250 V AC, akurasi $\pm 1\%$
Mikrokontroler	ESP32 / Arduino Mega / Raspberry Pi (dengan Wi-Fi/Bluetooth)
Modul Komunikasi	Wi-Fi module (ESP8266/ESP32), Ethernet optional
Catu Daya	Adaptor DC 5V/2A, regulator tegangan 3.3V untuk sensor
Penyimpanan Data	MicroSD Card (16GB) / internal memory > 512 KB
Proteksi Listrik	Fuse, opto-isolator untuk perlindungan lonjakan arus

3. Perangkat Lunak (Software)

Komponen	Spesifikasi
Firmware	Bahasa pemrograman C/C++ (Arduino IDE) atau Python (Raspberry Pi)
Platform Dashboard	Web-based UI (bisa diakses via IP lokal), berbasis HTML/CSS/JS, Node-RED
Protokol Komunikasi	MQTT / HTTP / Modbus (untuk interoperabilitas ke sistem SCADA)
Database Sementara	SQLite / Firebase / Google Sheets (untuk penyimpanan uji coba)

4. Fitur Dasar

- Pengukuran daya aktif, reaktif, tegangan, arus, frekuensi
- Notifikasi ketika penggunaan melebihi ambang batas
- Logging data per menit / jam
- Visualisasi data dalam bentuk grafik konsumsi harian/bulanan
- Fungsi kalibrasi sensor manual/semi-otomatis

5. Lingkungan Pengujian

- Simulasi beban di laboratorium dengan panel distribusi mini
- Kondisi pengujian: suhu 25–35°C, kelembapan 40–70%
- Pengujian kestabilan data dalam waktu minimal 7 hari

6. Keluaran Prototipe

- Perangkat prototipe siap uji coba fungsional
- Dashboard pemantauan berbasis web
- Laporan hasil pengujian awal (akurasi, kestabilan, integrasi data)

Berikut ini Tabel yang berisi kebutuhan hardware dan software

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol
Belanja bahan	Kontroller - Programmable Logic Controller (PLC)	Pengolah data	pce	1
Belanja bahan	Human Machine Interface (HMI)	Penampil data sementara yang akan diteruskan ke PC server	pce	1
Belanja bahan	Panel Box	Penempatan kontroller	pce	1
Belanja bahan	Power meter	Peralatan pengambil data energi di 5 titik sub distribution panel	pcs	5
Belanja bahan	Power supply 24 Vdc - 2A	Suplay ke kontroller	pcs	5
Belanja bahan	LoRa module	Pengirim data dari power meter ke kontroller melalui transmisi udara	pcs	6
Belanja bahan	Terminal kabel	Penyambungan kabel	pcs	30
Belanja bahan	Ducting cable	Merapikan kabel	btg	2
Belanja bahan	DIN Rail	Penempatan komponen di panel box	btg	2
Belanja bahan	Kabel-kabel	Penyambungan peralatan di panel box	lot	1
Belanja bahan	Kertas A4	Untuk pembuatan laporan-laporan	rim	2
Belanja bahan	Software MySQL Server	Software data base	pce	1
Belanja bahan	Software Apache	Software web server	pce	1
Belanja bahan	Ubuntu Server	Software sistem operasi	pce	1
Belanja bahan	TV Monitor	Menampilkan dashboard	pce	1
Belanja bahan	Mini PC	Menampilkan dashboard	pce	1
Belanja bahan	PC Server	Perangkat penyedia layanan aplikasi / dashboard	pce	1

6. Penutup

Berdasarkan hasil analisis kelayakan yang dilakukan dari berbagai aspek—teknis, ekonomi, operasional, lingkungan, dan sosial—dapat disimpulkan bahwa pengembangan **Platform Inovatif untuk Monitoring dan Audit Energi** memiliki potensi besar untuk mendukung **efisiensi pengelolaan energi pada bangunan gedung**, dengan beberapa temuan penting sebagai berikut:

1. **Aspek Teknis:** Pengembangan platform ini sangat memungkinkan secara teknis dengan adanya kemajuan dalam teknologi sensor, IoT (Internet of Things), dan platform berbasis cloud yang memungkinkan pemantauan dan audit energi secara real-time. Infrastruktur yang diperlukan telah tersedia, dengan beberapa tantangan yang dapat diatasi melalui pemeliharaan berkala, pengujian sistem yang ketat, dan pembaruan perangkat keras dan perangkat lunak yang rutin. Risiko teknis dapat diminimalkan dengan memilih vendor teknologi yang terpercaya dan melakukan evaluasi serta pengujian sistem secara menyeluruh sebelum implementasi.
2. **Aspek Ekonomi:** Dari segi ekonomi, proyek ini menunjukkan kelayakan yang baik. Estimasi biaya pengembangan telah disusun dengan cermat, dan meskipun ada kebutuhan pembiayaan yang signifikan, sumber pendanaan yang bervariasi, termasuk pinjaman jangka pendek dan modal ventura, dapat digunakan untuk mendukung keberlanjutan proyek. Perhitungan penghematan energi yang diperkirakan dari implementasi platform ini menunjukkan potensi return on investment (ROI) yang menguntungkan, dengan penghematan energi yang signifikan dan peningkatan efisiensi operasional gedung.
3. **Aspek Operasional:** Secara operasional, platform ini dapat diimplementasikan dengan rencana yang matang. Pengelolaan proyek dapat dilakukan dengan pengawasan yang ketat dan strategi mitigasi yang jelas. Rencana implementasi telah disusun dengan mempertimbangkan kebutuhan sumber daya manusia (SDM) dan pelatihan yang memadai, serta strategi pemeliharaan untuk memastikan sistem tetap beroperasi dengan baik dalam jangka panjang. Keberhasilan implementasi bergantung pada pelaksanaan yang terencana dan pemantauan yang terus menerus.
4. **Aspek Lingkungan:** Dari perspektif lingkungan, platform ini memiliki dampak positif yang signifikan. Dengan memantau konsumsi energi secara real-time, platform ini dapat membantu mengurangi pemborosan energi, yang berujung pada pengurangan emisi karbon dan dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, penerapan teknologi ini sejalan dengan kebijakan dan regulasi global terkait keberlanjutan dan pengelolaan energi yang efisien.
5. **Aspek Sosial dan Organisasional:** Secara sosial dan organisasi, platform ini dapat diterima dengan baik oleh pengguna, terutama apabila proses edukasi dan penyuluhan dilaksanakan dengan efektif. Masyarakat akan lebih terbuka dalam menerima teknologi ini jika dampak sosial yang positif—seperti penghematan biaya energi, peningkatan kenyamanan, dan kontribusi terhadap pelestarian lingkungan—dapat dijelaskan dengan jelas. Organisasi yang terlibat juga akan memperoleh manfaat dari perubahan budaya yang mendukung pengelolaan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, **Platform Inovatif untuk Monitoring dan Audit Energi** memiliki kelayakan tinggi di berbagai aspek yang telah dianalisis. Proyek ini tidak hanya menguntungkan secara ekonomi, tetapi juga memberikan dampak positif bagi lingkungan dan sosial. Dengan penerapan strategi mitigasi risiko yang tepat dan **pemanfaatan teknologi yang tepat guna**, platform ini dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi energi pada bangunan gedung serta mendukung tujuan keberlanjutan dan pengelolaan energi yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- [1] Ardi, S., & Saputra, M. G. (2023). Monitoring Systems Design and Data Acquisition on Powerhouse and Utility using MES Interface based on Programmable Logic Controller. AIP Conference Proceedings, 2828(1). <https://doi.org/10.1063/5.0166017>
- [2] Ardi, S., Indah, N., & Lestari, A. (n.d.). Design of Monitoring and Control of SCADA Systems on Curing Machine using PLC and HMI Wonderware InTouch. <https://e proceeding.itenas.ac.id/index.php/foitic/article/view/81>
- [3] Ardi, S., Program Studi Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, S., & Manufaktur Astra, P. (2016). DESAIN SISTEM KENDALI MESIN PENGUJI KEBOCORAN UDARA MENGGUNAKAN SISTEM KENDALI PLC OMRON CJ2M DI HVAC (HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING). In Jurnal Teknik Mesin (JTM) (Vol. 05, Issue 4).
- [4] Nisa Artanti, L., Ardi, S., Herdimas, M. R., Prasetyani, L., & Arya Wiseka, S. (2024). Smart industrial fan monitoring system for the implementation of sustainable development goals. 1, 1–5. <https://doi.org/10.52453/aic.v1iOctober.440>
- [5] Nugroho, W., Jimmy Fonda Arifianto, M., Syahril Ardi, dan, Studi Mekatronika, P., Astra, P., & Koresponden, P. (n.d.). PEMANTAUAN ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN ESP32, NODE-RED, INFLUXDB: STUDI KASUS.
- [6] Ponco, A. (2022). Digitalization System Design for Monitoring and Control of Spare Parts Inventory Based on Android. https://www.researchgate.net/publication/359795183_Digitalization_System_Design_for_Monitoring_and_Control_of_Spare_Parts_Inventory_Based_on_Android
- [7] Jimmy, M., Arifianto, F., & Prasetyani, L. (n.d.). Sistem Pemantauan dan Kontrol Energi Listrik Menggunakan Platform Node-RED, Influxdb dan Grafana melalui Jaringan WiFi dan Lora. <http://ojs.uho.ac.id/index.php/jfe/Penerbit:JurusanTeknikElektroUniversitasHaluOleoKendariSulawesiTenggara>,
- [8] A, L., J, D. N., A, G., Ganesh, V., Sathik, M. J., K, V., & D, R. (2023). Smart energy monitoring and power quality performance based evaluation of 100-kW grid tied PV system. Heliyon, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17274>
- [9] Abu Sneineh, A., & Shabaneh, A. A. A. (2023). Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the Internet of Things. MethodsX, 11. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102401>
- [10] Alishahi, N., Nik-Bakht, M., & Ouf, M. M. (2021). A framework to identify key occupancy indicators for optimizing building operation using WiFi connection count data. Building and Environment, 200. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107936>

- [11] Bellini, P., Nesi, P., & Pantaleo, G. (2022). IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app12031607>
- [12] Bian, S., Li, C., Fu, Y., Ren, Y., Wu, T., Li, G. P., & Li, B. (2021). Machine learning-based realtime monitoring system for smart connected worker to improve energy efficiency. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.08.009>
- [13] Díaz, A. F., Prieto, B., Escobar, J. J., & Lampert, T. (2024). Vampire: A smart energy meter for synchronous monitoring in a distributed computer system. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2023.104794>
- [14] Giacobbe, M., Chaouch, C., Scarpa, M., & Puliafito, A. (2020). An Implementation of InfluxDB for Monitoring and Analytics in Distributed IoT Environments. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 146, 155–162. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21005-2_15
- [15] Gozuoglu, A., Ozgonenel, O., & Gezeğin, C. (2024). CNN-LSTM based deep learning application on Jetson Nano: Estimating electrical energy consumption for future smart homes. In *Internet of Things (Netherlands)* (Vol. 26). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101148>
- [16] Magrini, A., Marengo, L., & Bodrato, A. (2022). Energy smart management and performance monitoring of a NZEB: Analysis of an application. *Energy Reports*, 8, 8896–8906. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.07.010>
- [17] Mudaliar, M. D., & Sivakumar, N. (2020). IoT based real time energy monitoring system using Raspberry Pi. *Internet of Things (Netherlands)*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100292>
- [18] Rao, C. K., Sahoo, S. K., & Yanine, F. F. (2024). An internet of things–based intelligent smart energy monitoring system for solar photovoltaic applications. In *Performance Enhancement and Control of Photovoltaic Systems* (pp. 375–416). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13392-3.00019-0>
- [19] Selvaraj, R., Kuthadi, V. M., & Baskar, S. (2023). Smart building energy management and monitoring system based on artificial intelligence in smart city. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103090>
- [20] Siva Balan, R. V., Gouri, M. S., Senthilnathan, T., Gondkar, S. R., Gondar, R. R., Loveline Zeema, J., & Jothikumar, R. (2023). Development of smart energy monitoring using NBIOT and cloud. *Measurement: Sensors*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100884>
- [21] Sorongan, E., Kango, R., & Suhaedi, S. (2023). The Application of Energy Management Systems Using the Internet of Things to Improve the Efficiency of Electrical Energy Usage in the MSMEs Sector. *PROtek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.33387/protk.v10i1.5042>
- [22] Tekler, Z. D., Low, R., & Blessing, L. (2022). User perceptions on the adoption of smart energy management systems in the workplace: Design and policy implications. *Energy Research and Social Science*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102505>
- [23] Sampel Data Laporan Audit Energi PT xyz.

Lampiran

Dokumen Penelitian dan Publikasi Ilmiah di Politeknik Astra

(1) Monitoring Systems Design and Data Acquisition on Powerhouse and Utility using MES Interface based on Programmable Logic Controller, by: Syahril Ardi1, M Ghani Saputra

This research was conducted in a manufacturing industry company engaged in the manufacture of automotive components for 4-wheeled vehicles, especially in the underbody. The Department of Powerhouse & Utility has an important role in the production process. In this case, supplying and serving all supporting needs other than raw materials and additives used for the production process such as water, electricity, compressed air, and others, so that the production process can run smoothly and produce products that meet standards.



Figure 1. The electrical distribution diagram of MDB 1



Figure 2. Power Meter Schneider PM5350

This company has 4 Main Distributor Breakers (MDB) that distribute electricity from PLN substations to each plant. MDB 1 distributes electricity to Plant 1, MDB 2, and 3 electricity to Plant 2, while MDB 4 distributes electricity to Plant 3. Each unit, MDB and sub-unit, uses a power meter to measure, calculate, and display several main electrical parameters. These parameters are electric current (Amperes), voltage (Voltage), frequency (Hz), active and reactive power (Watts), and active & reactive energy (Kilo Watt hour). The power meters used for MDB 1, MDB 2, MDB 3, and MDB4 all use the Schneider PM5350 type power meter. The Schneider PM5350 power meter is a digital type of power meter that supports communication using the RS-485 RTU Modbus protocol. Modbus RTU RS-485 protocol can be used as a data transfer network with a maximum distance of 1.2 kilometers, with a maximum number of 32 devices. The Schneider PM5350 power meter is also equipped with an LCD as an HMI which makes it easy to read and make settings on the power meter. Figure 1 shows the electrical distribution diagram of MDB 1, and Fig. 2 shows the Schneider PM5350 power meter.

In the Schneider PM5350 power meter, data, or electrical parameter values such as current, voltage, power, energy and others, are stored in an address register. These values can be accessed using the Modbus serial communication protocol. In the Schneider PM5350 power meter, data, or electrical parameter values such as current, voltage, power, energy, and others, are stored in an address register. Where these values can be accessed using the serial Modbus protocol communication.

Communication Parameters on Modbus Converter PDS-755 MTCP

Configuring the Modbus Converter can be done using the VX-Comm software. On the Web menu, there are several configurations that must be set, namely the Modbus Gateway Settings. Figure 3 shows the Modbus Gateway Settings.

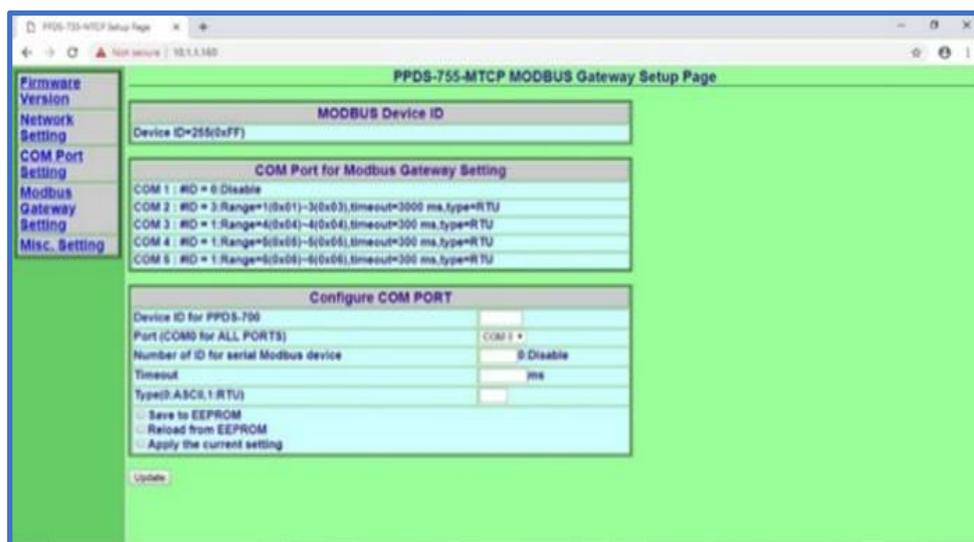


Figure 3. Modbus Gateway Setting

First, set COM 1 to disable, this is because COM 1 is input from Port 1 which uses the Modbus RS-232 protocol. In this case, the author uses COM 2 which uses the Modbus RS-485 protocol. This can be done by selecting COM1 on the PORT, then filling in the value 0 in the Number of ID for Serial Modbus Device, then clicking Update. Next, change the PORT section to COM 2, and in the Number of ID for Serial Modbus Device section it is filled with a value of 3, meaning that on COM 2 there are 3 Slave or Device Power Meters connected, then click Update. Then close the web browser and return to the VX Comm software. Click on the Tools section and select Restart Device.

Setting Communication Parameters on PLC, MES Interface, Master Modbus, and PC

Communication parameters that must be set on the PLC, MES interface, Master Modbus, and PC are IP Address and Gateway so that each device can be connected. Table 1 shows Communication Parameters on PLC, MES Interface, Master Modbus, and PC.

Table 1. Communication Parameters on PLC, MES Interface, Master Modbus, and PC.

Parameter	PLC	MES Interface	Master Modbus	PC
IP Address	10.1.1.175	10.1.1.180	10.1.1.170	10.1.1.150
Subnet mask	-	255.255.255.0	-	255.255.255.0

Result Analysis

If previously the operator was still collecting data by visiting the Power Meter one by one, then with this monitoring system, the operator no longer needs to take data directly but only takes the recording results that have been stored in the Microsoft SQL Server database. In addition, there are several advantages to this system, namely:

- In terms of data, the resulting data is more valid and accurate, and there will be no omissions in data recording due to forgetting.
- From a financial perspective, it will result in cost reduction in the form of manpower reduction.

In the process of making the monitoring system, after the testing process is carried out, the results obtained are as follows:

- The monitoring system can record monitoring data with an accuracy of seconds,
- Monitoring data is stored in the database,
- The data stored in the database can be used to create an HMI display, for example using a website.

After testing, the results of the monitoring data recording on MDB 1, MDB 2, MDB 3, and MDB 4. Figure 4 shows the results of recording on MDB 1.

	CurrentAvg1	Volt3PAvg1	Volt2PAvg1	Freq1	Power1	CosPi1	EnergiA1	EnergiB1	EnergiC1	EnergiD1	Energi1
1	2080	401.633	232	50	717.024	1.00648	0	3	9865	22655	13531377
2	2032	402.532	233	50	723.048	1.00037	0	3	9865	23852	13531379
3	1992	401.958	232	50	722.844	1.00149	0	3	9865	23852	13531379
4	1984	401.915	233	50	722.577	1.00086	0	3	9865	23852	13531379
5	1968	402.2	233	50	722.947	1.00127	0	3	9865	23852	13531379
6	1984	402.2	233	50	722.947	1.00127	0	3	9865	23852	13531379
7	2032	403.859	233	50	716.626	1.01285	0	3	9865	28704	13531384
8	2000	403.859	233	50	716.626	1.01285	0	3	9865	29893	13531385
9	1584	402.242	233	50	721.204	1.0009	0	3	9865	30880	13531386
10	1592	402.242	233	50	721.204	1.0009	0	3	9865	30880	13531386

Figure 4. The results of recording on MDB 1

(2) Smart industrial fan monitoring system for the implementation of sustainable development goals

By. Lutfia Nisa Artanti, Syahril Ardi, M. Herdimas R.D, Lin Prasetyani, Sakti Arya Wiseka, Afianto

Methodology

This study employs a quantitative approach through the measurement of energy consumption and the collection of electric current data from Industrial Fans in the welding area. The system consists of a PLC, a ME110SSR-MB power meter, and Node-RED software. The Node-RED software is used to collect real-time data and store it in a MySQL database.

The research was conducted over six months, from January to June, in the welding area of an automotive manufacturing industry. This improvement also ensures energy savings that align with the SDGs targets, particularly SDG 12 (Responsible Consumption and Production). The specific hypotheses proposed are:

1. Reducing energy consumption in Industrial Fans will contribute significantly to achieving the carbon reduction target of 30% by 2030, in accordance with Indonesian government policies.
2. A real-time control and monitoring system based on production hours will ensure more efficient energy usage, aligning with SDG 12 (Responsible Consumption and Production).

Given this, the study holds urgency in designing a PLC-based control and monitoring system for Industrial Fans in the automotive manufacturing industry. The measurement of tCO₂ will be further explained in the results and discussion section (4).

The stages of this study include:

1. Collecting energy data before and after system implementation.
2. Creating and testing programs for PLC and HMI.

- Testing automatic control systems and real-time monitoring.

Results and Discussion

The PLC-based control system implemented in the welding division has succeeded in providing significant energy savings, especially in the use of Industrial Fans. This system works automatically to monitor and control energy usage more efficiently, thus minimizing energy waste and reducing dependence on human error.

Energy Savings

After the implementation of the control system, data shows energy savings of 122,66496 kWh per year or equivalent to 20%. Before this system was implemented, energy consumption in the welding division was quite high, with carbon emissions reaching 149 TCO₂ per year. With the new system, these emissions can be reduced by up to 10,672 TCO₂ per year, resulting in significant carbon reductions. Table 1 shows energy and carbon emissions used by industrial fans. Table 2 shows improvement benefits during 5 year project life time. Table shows material used for improvement. The following can be seen in Table 1.

Table 1. Energy and carbon emissions used by industrial fans

No	Details	Before Improvement	After Improvement	Percentage (%)
1	Amount of energy used	148,685 kWh per year	74,432 kWh per year	50%
2	Amount of carbon emissions	129,4 Tco ₂ per year	64,677 Tco ₂ per year	50%

Table 2. Improvement benefits during 5 year project life time

No	Item	Amount
1	<i>Lost Time</i>	8 jam x 2 <i>Shift</i>
2	<i>Maintenance Industrial Fan</i>	Once every 2 months (before improvement) Once every 4 months (after Improvement) 4 Manpower (before improvement)
3	<i>Manpower for Maintenance</i>	2 Manpower (after Improvement)

Table 3. Materials used for improvement

No	Device	Amount
1	MCB 2Phase	1 Pcs
2	Selector Switch	1 Pcs
3	Relay NO	8 Pcs
4	Noise Filter	1 Pcs
5	Power Meter digital	1 Pcs
6	Base Unit PLC	1 Pcs
7	PLC Mitsubishi	1 Pcs
8	Input Module	1 Pcs
9	Output Module	2 Pcs
10	Modul Ethernet	1 Pcs
11	Modul Serial	1 Pcs
12	Power Supply Unit	1 Pcs
13	HMI Mitsubishi + Ethernet Cable	1 Pcs
14	Relay MY4N + Socket	1 Pcs

Reduce TON CO2

Power 1 unit = 1.1 kW

Current 1 unit = 2.75 A

Usage time one day = 16 hours Number of Industrial Fans= 16 Unit

Energy consumption per day = Power x Time x Number of Industrial Fan (1)

= 1.1 x 16 x 16

= 281.6 kWh

Energy consumption per year = 281.6 x working days per year (2)

= 281.6 x 255

= 71,808 kWh

Energy consumption per 5 year = 71,808 kWh x working days per 5 year (3)

= 71,808 kWh x 1.275

= 91,555,200 kWh

So, the carbon emissions that are reduced in five years are: 79,653.024 tCO₂.

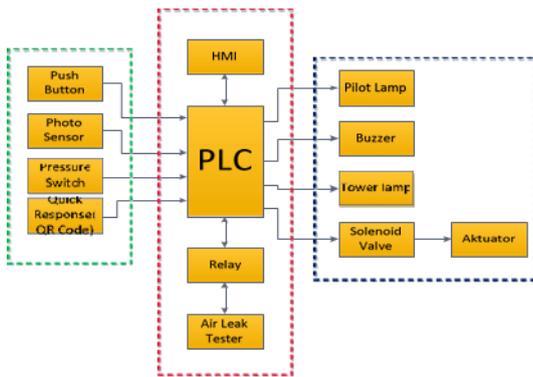
(3) DESAIN SISTEM KENDALI MESIN PENGUJI KEBOCORAN UDARA MENGGUNAKAN SISTEM KENDALI PLC OMRON CJ2M DI HVAC (HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING), oleh: Syahril Ardi, Setyowati

Pada proses produksi pembuatan komponen HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) dari perusahaan manufaktur di Indonesia, memerlukan proses pengecekan kebocoran pada bagian HVAC. Proses pengecekan ini dilakukan untuk memastikan tidak ada komponen HVAC yang bocor sebelum dikirim ke pihak pelanggan. Penelitian ini dilakukan untuk membuat system dan alat air leak test. Mesin air leak test ini menggunakan prinsip kerja differential pressure air leak test, yaitu metode yang membandingkan antar tekanan udara yang diberikan ke produk dan master produk. Pada penelitian ini, kami membuat desain mesin air leak test menggunakan system kendali berupa air leak tester, PLC, dan HMI. Berdasarkan kondisi dengan kapasitas produksi yang meningkat karena bertambahnya permintaan dari customer, dapat ditanggulangi dengan adanya share loading produksi dari HVAC line 4 ke line baru, yaitu HVAC line 6. Hasil yang didapat dari pengujian deteksi kebocoran produk, didapat nilai parameter kebocoran produk sebesar 2.23 ml/min.

Disain Sistem Kendali

Gambar 1 memperlihatkan desain diagram blok sistem kendali. Diagram blok ini menggambarkan garis besar proses komunikasi pada sistem kendali. Sistem pengendali PLC mendapat pemicu dari modul masukan berupa sensor dan tombol, kemudian semua masukan tersebut diolah oleh PLC dan dijalankan sesuai dengan program yang sudah *compile* ke PLC. Prinsip kerjanya adalah masukan PLC memberikan sinyal, lalu sinyal tersebut diproses untuk menggerakkan keluaran atau sinyal tersebut digunakan untuk memberikan informasi ke masukan air leak tester.

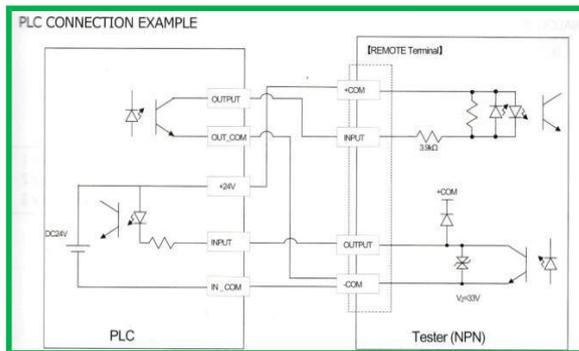
Selanjutnya sinyal tersebut diproses dan menghasilkan sinyal keluaran air leak tester dan sinyal keluaran tersebut diolah kembali oleh PLC untuk memerintahkan keluaran berupa pilot lamp dan buzzer yang berfungsi sebagai tanda apakah produk yang dilakukan pengujian sudah OK (Good) atau NG (Not Good). Pada dasarnya, pemodelan dan desain sistem kendali pada sistem otomasi industri, banyak memiliki kesamaan konsep tetapi dengan proses-proses dan urutan langkah yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi mesin otomasinya.



Gambar 1. Sistem Kendali

Komunikasi *Air Leak Test* ke PLC

Pembuatan mesin *leak test* ini menggunakan *airleak test* tipe *master less*. Kelebihan *air leak test* tipe *master less* adalah mampu melakukan pengecekan kebocoran baik menggunakan *master* produk maupun tanpa menggunakan *master* produk. *Master* produk adalah komponen produk yang digunakan sebagai pembanding volume antara produk dengan *master* produk. Prinsip kerja *leak test* menggunakan *master* produk atau tanpa menggunakan *master* produk sama. Gambar 2 memperlihatkan *wiring air leak tester*.



Gambar 2. *Wiring Air Leak Tester*

Air leak test terhubung dengan PLC dengan menghubungkan masukan PLC ke keluaran *air leak test* sedangkan keluaran PLC dihubungkan ke masukan *air leak test*. *Air leak test* yang digunakan adalah tipe NPN sehingga com positif *air leak test* harus dihubungkan ke sumber positif. *Wiring* antara *air leak test* dengan plc memerlukan relay karena tegangan yang dikeluarkan oleh *air leak test* sebesar 24 V.

Parameter Batas Kebocoran Produk

Untuk mendapatkan batas atau *standard* kebocoran suatu produk perlu dilakukan beberapa kali percobaan sehingga kita dapat menentukan batas kebocoran suatu produk. Parameter batas kebocoran suatu produk diperlukan untuk mengetahui batas maksimum kebocoran suatu produk, sehingga produk yang bocor tidak dapat lolos ke proses berikut.

Dari hasil percobaan menggunakan produk kita dapat mengetahui berapa nilai untuk NG+ yaitu berapa nilai maksimum kebocoran produk dan nilai NG- yaitu batas maksimum kebocoran master produk. Gambar 3 memperlihatkan *air leak test*.



Gambar 3. *Air Leak Tester*

Langkah-langkah untuk mendapatkan parameter batas kebocoran suatu produk yaitu:

1. Menekan tombol group untuk memilih group mana yang akan dilakukan penyetingan waktu.
2. Setelah menekan tombol group tampilan *Air leak test* akan berpindah sesuai dengan group yang telah kita pilih.
3. Tahapan selanjutnya adalah tekan tombol set lalu pilih group setting. Setelah memilih group setting akan muncul tampilan settingan waktu. Disana kita dapat memasukkan waktu pengecekan. Tampilan pengaturan waktu dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4 memperlihatkan tampilan settingan waktu untuk melakukan proses pengecekan kebocoran. Untuk memasukan waktu kita hanya perlu menekan tombol enter lalu kita masukan data waktunya dengan menggunakan tombol yang ada pada *air leak test*.
4. Setelah memasukkan data waktu pengecekan kita harus memasukkan batas maksimum produk NG dengan menekan tombol kanan yang ada pada *air leak test* agar dapat berpindah ke menu yang berikutnya yaitu adalah tampilan menu judgement yang terlihat pada Gambar 5.

Delay	: 0.0 sec
Charge 1	: 3.0 sec
Charge 2	: 7.0 sec
Balance 1	: 4.0 sec
Balance 2	: 5.0 sec
Detect	: 5.0 sec
Exhaust	: 3.0 sec
Fitting Detect	: 60.0 sec
EXH DLY	: 0.0 sec
Blow	: 0.0 sec

Gambar 4. Setting waktu pengukuran

Judgement		Group : 7
+NG	: +01.50 ml/min	
-NG	: -01.50 ml/min	
+2NG	: +05.00 ml/min	
-2NG	: -05.00 ml/min	
Fitting +NG	: +10.00 ml/min	
Fitting -NG	: -10.01 ml/min	
Decimal Point	: 00.00	
Result Unit	: ml/min	
Work Volume	: 6.396x10 ² ml	
Master Volume	: 2.997x10 ¹ ml	

Gambar 5. Parameter setting *Air Leak Tester*

Gambar 5 memperlihatkan nilai dari batas maksimum NG + maupun NG-. Untuk nilai dari batas tersebut berdasarkan standar yang ditentukan oleh PE. Nilai tersebut belum bisa dijadikan sebagai batas maksimum kebocoran suatu produk. Karena nilai dari batas maksimum kebocoran produk didapatkan dari hasil trial produk.

Setelah memasukkan nilai batas maksimum kebocoran suatu produk tahapan yang dilakukan adalah memasukkan besar tekanan nitrogen yang akan di berikan ke produk dan master produk. Untuk besar tekanan sendiri merupakan standar perusahaan yaitu untuk evaporator membutuhkan tekanan sebesar 800 kpa dan untuk heater membutuhkan tekanan sebesar 200 kpa.

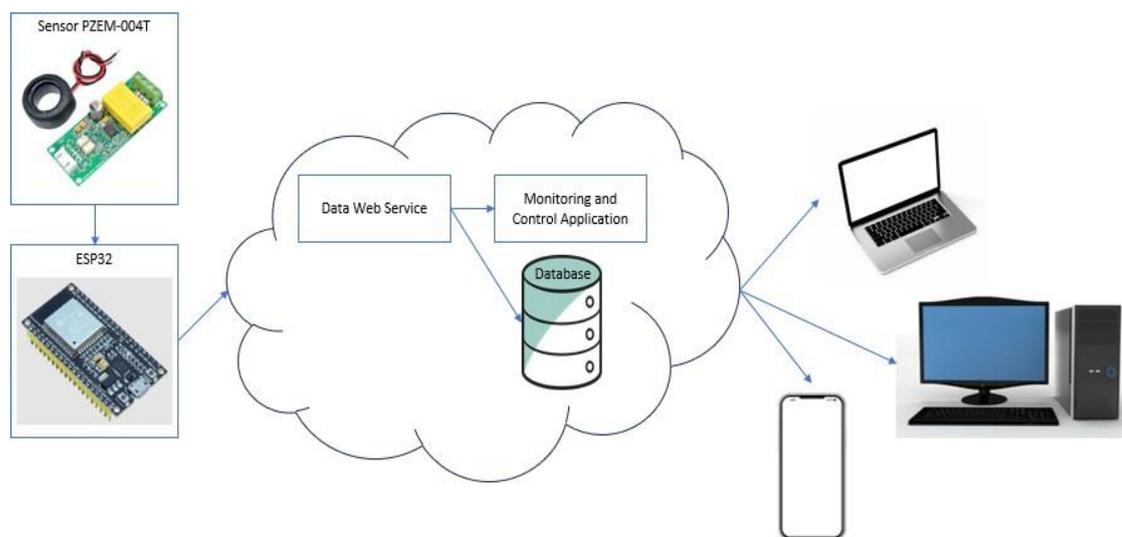
Setelah memasukkan semua parameter yang dibutuhkan untuk proses pengecekan adalah proses *fitting*. Proses fitting adalah proses untuk mengatur dan memastikan bahwa settingan yang telah dimasukkan benar-benar telah sesuai.

(4) PEMANTAUAN ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN ESP32, NODE-RED, INFLUXDB: STUDI KASUS, oleh: Waluyo Nugroho, Afianto, Mada Jimmy Fonda Arifianto, dan Syahril Ardi

Pemantauan energi listrik di industri manufaktur atau industri rumah tangga sangat penting untuk mempersiapkan energi hijau di masa depan. Kondisi sekarang, masih ada beberapa industri rumah tangga yang belum menggunakan monitor energi. Fokus dari penelitian ini adalah mengembangkan alat pengukur energi yang dapat diterapkan pada setiap peralatan listrik. Mengetahui informasi penggunaan energi dari setiap perangkat secara real-time merupakan langkah awal dalam upaya penghematan energi listrik. Hasil pemantauan listrik akan membantu pengambilan keputusan terkait penggunaan yang efisien, seperti penjadwalan sistem produksi dan pemeliharaan preventif. Sistem pemantauan dan pengendalian energi yang diusulkan dalam penelitian ini melibatkan pengembangan perangkat keras yang menggunakan mikrokontroler ESP32, dan sensor energi PZEM-004T. Perangkat lunak pada sistem penelitian ini, yaitu Node-RED sebagai pengembangan dashboard dan backend, kemudian database InfluxDB digunakan sebagai manajemen basis data, dan visualisasi data. Prototipe yang telah berhasil dibuat memiliki fitur yang sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu menampilkan konsumsi listrik masing-masing perangkat secara individu dan memantau mereka dalam jangka waktu tertentu.

Desain Sistem Monitoring Energi Listrik

Dalam penelitian ini, di bahas tentang sistem monitoring energi dengan IoT yang real-time dan berbiaya rendah. Sistem ini dimaksudkan untuk menjadi bagian dari sistem terdistribusi yang memantau parameter jaringan listrik yang penting dan menyediakan kemampuan untuk mengendalikan pembangkit listrik secara lengkap (Selvaraj et al., 2023). Server online interaktif dapat berbagi data dengan peralatan penyeimbang beban dan mengumpulkan statistik penggunaan energi serta kualitas daya. Kecepatan akses data menjadi salah satu fitur utama dari perangkat ini, dan integrasi meter pintar dengan kemampuan komunikasi digital memungkinkan akses data baik secara lokal maupun jarak jauh (Tekler et al., 2022). Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol konsumsi listrik perangkat mereka sekaligus memantau biaya listrik yang dikeluarkan. Adanya pengukuran harga real-time merupakan salah satu tujuan utama dari upaya ini. Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem.



Gambar 1. Diagram Blok Konsep Sistem

- a. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan produk yang dikembangkan oleh SparkFun Electronics. Ini adalah salah satu mikrokontroler yang memiliki harga terjangkau, konsumsi daya rendah, dan ukuran kecil, dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth. Rentang tegangan operasi papan ini adalah 2,2 V hingga 3,6 V, dan dapat diberi daya melalui kabel USB 5 V atau baterai (Abu Sneineh C Shabaneh, 2023). Mikrokontroler ini diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino Integrated Development Environment (IDE) (Abu Sneineh C Shabaneh, 2023). Arduino IDE memungkinkan pengguna untuk menulis program sesuai kebutuhan dan mengunggahnya ke papan melalui kabel USB. Dalam proyek ini, mikrokontroler ESP32 diatur sebagai Klien MQTT menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Perpustakaan Klien MQTT yang digunakan disebut PubSubClient. Program ini dirancang untuk mengumpulkan nilai-nilai real-time yang diukur dari variabel yang ditentukan, menampilkan nilai-nilai tersebut pada Monitor Serial Arduino IDE, dan secara terus-menerus menerbitkan data real-time ke Broker MQTT. Gambar 2 menunjukkan diagram fungsi pin dari mikrokontroler ESP32.



Gambar 2. Pinout Mikrokontroler ESP32

b. Sensor Arus dan Tegangan PZEM-004T

Sensor arus dan tegangan yang digunakan adalah PZEM-004T. Sensor PZEM-004T adalah sebuah perangkat meteran pintar yang umum digunakan untuk mengukur konsumsi listrik (Mudaliar C Sivakumar, 2020). Perangkat ini sangat berguna untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan energi. Meteran pintar ini dilengkapi dengan antarmuka serial TTL dan fitur deteksi beban berlebih. Komponen utama dari modul PZEM-004T adalah chip SD3004. Versi PZEM-004T 100 Ampere menggunakan model *Current Transformer split-core*. Konfigurasi ini memberikan keunggulan dalam hal kemudahan penggunaan karena dapat dipasang langsung ke kabel jaringan listrik yang ada tanpa memerlukan pelepasan kabel. Gambar 3 menunjukkan bentuk fisik sensor arus dan tegangan PZEM-004T.



Gambar 3. Sensor Arus dan Tegangan PZEM-004T

c. Node-Red

Node-RED merupakan sebuah alat berbasis browser yang digunakan untuk membuat aplikasi Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan pemrograman visual (Sorongan et al., 2023). Lingkungan visual ini mempermudah pengguna dalam membuat aplikasi sebagai aliran, yang terdiri dari node-node yang saling terhubung dan masing-masing node menjalankan tugas tertentu. Meskipun Node-RED awalnya dirancang untuk Internet of Things (IoT), namun alat ini juga dapat digunakan untuk tujuan umum dan berbagai aplikasi. Nama "Node" digunakan karena implementasinya sebagai aplikasi anoda, meskipun dari perspektif pengguna, ini hanya merupakan detail dari implementasi internal. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan Node-RED untuk mengintegrasikan data dari meteran daya ke IoT Gateway dan membuat dashboard lokal. Tampilan dashboard Node-Red ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Display Dashboard Node-Red

d. Database InfluxDB

InfluxDB adalah sebuah sistem penyimpanan data deret waktu yang khusus, ditulis dalam bahasa pemrograman Go (Giacobbe et al., 2020). Dikompilasi menjadi satu file biner tanpa memerlukan ketergantungan eksternal tambahan, InfluxDB sering digunakan dalam situasi di mana data dalam jumlah

besar dengan penanda waktu sangat penting, seperti dalam lingkup DevOps, konteks aplikatif, dan analisis real-time dari Internet of Things (IoT), sehingga mampu mengakomodasi cakupan yang luas dari IoT.

Beberapa fitur utama yang dimiliki InfluxDB adalah penyimpanan data deret waktu, tidak memerlukan ketergantungan eksternal, efisiensi kinerja tinggi, ql (query language), serta integrasi dengan ekosistem iot. InfluxDB dapat diintegrasikan dengan berbagai alat dan platform IoT, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi Internet of Things (IoT). Gambar 5 menunjukkan tampilan database menggunakan InfluxDB.



Gambar 5. Tampilan Database InfluxDB

Implementasi Sistem

Pemantauan energi listrik dengan IoT dapat diimplementasikan untuk gedung komersil, industri manufaktur, atau rumah tangga. Studi kasus yang sudah dilakukan adalah melakukan pemantauan energi listrik di beberapa laboratorium Mekatronika di Politeknik Astra. Pada panel utama laboratorium dipasang sensor PZEM-004T sebagai deteksi arus dan tegangan yang digunakan masing-masing laboratorium. Sensor tersebut dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 yang berada dalam satu panel. Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk membaca data sensor, serta mengolah data tersebut sehingga data dapat dikirim ke *software* node-red, dan database InfluxDB. Gambar 6 menunjukkan panel utama beserta sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32.



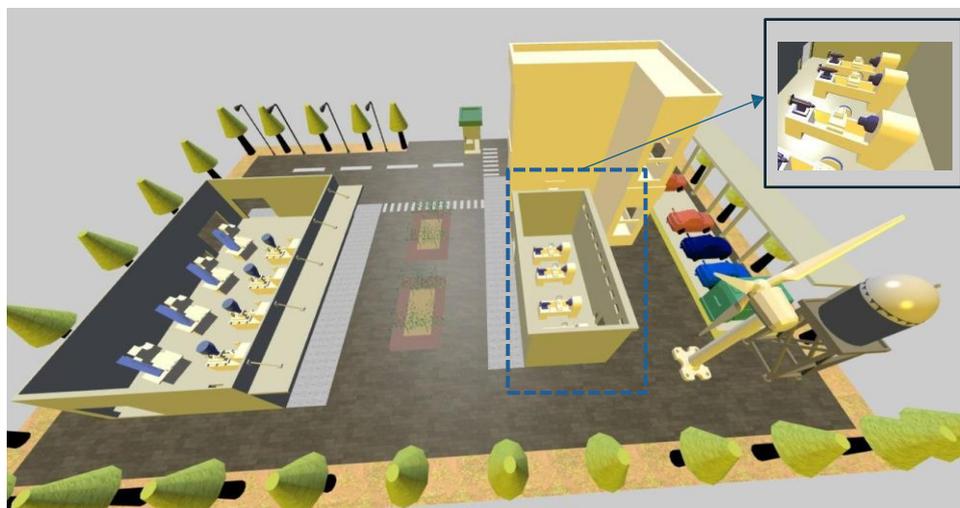
Gambar 6. Panel Utama Laboratorium Mekatronika

Kondisi pemakaian energi listrik setiap laboratorium dapat dilihat di website yang sudah terintegrasi. Sehingga kondisi total pemakaian dan pembacaan data setiap menit dapat dengan mudah dipantau dengan laptop atau handphone. Tampilan website yang sudah terintegrasi ditunjukkan pada Gambar 7 menunjukkan website pemantauan energi.



Gambar 7. Website Pemantauan Energi

Sistem pemantauan energi listrik tidak hanya di implementasikan di panel listrik, tetapi juga dibuat miniatur/maket industry dalam bentuk 3 Dimensi (3D). Hal ini diperlukan untuk membuat simulasi pemantauan energi dan system kendali mesin di industri. Gambar 8 menunjukkan miniatur industry yang digunakan untuk simulasi pemantauan energi listrik.



Gambar 8. Miniatur industri untuk pemantauan energi listrik

Pengembangan Sistem di Masa Depan

Teknologi Internet of Things (IoT) akan terus berkembang, memungkinkan penggunaan sensor yang lebih canggih dan terhubung untuk pemantauan energi yang lebih akurat dan efisien (Díaz et al., 2024). Sensor yang lebih pintar akan mampu mengumpulkan data secara lebih detail. Kemajuan dalam analitik data dan kecerdasan buatan akan memungkinkan sistem pemantauan energi untuk menganalisis data secara lebih

kompleks dan menemukan pola atau tren yang tidak terlihat sebelumnya (A et al., 2023). Ini akan memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan penggunaan energi dengan lebih baik dan membuat keputusan yang lebih cerdas (Díaz et al., 2024).

Sistem pemantauan energi akan semakin menjadi bagian dari infrastruktur yang responsif dan adaptif, yang dapat menyesuaikan penggunaan energi berdasarkan permintaan dan kondisi jaringan (Bellini et al., 2022). Ini dapat mencakup penggunaan energi yang lebih adaptif, pemrograman beban yang lebih cerdas, dan pengaturan energi yang dinamis. Grid listrik akan menjadi lebih terintegrasi dan lebih cerdas, dengan sistem pemantauan energi yang dapat berkomunikasi dan berkolaborasi dengan baik dengan infrastruktur grid (Gozuoglu et al., 2024). Ini akan memungkinkan pengoptimalan yang lebih baik dari sumber daya energi yang tersedia dan mengurangi risiko gangguan atau kegagalan dalam penyediaan energi.

Semakin meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan dan perlunya mengurangi emisi karbon, sistem pemantauan energi akan semakin fokus pada pemantauan dan pengelolaan energi yang berkelanjutan (Magrini et al., 2022). Ini dapat mencakup integrasi energi terbarukan, pemantauan emisi karbon, dan pengoptimalan penggunaan energi untuk mengurangi dampak lingkungan. Di lingkungan perkotaan, pengembangan infrastruktur pintar akan memainkan peran penting dalam sistem pemantauan energi. Hal ini melibatkan penggunaan sensor yang terhubung dan teknologi IoT untuk mengelola penggunaan energi di kota-kota besar dengan lebih efisien dan efektif.

Pengembangan teknologi penyimpanan energi yang lebih maju memungkinkan sistem pemantauan energi lebih fleksibel. Sehingga dalam mengelola pasokan energi, dapat dilakukan secara seimbang pasokan dan permintaan energi. Hal ini dapat mencakup penggunaan baterai, penyimpanan panas, atau teknologi penyimpanan energi lainnya yang inovatif.

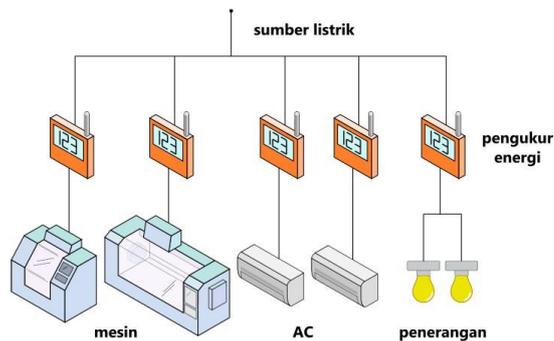
(5) Sistem Pemantauan dan Kontrol Energi Listrik Menggunakan Platform Node-RED, Influxdb dan Grafana melalui Jaringan WiFi dan Lora, oleh: Mada Jimmy Fonda Arifianto, Lin Prasetyani

Pemantauan energi listrik untuk peralatan rumah tangga dan industri berperan penting untuk menyiapkan konsep energi hijau di masa depan. Instalasi listrik pada Gedung biasanya hanya tersedia satu pengukur energi untuk memantau penggunaan beban pada keseluruhan instalasi tersebut. Topik penelitian ini adalah pengembangan alat ukur energi yang diaplikasikan pada setiap peralatan listrik. Tersedianya informasi penggunaan energi pada setiap peralatan merupakan langkah awal dalam usaha penghematan listrik. Hal ini akan membantu pengambilan keputusan dalam hal pemanfaatan energi yang efisien, misalnya mengatur jadwal sistem produksi dan pemeliharaan preventif. Sistem pemantauan dan pengendalian energi yang diusulkan dalam makalah ini meliputi pengembangan perangkat keras menggunakan mikrokontroler ESP32, modul LoRa dan sensor energi PZEM-004T. Selain itu, pengembangan perangkat lunak untuk mendukung sistem tersebut antara lain Node-RED sebagai dasbor dan pengembangan back-end, InfluxDB sebagai manajemen basisdata dan Grafana sebagai visualisasi data. Prototipe telah berhasil dibuat dan memiliki fitur sesuai tujuan penelitian, yaitu menampilkan besaran listrik masing-masing alat secara individual dan memonitornya dalam periode waktu tertentu.

Kata kunci — pemantauan energi, ESP32, LoRa, Node-RED

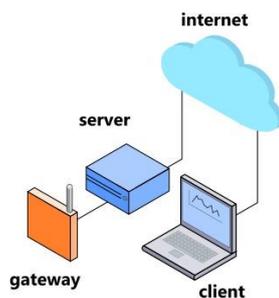
Konsep sistem

Sistem pemantauan dan pengendalian energi listrik terdiri dari sejumlah pengukur energi, *gateway*, server dan perangkat lunak pendukung. Pengukur energi dipasang pada *outlet* listrik sebelum masing-masing peralatan/mesin yang akan diukur (Gambar 1). Arus, tegangan dan besaran listrik lainnya yang terukur di tiap mesin akan dikirim ke *gateway* yang terhubung ke jaringan lokal/internet. Sebuah server digunakan untuk menyimpan dan mengelola data serta menampilkannya ke sebuah dasbor yang dapat diakses melalui komputer klien yang terhubung pada jaringan yang sama (Gambar 1).



Gambar 1 Sistem pemantauan energi secara individu

Setiap alat pengukur energi juga terdapat *relay* yang digunakan sebagai kendali *on-off* peralatan/ mesin. Pengendalian *relay* ini dapat dilakukan pada sebuah dasbor di komputer klien secara manual, berdasarkan fungsi pewaktuan, atau berdasarkan kondisi tertentu sesuai logika yang diberikan.



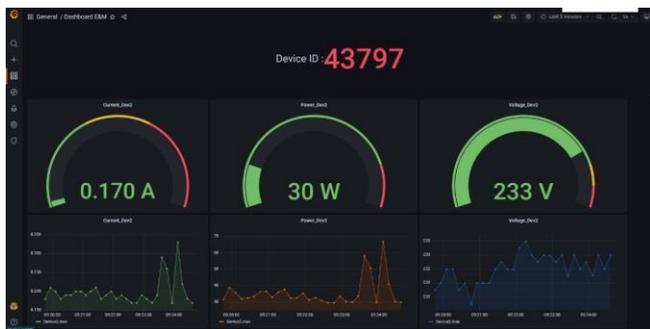
Gambar 2 Sistem IoT untuk mendukung sistem pemantauan

Hasil Pengujian

Pengujian yang sudah berhasil dilakukan yaitu:

1. PCB dan perakitan komponen elektronika telah berfungsi dengan baik yang ditunjukkan dengan pengukuran-pengukuran pada keluaran-keluaran regulator, pengecekan jalur-jalur PCB, serta pengujian pemrograman telah berhasil.

2. Pembacaan sensor PZEM-004T telah berhasil dilakukan dengan menunjukkan data energi terdiri dari (arus, tegangan, daya, energi, factor daya, frekuensi). Tegangan dan arus yang terbaca telah dibandingkan dengan alat ukur dan memberikan nilai sama.
3. Pengiriman data dari perangkat pengukur ke gateway melalui jaringan LoRa telah berhasil dilakukan pada jarak jangkauan kurang kurang lebih 300meter
4. Gateway telah berhasil mengirimkan ke server melalui jaringan WiFi dengan protocol MQTT
5. Tampilan dashboard Node-RED menunjukkan indikator sesuai dengan data
6. Data histori berhasil disimpan pada sebuah database InfluxDB dan ditampilkan menggunakan Grafana. Visualisasi data menggunakan indikator dan grafik
7. Pengendalian relay pada perangkat pengukur melalui dasbor Node-RED telah berhasil dilakukan.
8. Autentifikasi penggunaan halaman web dikonfigurasi untuk satu admin pada dan satu klien pada pemrograman Node-RED.



Gambar 3 Visualisasi data menggunakan Grafana



Gambar 4 Dasbor pengendalian relai pada komputer klien