

PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL LISTRIK PINTAR BERBASIS IoT UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA BANGUNAN

Ilham Maulana Kanuri¹, Muhammad Rayhan Feberiansyah²

^{1,2} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Catur Insan Cendekia,
Cirebon 45154

Artikel Info

Kata kunci:

Internet Of Things (Iot)
Sistem kontrol listrik pintar
Monitoring real-time
Penghematan energi
ESP 32

ABSTRAK

Pengelolaan konsumsi energi listrik yang efisien menjadi salah satu tantangan utama di sektor industri, khususnya pada fasilitas produksi yang menggunakan peralatan berdaya besar. Sistem pengendalian listrik konvensional sering menyebabkan pemborosan energi akibat perangkat yang tetap aktif di luar jam operasional dan minimnya pemantauan real-time. Penelitian ini mengusulkan dan mengimplementasikan sistem kontrol listrik pintar berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi energi pada fasilitas PT Ajinomoto Indonesia.

Sistem yang dikembangkan memanfaatkan perangkat keras seperti mikrokontroler ESP32, sensor arus ACS712, sensor PIR, dan modul relay, serta perangkat lunak berbasis Laravel, Node-RED, dan protokol MQTT. Fitur utama meliputi pemantauan konsumsi energi secara real-time, kontrol otomatis perangkat berdasarkan deteksi okupansi dan jadwal operasional, notifikasi anomali, serta penyusunan laporan analisis yang dapat diakses secara daring. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu merespons perubahan status perangkat dengan waktu kurang dari 3 detik dan tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 99,8%. Berdasarkan simulasi selama dua minggu, proyeksi penghematan energi mencapai 20% dibandingkan metode konvensional.

Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan IoT pada manajemen energi dapat meningkatkan efisiensi, mendukung pengambilan keputusan berbasis data, serta berkontribusi pada penerapan konsep green building dan keberlanjutan energi di sektor industri.

Author Korespondensi :

Ilham Maulana Kanuri,
Muhammad Rayhan Febriansyah,
Kusnadi,
Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Catur Insan Cendekia, Cirebon 45154

Email: ilham.kanuari.ti.22@cic.ac.id

Rayhan.febriansyah.ti.22@cic.ac.id

Kusnadi@cic.ac.id

1. PENDAHULUAN

Konsumsi energi listrik pada sektor industri menjadi salah satu faktor utama dalam penggunaan energi global. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, digitalisasi energi dapat menghemat konsumsi energi hingga 30% [1]. Sektor industri menyumbang porsi signifikan dari total konsumsi energi nasional. Penggunaan energi yang tidak efisien tidak hanya berdampak pada peningkatan biaya produksi, tetapi juga berkontribusi pada tingginya emisi karbon yang dapat memengaruhi reputasi perusahaan dan keberlanjutan lingkungan [2], [3].

PT Ajinomoto Indonesia, sebagai perusahaan manufaktur pangan berskala besar, mengoperasikan berbagai fasilitas produksi seperti pabrik pengolahan, gudang penyimpanan, kantor administrasi, dan fasilitas pendukung lainnya. Aktivitas produksi yang intensif menggunakan peralatan listrik berkapasitas tinggi seperti mesin produksi, sistem pendingin, dan peralatan pengemasan menghadapi tantangan dalam pengelolaan konsumsi energi [4], [5]. Sistem pengelolaan listrik konvensional yang digunakan saat ini kerap menyebabkan pemborosan energi, misalnya peralatan tetap menyala di luar jam operasional, kesulitan dalam memantau konsumsi energi secara real-time, serta minimnya data analisis yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan strategis terkait efisiensi energi [6], [7].

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar untuk mengembangkan sistem kontrol listrik pintar [8], [9]. Penelitian Rizal et al. menunjukkan bahwa penerapan IoT pada sistem manajemen energi gedung mampu mengoptimalkan konsumsi daya secara signifikan. Dengan penerapan sistem kontrol listrik pintar berbasis IoT, pengelolaan konsumsi listrik dapat dilakukan secara lebih efisien, transparan, dan terukur [10], [11].

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penerapan sistem kontrol listrik pintar berbasis IoT di PT Ajinomoto Indonesia untuk mendukung efisiensi energi di seluruh fasilitas produksi dan pendukung [12]. Sistem ini akan dilengkapi dengan sensor, aktuator, dan platform pemantauan terintegrasi yang memungkinkan pemantauan real-time, pengaturan otomatis, serta analisis penggunaan energi, sehingga perusahaan dapat menekan biaya operasional sekaligus berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan [13], [14], [15].

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan pengembangan sistem berbasis System Development Life Cycle (SDLC) model Waterfall. Metode ini dipilih karena memberikan tahapan kerja yang terstruktur dan sistematis mulai dari analisis hingga implementasi.

2.1. Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem kontrol listrik pintar berbasis IoT di PT Ajinomoto Indonesia. Analisis mencakup:

- Kebutuhan perangkat keras (*hardware*) seperti mikrokontroler ESP32, sensor arus ACS712, sensor PIR, dan modul relay.
- Kebutuhan perangkat lunak (*software*) seperti Arduino IDE, MQTT broker, Node-RED, Laravel, dan MySQL.
- Spesifikasi keamanan jaringan dan komunikasi data.

2.1. Perancangan Sistem

Arsitektur sistem kontrol listrik pintar berbasis IoT untuk PT AJINOMOTO INDONESIA dirancang dengan pendekatan tiga lapisan, yang terdiri dari:

1. Lapisan Perangkat (Device Layer)

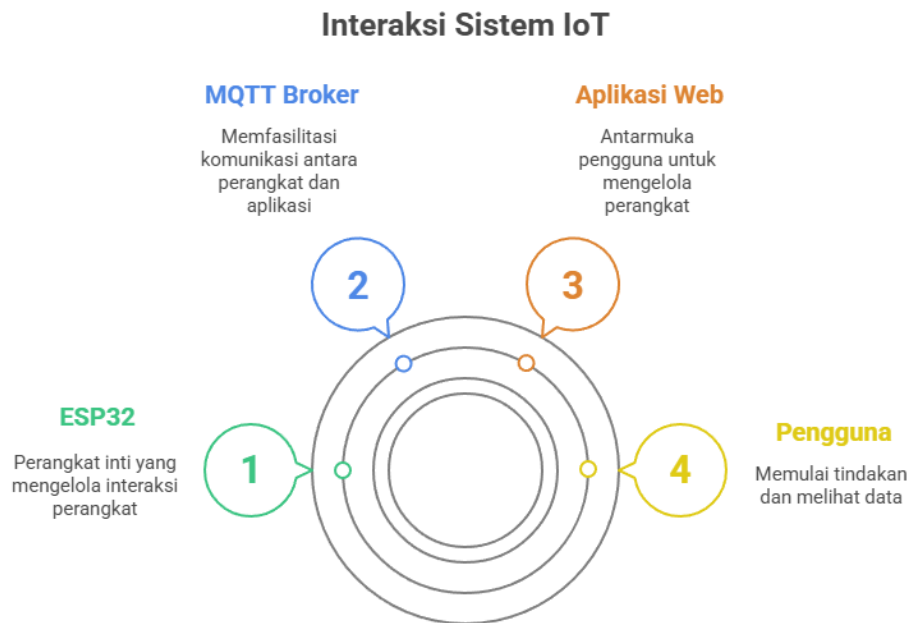
- Terdiri dari sensor, aktuator, dan mikrokontroler yang tersebar di berbagai lokasi di sekolah
- Bertanggung jawab untuk pengumpulan data dan eksekusi perintah kontrol
- Menggunakan protokol MQTT untuk komunikasi dengan lapisan sistem

2. Lapisan Sistem (System Layer)

- Terdiri dari MQTT Broker, Node-RED, dan Database
- Bertanggung jawab untuk pemrosesan data, penyimpanan, dan logika kontrol
- Mengimplementasikan aturan otomatisasi dan pemrosesan data secara real-time

3. Lapisan Aplikasi (Application Layer)

- Terdiri dari aplikasi web (frontend dan backend)
- Menyediakan antarmuka pengguna untuk pemantauan dan kontrol
- Menampilkan visualisasi data dan laporan analisis



Gambar 1. Arsitektur Sistem

Gambar.1 menunjukkan alur interaksi dalam sistem Internet of Things (IoT) yang terdiri dari empat komponen utama, yaitu ESP32, MQTT Broker, Aplikasi Web, dan Pengguna. Pertama, ESP32 berfungsi sebagai perangkat inti yang mengelola interaksi dengan sensor atau aktuator, sehingga mampu mengirimkan maupun menerima data dari lingkungan. Kedua, data yang diperoleh dari ESP32 dikirim melalui MQTT Broker yang bertugas memfasilitasi komunikasi antara perangkat IoT dengan aplikasi, memastikan pertukaran data berjalan secara efisien dan real-time. Selanjutnya, Aplikasi Web berperan sebagai antarmuka pengguna yang digunakan untuk memantau, mengelola, serta mengendalikan perangkat yang terhubung. Terakhir, Pengguna berinteraksi langsung dengan sistem melalui aplikasi tersebut, dengan kemampuan untuk memberikan instruksi sekaligus menganalisis data yang ditampilkan. Dengan demikian, diagram ini menggambarkan keterhubungan yang terstruktur antara perangkat keras, protokol komunikasi, aplikasi, dan pengguna dalam sebuah sistem IoT yang saling melengkapi untuk mendukung otomatisasi dan pemantauan jarak jauh.

2.3. Implementasi

Sistem direalisasikan dengan mengintegrasikan perangkat keras IoT dengan perangkat lunak pengendali. Mikrokontroler ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE untuk mengirimkan data sensor ke server melalui protokol MQTT. Node-RED digunakan sebagai middleware untuk memproses data dan mengatur otomatisasi, sedangkan Laravel digunakan untuk membangun dashboard pemantauan berbasis web.

3. PEMBAHASAN HASIL

Implementasi sistem kontrol listrik pintar berbasis Internet of Things (IoT) di PT AJINOMOTO INDONESIA dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik melalui otomatisasi dan pemantauan real-time.

3.1 Implementasi Interface

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menjalankan beberapa fungsi utama sebagai berikut:

1. Pemantauan Konsumsi Energi Real-Time:

Sistem mampu menampilkan data konsumsi energi dari masing-masing ruangan secara real-time melalui antarmuka dashboard berbasis web. Data ini ditampilkan dalam bentuk grafik harian, mingguan, dan bulanan menggunakan integrasi Chart.js.

2. Otomatisasi Penggunaan Perangkat Listrik:

Sistem mengontrol perangkat berdasarkan sensor PIR yang mendeteksi keberadaan manusia. Jika tidak ada pergerakan selama lebih dari 15 menit, maka sistem mematikan perangkat yang tidak digunakan.

3. Notifikasi dan Laporan Konsumsi Energi:

Sistem mengirimkan peringatan ke dashboard apabila ditemukan konsumsi listrik yang tidak sesuai pola normal (anomali). Selain itu, sistem menyediakan laporan berkala dalam bentuk PDF atau Excel untuk membantu pihak manajemen sekolah dalam pengambilan keputusan penghematan energi.

4. Jadwal Operasional Perangkat:

Admin dapat mengatur jadwal operasional perangkat listrik berdasarkan hari dan waktu melalui halaman khusus dalam antarmuka pengguna, meminimalkan penggunaan energi saat sekolah tidak beroperasi.

3.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian sistem menunjukkan respons cepat (<3 detik) untuk setiap perubahan status perangkat, dengan tingkat keberhasilan pengiriman data sensor sebesar 99,8% dalam pengujian 24 jam.

3.3 Analisis Kebutuhan Sistem

Penerapan IoT dalam manajemen energi bukan hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memberikan peluang untuk pengambilan keputusan berbasis data. Dalam studi oleh Kumar et al. (2017), sistem serupa berhasil mengurangi konsumsi energi hingga 25% dengan menerapkan kontrol otomatis berdasarkan deteksi keberadaan dan penggunaan energi historis. Hasil implementasi di PT AJINOMOTO INDONESIA memperkuat temuan tersebut, dengan proyeksi penghematan awal sebesar 20% berdasarkan simulasi jadwal dan sensor aktif selama dua minggu.

Sistem ini memperkuat argumen IEA (2021) bahwa bangunan cerdas (smart buildings) yang menggunakan teknologi digital, termasuk IoT, berpotensi menghemat energi hingga 30% secara global. Dengan mengandalkan pengukuran arus melalui sensor ACS712 dan sensor PIR, sistem ini mendukung otomatisasi yang adaptif terhadap kebutuhan nyata pengguna, bukan hanya sekadar berdasarkan jadwal tetap.

Keunggulan dari sistem yang dikembangkan terletak pada integrasi penuh mulai dari perangkat fisik hingga visualisasi data, yang menjadikannya lebih komprehensif dibanding studi-studi sebelumnya. Selain itu, pendekatan multi-layer architecture (device, system, dan application layer) memungkinkan sistem untuk tetap modular dan skalabel.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem kontrol listrik pintar berbasis Internet of Things (IoT) di PT AJINOMOTO INDONESIA, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Penelitian ini berhasil mencapai seluruh tujuan yang telah ditetapkan:

1. Pengembangan Sistem Kontrol dan Pemantauan Daring Sistem kontrol listrik pintar berbasis IoT telah berhasil dikembangkan dengan mengintegrasikan perangkat keras (ESP32, sensor ACS712, sensor PIR, relay module) dan perangkat lunak (Laravel, Node-RED, MQTT, MySQL). Sistem dapat diakses secara daring melalui dashboard berbasis web yang memungkinkan pemantauan dan kontrol perangkat listrik secara real-time.

2. Peningkatan Efisiensi Energi Melalui Otomatisasi Implementasi otomatisasi kontrol perangkat berdasarkan deteksi okupansi menggunakan sensor PIR dan penjadwalan operasional berhasil meningkatkan efisiensi energi. Proyeksi penghematan energi mencapai 20% berdasarkan simulasi dan pengujian selama dua minggu, terutama melalui eliminasi pemborosan energi akibat perangkat yang dibiarkan menyala saat ruangan kosong.

3. Pemantauan Konsumsi Energi Real-time Sistem berhasil menyediakan pemantauan konsumsi energi secara real-time untuk 15 ruangan dengan tingkat keberhasilan pengiriman data sensor sebesar 99,8%. Data ditampilkan dalam bentuk grafik harian, mingguan, dan bulanan menggunakan Chart.js, memungkinkan identifikasi area yang dapat dioptimalkan.

4. Penyediaan Fitur Analisis dan Laporan Sistem menyediakan fitur analisis komprehensif dengan laporan konsumsi energi yang dapat diekspor dalam format PDF dan Excel. Fitur notifikasi anomali membantu mendeteksi penggunaan energi yang tidak normal, mendukung pengambilan keputusan berbasis data untuk penghematan energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT AJINOMOTO Cirebon yang telah bersedia menjadi mitra dalam pengembangan sistem, serta Universitas Catur Insan Cendekia yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

REFERENCES

- [1] A. Furqon, A. B. Prasetijo, and E. D. Widiyanto, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali Daya Listrik pada Rumah Kos Menggunakan NodeMCU dan Firebase Berbasis Android," *Techne : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 18, no. 02, pp. 93–104, Oct. 2019, doi: 10.31358/techne.v18i02.202.
- [2] A. Khumaidi, "Sistem Monitoring dan Kontrol Berbasis Internet of Things untuk Penghematan Listrik pada Food and Beverage."
- [3] I. Hidayat, A. Wahyu Dani, I. Hermala, and H. Harisuddin, "Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Kontrol Berbasis IoT untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik di Kampung Lo'ang - Kojagete, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur," *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, vol. 8, no. 3, pp. 1740–1749, Mar. 2023, doi: 10.36418/syntax-literate.v8i3.10748.
- [4] R. Dwi Nareswara and A. Imam Agung, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Beban Listrik Berbasis Internet of Things (IOT) 499 RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN BEBAN LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)." [Online]. Available: www.mikroavr.com
- [5] Mohamad Diki, Charis Fathul Hadi, and Ratna Mustika Yasi, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Distribusi Listrik Rumah Kos Berbasis IoT," *JOURNAL ZETROEM*, vol. 6, no. 2, pp. 11–16, Nov. 2024, doi: 10.36526/ztr.v6i2.4303.
- [6] W. Yuniarto, I. I. S. S. R. Man, M. Diponegoro, and E. E., "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KONTROL ENERGI LISTRIK PADA BEBAN 3 FASA MENGGUNAKAN ESP32 BERBASIS INTERNET OF THINK (IOT)," *Jurnal Poli-Teknologi*, vol. 22, no. 1, pp. 30–38, Jan. 2023, doi: 10.32722/pt.v22i1.5102.
- [7] D. Darto, A. Suprpto, and W. Dirgantara, "Pendampingan Penerapan IoT untuk Monitoring dan Kontrol Listrik untuk Petani Hidrokanik Desa Kanigoro Malang," *Abdimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Merdeka Malang*, vol. 6, no. 3, pp. 315–325, Aug. 2021, doi: 10.26905/abdimas.v6i3.5107.
- [8] A. B. Lasera and I. H. Wahyudi, "Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 5, no. 2, pp. 112–120, Dec. 2020, doi: 10.21831/elinvo.v5i2.34261.
- [9] A. Zulkarnain and M. Miftahul, "PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING DAN KONTROL PERALATAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN ESP-01S DAN PZEM-004T," *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi (JUKANTI)*, vol. 8, no. 1, pp. 78–85, Apr. 2025, doi: 10.37792/jukanti.v8i1.1524.
- [10] A. Rizal Tama and S. Winardi, "MONITORING ARUS LISTRIK DAN KONTROL CIRCUIT BREAKER UNTUK ARUS LEBIH BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)".
- [11] S. Maulani and M. B. Ulum, "RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM KONTROL DAN PEMONITORAN ENERGI LISTRIK PADA STOPKONTAK ARDE BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) DENGAN APLIKASI ANDROID," *Sebatik*, vol. 27, no. 2, pp. 741–752, Dec. 2023, doi: 10.46984/sebatik.v27i2.2214.
- [12] S. Hariyadi, H. Hartono, R. I.S., S. Setiyo, and S. Julaihah, "SISTEM KONTROL DAN MONITORING ALIRAN DAYA LISTRIK PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN

- RENDAH MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER BERBASIS IOT,” *Jurnal Penelitian*, vol. 8, no. 2, pp. 151–164, Aug. 2023, doi: 10.46491/jp.v8i2.1501.
- [13] N. Fauzia, C. R. Sari, and A. I. Hidayat, “Sistem Kendali Beban Listrik Berbasis Internet Of Things,” *Journal Pegguruang: Conference Series*, vol. 4, no. 1, p. 397, May 2022, doi: 10.35329/jp.v4i1.2360.
- [14] A. ArjunPratikto, “Simulasi Kendali Dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32,” *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, vol. 3, no. 1, pp. 38–48, Jul. 2022, doi: 10.36040/alinier.v3i1.4855.
- [15] A. Rakhman Suharso, A. Nugraha, and D. Oktarina Dwi Handayani, “SISTEM MONITOR DAN KONTROL KONSUMSI LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS IOT DAN ANDROID,” *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, vol. 7, no. 2, pp. 1–11, Mar. 2021, doi: 10.52005/rekayasa.v7i2.51.