TIRE 1 (2026) 2

Technology, Innovation and Research in Engineering

homepage: https://journal.grahawidya.org/index.php/tire

Pengembangan Sistem Mekatronika Berbasis IoT untuk Optimasi Energi pada Mesin Produksi Otomatis

Development of a IoT-Based Mechatronics System for Energy Optimization in Automated Production Machines

Mohammad Iqbal Firdaus[1], M. Arif Budiman Saputra[1], Izza Nurhidayatulloh[1]*, Ilham Nur Rohman[1], Ihl Agustian[1]

[1] Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang, Semarang, Indonesia

*Corresponding author
E-mail: izzanurhidayatulloh362@gmail.com

INFO ARTIKEL

Kata kunci:
Efisiensi energi;
Internet of things;
Mesin produksi otomatis;
Mekatronika;
Smart control action
Keywords:
Energy efficiency;
Internet of Things;
Mechatronics;
Smart control action;
Automated production machines

Received: 15 Juli 2026
Revised: 18 September 2026
Online published: 31 Oktober 2026

A B S T R A K

Konsumsi energi pada mesin produksi otomatis dapat meningkat ketika subsistem tetap beroperasi pada fase idle yang tidak terdeteksi secara cepat. Pencatatan pada kWh meter induk juga belum memberikan informasi yang cukup rinci untuk menelusuri konsumsi pada tiap subsistem. Penelitian ini mengembangkan purwarupa sistem mekatronika berbasis Internet of Things (IoT) yang mengakuisisi arus, tegangan, suhu, dan getaran secara real-time, kemudian menggunakan logika kontrol berbasis state-machine untuk memvalidasi kondisi idle sebelum menjalankan smart control action berupa pemutusan atau reduksi suplai daya. Pengujian meliputi kalibrasi sensor, respons kendali otomatis, dan pengukuran konsumsi energi selama tujuh hari kerja dengan durasi operasi delapan jam per hari. Hasil menunjukkan error seluruh sensor kurang dari 3%, total delay kendali 295–346 ms dengan rata-rata 325 ms, serta tingkat keberhasilan eksekusi 97,8%. Konsumsi energi turun dari 298,3 kWh menjadi 231,7 kWh, sehingga diperoleh penghematan 66,6 kWh atau efisiensi rata-rata 22,3%. Temuan ini menunjukkan bahwa penggabungan akuisisi data multi-parameter dan aksi korektif otomatis dapat digunakan sebagai pendekatan retrofit untuk pengelolaan energi pada mesin produksi otomatis.

A B S T R A C T

Energy consumption in automated production machines can increase when subsystems remain energized during undetected idle periods. Conventional recording at a main kWh meter also provides limited information for tracing consumption at the subsystem level. This study develops a prototype Internet of Things (IoT)-based mechatronics system that acquires current, voltage, temperature, and vibration data in real time and applies a state-machine control logic to validate idle conditions before executing a smart control action that cuts or reduces power supply. The tests covered sensor calibration, automatic control response, and energy consumption over seven working days with eight operating hours per day. The results show sensor errors below 3%, a total control delay of 295–346 ms with an average of 325 ms, and an execution success rate of 97.8%. Energy consumption decreased from 298.3 kWh to 231.7 kWh, corresponding to 66.6 kWh of savings or an average efficiency improvement of 22.3%. These findings indicate that combining multi-parameter data acquisition with automatic corrective action can support retrofit-oriented energy management for automated production machines.

1. Pendahuluan

Digitalisasi manufaktur mendorong perubahan orientasi kinerja mesin dari sekadar pencapaian target produksi menuju pengelolaan proses yang juga mempertimbangkan efisiensi sumber daya. Dalam konteks tersebut, konsumsi listrik menjadi salah satu parameter penting karena operasi mesin otomatis yang berlangsung pada skala besar dapat meningkatkan beban energi dan biaya operasional [1, 2]. Pada praktiknya, kondisi idle pada sebagian subsistem masih dapat menyumbang konsumsi energi ketika

doi
ISSN xxxxxxxx (online), xxxx (print)/© 2026.
Tire is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

aktivitas produksi tidak berlangsung, sementara pencatatan melalui meter utama tidak memberikan resolusi data yang memadai untuk menelusuri sumber pemborosan pada tingkat komponen [3, 4].

Integrasi mekatronika dengan *Internet of Things (IoT)* menawarkan pendekatan yang memungkinkan kondisi fisik mesin dihubungkan dengan akuisisi, komunikasi, dan pemantauan data secara berkelanjutan. Sensor arus, tegangan, suhu, dan getaran dapat digunakan untuk membentuk gambaran kondisi operasi mesin, sedangkan mikrokontroler dan jaringan *IoT* menyediakan jalur pengiriman data menuju platform analitik [5–7]. Dengan arsitektur tersebut, informasi energi tidak berhenti pada fungsi visualisasi, tetapi dapat menjadi masukan bagi keputusan kendali.

Studi terdahulu yang dirujuk dalam naskah menunjukkan bahwa pemantauan energi berbasis *IoT* dan otomasi mekatronika telah banyak dikembangkan, tetapi pendekatan yang hanya melakukan monitoring belum secara langsung menangani pemborosan ketika subsistem berada pada keadaan non-produktif [8]. Integrasi antara sistem kendali tertanam dan komunikasi IoT juga masih membuka ruang untuk diterapkan pada mesin industri yang membutuhkan respons otomatis [9, 10]. Celah tersebut menjadi dasar pengembangan purwarupa pada penelitian ini.

Untuk memperjelas mekanisme *smart control action*, sistem pada penelitian ini dirumuskan sebagai *state-machine* dengan tiga kondisi utama, yaitu AKTIF, VERIFIKASI IDLE, dan IDLE/REDUKSI. Data sensor dibaca secara kontinu. Ketika indikator operasi menunjukkan kecenderungan idle, sistem masuk ke keadaan verifikasi dan hanya mengubah status menjadi IDLE setelah kondisi tersebut memenuhi kriteria validasi. Setelah status IDLE terkonfirmasi, relay menjalankan pemutusan atau reduksi daya pada subsistem yang tidak aktif. Struktur ini dimaksudkan untuk mengurangi pemicuan kendali akibat perubahan sesaat, termasuk fluktuasi arus ketika motor mengalami coasting down.

Tujuan penelitian adalah mengembangkan dan menguji purwarupa mekatronika-IoT untuk optimasi energi pada mesin produksi otomatis melalui tiga indikator utama: akurasi akuisisi sensor, kecepatan dan keberhasilan *smart control action*, serta perubahan konsumsi energi sebelum dan sesudah implementasi sistem. Kontribusi yang ditawarkan adalah rancangan retrofit yang menggabungkan monitoring multi-parameter dengan aksi korektif otomatis pada tingkat subsistem.

2. Metode Penelitian

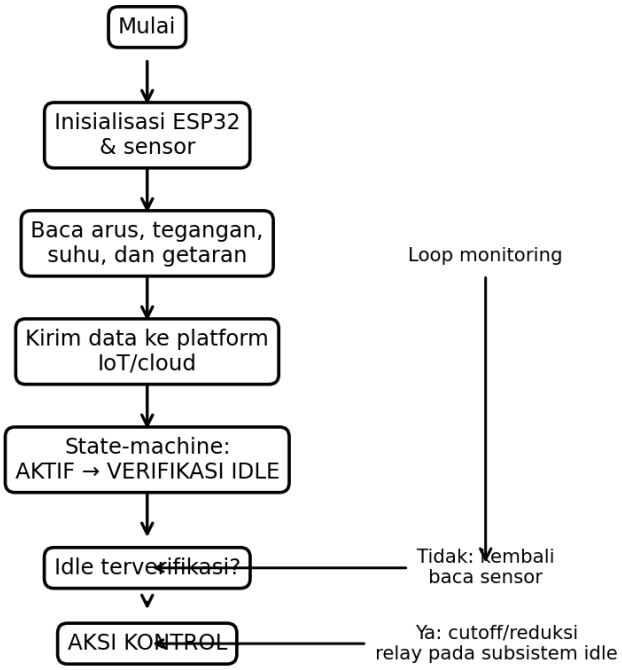
2.1. Bahan dan Perangkat

Perangkat yang digunakan dalam purwarupa mengikuti komponen yang terdokumentasi pada naskah sumber, yaitu mikrokontroler yang mendukung komunikasi IoT, sensor arus ACS712, sensor tegangan ZMPT101B, sensor suhu Termokopel/DS18B20, sensor getaran accelerometer ADXL345, serta modul relay pintar atau kontaktor sebagai aktuator pemutus/reduksi daya. Perangkat lunak terdiri atas lingkungan pemrograman mikrokontroler dan platform cloud IoT untuk visualisasi serta penyimpanan data. Naskah sumber tidak menetapkan secara eksplisit model mikrokontroler dan platform cloud yang benar-benar dipakai, sehingga detail tersebut tidak dinyatakan sebagai fakta baru pada revisi ini.

2.2. Arsitekur dan Alogaritma Sistem

Arsitektur sistem terdiri atas lapisan akuisisi, komunikasi, analisis, dan aktuasi. Sensor mengukur arus, tegangan, suhu, dan getaran pada subsistem mesin. Mikrokontroler mengumpulkan data, mengirimkannya melalui komunikasi nirkabel ke platform IoT, dan secara bersamaan menjalankan logika state-machine untuk keputusan kendali. State AKTIF mempertahankan suplai daya ketika parameter menunjukkan mesin bekerja. State VERIFIKASI IDLE digunakan untuk memeriksa apakah kondisi non-produktif bertahan dan bukan sekadar perubahan sesaat. Jika kondisi tervalidasi, sistem berpindah ke state IDLE/REDUKSI dan relay menjalankan aksi korektif. Setelah aktivitas terdeteksi kembali, sistem kembali ke state AKTIF.

Gambar 1 memperlihatkan alur kerja yang dirumuskan dari mekanisme sistem pada naskah. Penggunaan state VERIFIKASI IDLE memperjelas posisi algoritma adaptif di antara pembacaan sensor dan aksi relay, sekaligus memberikan dasar untuk mengurangi false trigger akibat transien.



Gambar 1. Bagan alir sistem mekatronika berbasis IoT dan logika *smart control action*.

2.3. Pengujian

Validasi dilakukan melalui tiga tahap. Pertama, kalibrasi sensor dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur standar dan melakukan 10 kali pengulangan pada kondisi beban yang bervariasi. Kedua, uji respons kendali pada tiga subsistem mesin, yaitu motor konveyor, motor spindle, dan unit kompresor pneumatik, dengan 15 simulasi kondisi idle. Parameter yang dicatat adalah delay deteksi idle, delay aktuator, total delay, dan keberhasilan eksekusi. Ketiga, pengujian energi dilakukan selama tujuh hari kerja dengan durasi delapan jam per hari melalui perbandingan konsumsi konvensional dan konsumsi setelah implementasi sistem.

Persamaan untuk menghitung error sensor dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Error (\%)} = |\text{Nilai standar} - \text{Nilai sensor}| \,/\, \text{Nilai standar} \times 100\% \quad (1)$$

Total delay kendali dihitung dari penjumlahan waktu deteksi kondisi idle dan waktu eksekusi aktuator:

$$\text{Total Delay} = \text{Delay deteksi idle} + \text{Delay eksekusi actuator} \quad (2)$$

Penghematan energi dan efisiensi dihitung dari selisih konsumsi konvensional terhadap konsumsi setelah sistem diterapkan:

$$\text{Penghematan} = E_{konvensional} - E_{sistem} \quad (3)$$

$$\text{Efisiensi (\%)} = (\text{Penghematan} / E_{konvensional}) \times 100\% \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Uji Fungsionalitas Sensor dan Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur standar. Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa seluruh error berada di bawah 3%. Nilai error terkecil terdapat pada sensor tegangan (0,77%), sedangkan nilai terbesar terdapat pada accelerometer untuk getaran (2,20%). Perbedaan tersebut konsisten dengan penjelasan pada naskah awal bahwa pengukuran getaran lebih sensitif terhadap noise mekanis pada dudukan sensor.

Tabel 1. Hasil kalibrasi sensor terhadap alat ukur standar.

Parameter	Sensor	Alat standar	Sensor (rata-rata)	Error (%)
Arus	ACS712	8,45 A	8,32 A	1,54
Tegangan	ZMPT101B	221,6 V	219,9 V	0,77
Suhu	Termokopel/DS18B20	46,2 °C	45,6 °C	1,30
Getaran	Accelerometer (ADXL345)	1,82 g	1,78 g	2,20

3.2. Hasil Uji Respons Kendali Otomatis

Pengujian respons menunjukkan total delay 295–346 ms. Motor konveyor dan unit kompresor pneumatik mencapai keberhasilan eksekusi 100%, sedangkan motor spindle mencapai 93,3%. Rata-rata keseluruhan adalah 325 ms dengan keberhasilan 97,8%. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa mekanisme kendali dapat merespons perubahan kondisi mesin dalam skala ratusan milidetik.

Tabel 2. Hasil uji waktu respons kendali otomatis.

Subsistem	Delay deteksi (ms)	Delay aktuator (ms)	Total delay (ms)	Keberhasilan (%)
Motor Konveyor	210	85	295	100
Motor Spindle	245	90	335	93,3
Unit Kompresor Pneumatik	268	78	346	100
Rata-rata keseluruhan	241	84	325	97,8

Kegagalan eksekusi sebesar 6,7% pada motor spindle perlu dipahami sebagai keterbatasan sistem saat menghadapi kondisi transien. Setelah motor berhenti, arus tidak langsung mencapai keadaan tunak karena rotor masih mengalami coasting down. Perubahan arus sesaat tersebut dapat terbaca sebagai indikasi aktivitas setelah sistem mulai memvalidasi idle. Dalam logika state-machine, kondisi seperti ini dapat menahan perpindahan status sampai sinyal stabil; pada implementasi yang ada, sebagian kejadian masih menghasilkan false trigger sehingga eksekusi tidak terjadi. Temuan ini mendukung kebutuhan penyempurnaan filtering dan validasi waktu pada tahap berikutnya.

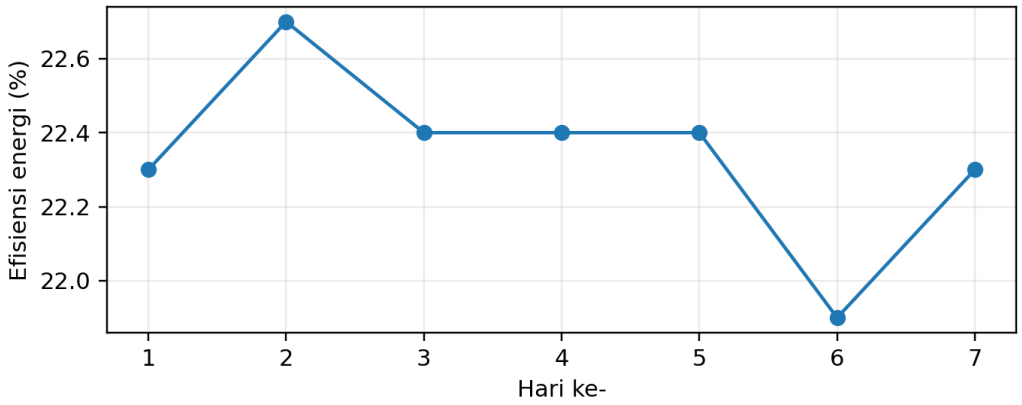
Perhitungan rata-rata memberikan delay deteksi 241 ms, delay aktuator 84 ms, dan total sekitar 325 ms. Nilai tersebut merupakan hasil pengukuran tiga subsistem, bukan batas teoritis universal untuk semua mesin.

3.3. Hasil Uji Respons Kendali Otomatis

Selama tujuh hari observasi, konsumsi konvensional berjumlah 298,3 kWh, sedangkan konsumsi dengan sistem sebesar 231,7 kWh. Selisih 66,6 kWh menghasilkan efisiensi total 22,33% yang dibulatkan menjadi 22,3%. Nilai harian berada pada rentang 21,9–22,7%.

Tabel 3. Perbandingan konsumsi energi sebelum dan setelah implementasi sistem.

Hari	Konvensional (kWh)	Dengan sistem (kWh)	Penghematan (kWh)	Efisiensi (%)
1	42,6	33,1	9,5	22,3
2	41,9	32,4	9,5	22,7
3	43,8	34,0	9,8	22,4
4	40,7	31,6	9,1	22,4
5	44,2	34,3	9,9	22,4
6	42,0	32,8	9,2	21,9
7	43,1	33,5	9,6	22,3
Total	298,3	231,7	66,6	22,3



Gambar 2. Tren efisiensi energi harian selama tujuh hari observasi.

Gambar 2 menunjukkan bahwa efisiensi harian relatif berdekatan, dengan nilai tertinggi 22,7% pada hari kedua dan terendah 21,9% pada hari keenam. Dengan demikian, data tujuh hari menunjukkan variasi yang kecil dalam periode pengamatan. Namun, karena observasi hanya berlangsung tujuh hari, hasil tersebut belum cukup untuk menyimpulkan kestabilan performa pada periode produksi yang lebih panjang.

3.4. Diskusi Komparatif dan Keterbatasan

Dibandingkan pencatatan manual pada meter utama, rancangan ini menambahkan dua kemampuan yang relevan bagi optimasi energi: granularitas pengukuran pada subsistem dan aksi korektif otomatis. Penelitian terkait yang dirujuk menunjukkan perkembangan monitoring energi berbasis IoT, sensor kelistrikan, serta pengendalian beban menggunakan mikrokontroler [11]–[18]. Posisi kontribusi naskah ini berada pada penggabungan pengukuran multi-parameter dengan state-machine yang memicu relay ketika kondisi idle telah divalidasi.

Keterbatasan utama penelitian adalah durasi observasi yang singkat, ketidakpastian pengaruh pola produksi jangka panjang, dan sensitivitas sensor getaran terhadap noise. Selain itu, tingkat keberhasilan motor spindle yang 93,3% menunjukkan bahwa filtering transien masih perlu ditingkatkan. Keterbatasan lain yang harus diperhatikan pada tahap reproduksi adalah dokumentasi sumber yang belum menyebutkan secara eksplisit model mikrokontroler dan platform cloud yang digunakan; detail tersebut perlu dilengkapi oleh penulis berdasarkan catatan eksperimen sebelum naskah disubmit kembali.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan purwarupa sistem mekatronika berbasis IoT yang menggabungkan akuisisi arus, tegangan, suhu, dan getaran dengan smart control action untuk menangani kondisi idle pada mesin produksi otomatis. Hasil kalibrasi

menunjukkan error sensor di bawah 3%, sedangkan pengujian kendali menghasilkan total delay rata-rata 325 ms dan tingkat keberhasilan eksekusi 97,8%. Selama tujuh hari pengamatan, konsumsi energi turun dari 298,3 kWh menjadi 231,7 kWh atau berkurang 66,6 kWh, dengan efisiensi rata-rata 22,3%. Hasil tersebut mendukung penggunaan arsitektur retrofit berbasis IoT untuk pemantauan sekaligus pengendalian energi pada tingkat subsistem, dengan catatan bahwa penyempurnaan filtering transien dan pengujian jangka lebih panjang masih diperlukan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan finansial atau hubungan pribadi yang diketahui dapat mempengaruhi pekerjaan yang dilaporkan dalam naskah ini.

Pengungkapan Penggunaan AI

AI digunakan untuk membantu pemformatan dan penyuntingan bahasa naskah revisi. Analisis hasil, data eksperimen, dan kesimpulan substantif dipertahankan berdasarkan naskah sumber yang disediakan penulis.

Referensi

[1] R. T. Trista, “Peran Internet of Things (IoT) dalam Industri 4.0,” Jurnal Sains dan Teknologi Widyaloka, vol. 1, no. 2, pp. 235–241, 2022.

[2] E. Suciana, M. H. Nasrullah, D. A. Christanto, D. Cahyadi, and L. T. Giantri, “Pemanfaatan IoT untuk Efisiensi Energi pada Pabrik Pintar: Tantangan, Solusi dan Tren Teknologi,” Jurnal Teknologi Terpadu, vol. 11, no. 1, pp. 70–77, 2025.

[3] Zulfadlillah, M. A. Fathani, M. Noval, and Irwana, “Penerapan Sistem Manufacturing 4.0 dengan Integrasi Internet of Things (IoT) untuk Optimalisasi Efisiensi Produksi,” JURITEK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer, vol. 4, no. 1, pp. 159–164, 2024.

[4] E. Indra and A. Fauzi, “Optimalisasi Internet of Things (IoT) dalam Transformasi Industri Manufaktur Berfokus pada Sektor Automatisasi Lini Produksi pada Era Industri 4.5,” Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FPMIPA IKIP Bojonegoro, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2025.

[5] A. R. Putra and S. Budiyanto, “Pengembangan Industrial Mechatronics System (IMS) Berbasis Internet of Things untuk Pengendalian Jarak Jauh,” Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 12, no. 2, pp. 89–98, 2023.

[6] T. Suryana, “Strategi Pengurangan Konsumsi Listrik Melalui Teknologi Cerdas: Penerapan Internet of Things (IoT) di Masa Depan,” Jurnal Angka (Rumpun Teknik, Matematika, dan Ilmu Pengetahuan Alam), vol. 1, no. 3, pp. 45–54, 2024.

[7] M. A. Pratama and N. Wibowo, “Implementasi Otomatisasi Mekatronika dalam Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Energi pada Sektor Industri Manufaktur Lokal,” Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi), vol. 8, no. 2, pp. 310–317, 2024.

[8] F. Ramadhan and T. Hidayat, “Sistem Pemantauan dan Analisis Konsumsi Energi Listrik Real-Time Berbasis Sensor Arus dan NodeMCU,” Jurnal Otomasi, Kontrol, dan Instrumentasi, vol. 15, no. 1, pp. 22–31, 2023.

[9] K. Wijaya and B. Santoso, “Integrasi Protokol IoT dan Sistem Kendali Tertanam untuk Mereduksi Konsumsi Energi Mesin Industri,” Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi dan Robotika, vol. 7, no. 1, pp. 14–23, 2025.

[10] D. Setiawan and A. Nugroho, “Desain Retrofitting Mesin Produksi Konvensional Menjadi Smart Machine Berbasis IoT untuk Efisiensi Daya Listrik,” Jurnal Mikrotiga, vol. 11, no. 3, pp. 102–111, 2024.

[11] F. N. Fauzan, S. Utami, and M. R. B. Pratama, “Monitoring Sistem Kelistrikan Tiga Fasa Berbasis IoT dengan Sensor ACS712 dan ZMPT101B,” ENERGI, vol. 13, no. 1, pp. 24–29, Aug. 2024, doi: 10.35313/.v13i1.5246.

[12] I. P. A. E. K. Y. W., I. G. A. P. R. A., and I. M. A. W. P., “Implementasi Sensor ZMPT101B dan Sensor Arus ACS712 pada Prototip Alat Ukur Daya Listrik Berbasis Arduino Uno,” Jurnal RESISTOR, vol. 2, no. 2, pp. 81–90, Oct. 2019.

[13] N. K. S. T. Dewi, I. N. S. Kumara, and I. M. A. S. Setiawan, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler,” Jurnal SPEKTRUM, vol. 5, no. 2, pp. 82–87, 2018.

[14] W. N. Susilo, D. Aryani, P. Setiawati, and P. M. Akhirianto, “Sistem Monitoring Voltage Power Station Berbasis Mikrokontroler ESP32,” Jurnal Ilmu Komputer, vol. 8, no. 1, 2023, doi: 10.47007/komp.v8i01.6720.

[15] A. Mulani, A. Shaikh, and A. Khan, “IoT Smart Electricity Energy Meter with Load Controlling Using ESP32,” Journal of Engineering Design and Computational Science, vol. 3, no. 1, 2024.

[16] H. J. El-Khozondar et al., “A Smart Energy Monitoring System Using ESP32 Microcontroller,” e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, vol. 9, p. 100666, 2024.

[17] P. S. Macheso, “ESP32 Based Electric Energy Consumption Meter,” International Journal of Computer Communication and Informatics, vol. 4, no. 1, 2022, doi: 10.34256/ijcci2213.

[18] A. R. Tama and S. Winardi, “Monitoring Arus Listrik dan Kontrol Circuit Breaker untuk Arus Lebih Berbasis Internet of Things (IoT),” Jurnal Teknologi dan Ilmu Komputer Prima (JUTIKOMP), vol. 4, no. 1, 2021.

[19] R. Sulistyowati and D. D. Febriantoro, “Perancangan Prototype Sistem Kontrol dan Monitoring Pembatas Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler dengan HMI,” Jurnal IPTEK, vol. 16, no. 2, pp. 39–48, 2012.

[20] A. P. S. P. Kristyawan, R. Mustaricihie, and L. A. Wardoyo, “Review Artikel: Pengaplikasian Internet of Things (IoT) dalam Manufaktur Industri Farmasi di Era Industri 4.0,” vol. 20, no. 1, 2022.