

## Model Implementasi IoT Dual-Fungsi untuk Efisiensi Energi dan Penguatan Literasi Teknologi di Sekolah Menengah Kejuruan

*A Dual-Function IoT Implementation Model: Enhancing Energy Efficiency and Technology Literacy in Vocational High Schools*

Syafrudi<sup>1\*</sup>, Jessica I Tambunan<sup>2</sup>, Putu Ketri Handayani<sup>1</sup>, Futri Zalzabilah Ray<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Universitas Prasetiya Mulya, Tangerang, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Pariwisata, Universitas Prasetiya Mulya, Tangerang, Indonesia

\*Email Korespondensi: [syafrudi@prasetiyamulya.ac.id](mailto:syafrudi@prasetiyamulya.ac.id)

### Abstrak

Transformasi menuju Industri 5.0 menekankan kolaborasi manusia-teknologi. Namun, SMK Negeri 1 Kedungwuni, sebagai sekolah berbasis industri 4.0, menghadapi tantangan ganda yaitu tingginya konsumsi energi dan minimnya pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) sebagai media pembelajaran. Melalui sebuah studi kasus implementasi dalam program Pengabdian kepada Masyarakat (PkM), dikembangkan sebuah model IoT dual-fungsi untuk menjawab kedua tantangan tersebut. Sistem monitoring energi berbasis sensor PZEM-004T dan mikrokontroler Wemos D1 Pro diimplementasikan untuk memvisualisasikan data konsumsi energi (tegangan, arus, daya) secara real-time pada dashboard Node-RED. Hasilnya menunjukkan dampak ganda: secara teknis, sistem ini memungkinkan sekolah mengidentifikasi potensi pemborosan dan meningkatkan efisiensi energi. Secara pedagogis, workshop dan implementasi partisipatif berhasil meningkatkan pemahaman dan minat siswa serta guru terhadap IoT, yang dibuktikan dengan munculnya ide-ide proyek inovatif. Pelibatan aktif ini merefleksikan prinsip *human-centric* pada Industri 5.0, di mana teknologi menjadi alat pemberdayaan manusia. Didukung oleh buku panduan praktis, program ini berhasil mengintegrasikan solusi manajemen energi dengan media edukasi inovatif untuk mempersiapkan siswa menghadapi tuntutan Industri 4.0 dan 5.0.

**Kata kunci:** IoT, Efisiensi Energi, Literasi Teknologi, SMK, Industri 4.0

### Abstract

The transformation toward Industry 5.0 emphasizes human-technology collaboration. However, as an Industry 4.0-based institution, SMK Negeri 1 Kedungwuni faces a dual challenge: high energy consumption and the underutilization of the Internet of Things (IoT) as a learning tool. Through a case study within a Community Service Program (*Pengabdian kepada Masyarakat - PkM*), a dual-function IoT model was developed to address these issues. An energy monitoring system, based on PZEM-004T sensors and Wemos D1 Pro microcontrollers, was implemented to visualize real-time energy data (voltage, current, power) on a Node-RED dashboard. The results demonstrated a twofold impact: technically, the system enables the school to identify potential waste and improve energy efficiency. Pedagogically, participatory workshops and implementation successfully increased students' and teachers' understanding of and interest in IoT, as evidenced by the emergence of innovative project ideas. This active involvement reflects the human-centric principle of Industry 5.0, where technology serves as an empowerment tool. Supported by a practical guidebook, the program successfully integrated a practical energy management solution with an innovative educational tool to prepare students for the demands of Industry 4.0 and 5.0.

**Keywords:** IoT, Energy Efficiency, Technology Literacy, Vocational Education, Industry 4.0

### Pesan Utama:

- Melalui kegiatan PkM ini, SMK N 1 Kedungwuni telah berhasil membangun fondasi utama dalam implementasi sekolah berbasis Industri 4.0 yaitu teknologi *Internet of Things* di lingkungan sekolah.
- Melalui kegiatan literasi teknologi kepada guru dan siswa, mereka dapat pandangan lebih luas terkait teknologi yang tengah berkembang pesat.



Copyright (c) 2025 Authors.

Received: 17 June 2025

Accepted: 16 July 2025

DOI: <https://doi.org/10.56303/jppmi.v4i2.518>



This work is licensed under  
a Creative Commons Attribution-  
NonCommercial-ShareAlike 4.0  
International License

## GRAPHICAL ABSTRACT

### A Dual-Function IoT Implementation Model: Enhancing Energy Efficiency and Technology Literacy in Vocational High Schools

As a pioneer of Industry 4.0–based education, SMK N 1 Kedungwuni has not yet implemented the foundational IoT technologies. The school also faces significant challenges in managing its energy consumption. Deploying IoT solutions can both solve these energy-management issues and serve as a tangible demonstration of IoT in the school environment.



A Dual-  
Function  
IoT Model

=



IoT Energy  
Monitoring  
System

+



Technology  
Literacy  
Program

This initiative provided students and teachers at SMK N 1 Kedungwuni with hands-on IoT implementation experience. The project delivered technology briefings, hands-on workshops, a custom-built energy monitoring system (ESP32 & PZEM-004T), and a new IoT literacy handbook. These outcomes significantly strengthened SMK N 1 Kedungwuni's identity as a leading Industry 4.0-driven school.

<https://www.journalmpci.com/index.php/jppmi>

## PENDAHULUAN

Transformasi menuju Industri 5.0 telah membawa perubahan signifikan pada berbagai sektor, termasuk pendidikan. Jika pada era Industri 4.0 fokus utama terletak pada otomatisasi dan integrasi teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *big data*, dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence-AI*), maka Industri 5.0 menekankan kolaborasi antara manusia dan teknologi untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi, keberlanjutan, dan nilai sosial (EU, 2021). Dalam konteks Indonesia, upaya adopsi teknologi Industri 4.0 masih belum merata, terutama di sektor pendidikan menengah kejuruan. Berdasarkan laporan Kementerian Perindustrian, kesiapan adopsi teknologi di SMK masih terkendala oleh keterbatasan infrastruktur, literasi teknologi, dan implementasi teknologi pendukung (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2023). Padahal, sebagai institusi yang berorientasi pada kesiapan kerja, SMK memiliki peran strategis dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang kompeten dan relevan dengan kebutuhan industri (Indrawati et al., 2023).

SMK Negeri 1 Kedungwuni merupakan salah satu sekolah kejuruan di Kabupaten Pekalongan yang telah berkomitmen untuk menjadi sekolah berbasis Industri 4.0 (SMK N 1 Kedungwuni, 2023). Program ini menitikberatkan pada penerapan teknologi digital, seperti IoT, ke dalam sistem pembelajaran dan manajemen sekolah. Namun, implementasi teknologi ini masih menemui tantangan. Berdasarkan hasil observasi dan diskusi

dengan tenaga pendidik di SMK Negeri 1 Kedungwuni, ditemukan dua permasalahan utama. Pertama, belum adanya penerapan teknologi IoT sebagai contoh nyata pembelajaran atau solusi manajemen sekolah. Kedua, sekolah menghadapi tantangan dalam pengelolaan energi listrik yang signifikan. Sebagai institusi dengan tujuh jurusan dan berbagai fasilitas operasional, konsumsi energi listrik di SMK Negeri 1 Kedungwuni cukup besar. Sistem pemantauan konsumsi energi yang masih dilakukan secara manual menyulitkan pihak sekolah dalam mendeteksi pemborosan energi dan mengoptimalkan penggunaannya.

Studi mengenai implementasi IoT untuk efisiensi energi telah banyak dilakukan, terutama di gedung komersial dan universitas (Poyyamozi et al., 2024). Akan tetapi, penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan solusi teknis ini dengan program literasi teknologi yang terstruktur di tingkat Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di Indonesia masih sangat terbatas. Oleh karena itu, kebaruan dari kegiatan ini terletak pada model implementasi dual-fungsi yang diusungnya: teknologi IoT tidak hanya berfungsi sebagai alat manajemen energi, tetapi juga sebagai 'laboratorium hidup' (*living lab*) untuk pembelajaran berbasis proyek yang otentik dan relevan dengan kurikulum vokasi.

Dalam menyikapi permasalahan tersebut, teknologi IoT menawarkan solusi yang inovatif dan efektif. Teknologi ini memungkinkan pemantauan konsumsi energi secara real-time dengan menggunakan sensor dan sistem digital yang terhubung dalam jaringan internet (Bagdadee et al., 2020). Data yang diperoleh dapat digunakan untuk menganalisis pola konsumsi energi, mengidentifikasi pemborosan, dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat terkait pengelolaan energi (Balasubramani et al., 2024). Dengan implementasi IoT, tantangan pengelolaan energi dapat diatasi sekaligus memberikan pengalaman praktis kepada siswa tentang penerapan teknologi dalam skala nyata.

Melalui program Pengabdian kepada Masyarakat (PkM), Universitas Prasetya Mulya sebagai institusi dengan keunggulan di bidang teknologi IoT merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring energi berbasis IoT di SMK Negeri 1 Kedungwuni. Sistem ini bertujuan untuk membantu sekolah dalam mengelola konsumsi energi secara lebih efisien dan optimal. Selain itu, kegiatan ini juga mencakup literasi teknologi kepada siswa dan guru untuk memperkenalkan konsep dasar IoT dan bagaimana teknologi tersebut dapat diterapkan dalam kehidupan nyata.

Teknologi IoT telah berkembang pesat dan banyak diterapkan untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energi di berbagai sektor, termasuk pendidikan. IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time dari perangkat energi, seperti lampu dan pendingin ruangan, yang dapat dianalisis untuk mengidentifikasi pola penggunaan serta area pemborosan energi, menjadikannya solusi praktis untuk mengelola konsumsi energi secara lebih efisien. Selain itu, teknologi ini juga berfungsi sebagai media edukasi yang inovatif, tidak hanya mengoptimalkan penggunaan energi tetapi juga meningkatkan literasi teknologi siswa, membekali mereka dengan keterampilan praktis yang relevan dengan kebutuhan industri 4.0 (Chin et al., 2019).

Di SMK Negeri 1 Kedungwuni, penerapan IoT diharapkan tidak hanya membantu mengelola konsumsi energi secara efisien, tetapi juga menjadi sarana pembelajaran langsung bagi siswa dan guru untuk memahami konsep dasar IoT dan dampaknya dalam kehidupan nyata. Implementasi IoT di sekolah kejuruan memberikan pengalaman praktis bagi siswa, mengembangkan keterampilan teknis yang dibutuhkan di dunia kerja (Crisanty & Pasaribu, 2022). Selain itu, pelibatan guru dan siswa dalam pengelolaan teknologi ini menciptakan sistem yang adaptif dan mandiri. Dalam jangka pendek, IoT dapat mengurangi pemborosan energi dan biaya operasional, sementara dalam jangka panjang, IoT mendukung keberlanjutan dan membantu membangun ekosistem pendidikan yang siap menghadapi tantangan global (Latifah & Susanti, 2023). Dengan demikian, integrasi IoT di institusi pendidikan bukan hanya sebuah investasi teknologi, tetapi juga solusi strategis untuk masa depan.

Program ini dirancang tidak hanya dengan sekadar menerapkan teknologi, tetapi dengan menjadikannya sebagai manifestasi nyata dari prinsip *human-centric* Industri 5.0. Hal ini diwujudkan melalui metodologi

partisipatif, di mana siswa dan guru dilibatkan secara aktif dalam proses instalasi perangkat keras dan lokakarya pemanfaatan sistem. Implementasi ini diharapkan dapat memberikan dua dampak utama. Pertama, sebagai solusi praktis untuk menyelesaikan masalah pengelolaan energi listrik di SMK Negeri 1 Kedungwuni. Kedua, sebagai media pembelajaran inovatif yang mendukung peningkatan literasi teknologi dan kesiapan siswa dalam menghadapi perkembangan Industri 4.0. Dengan demikian, program ini tidak hanya membantu sekolah dalam aspek manajemen energi, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kualitas pendidikan kejuruan berbasis teknologi.

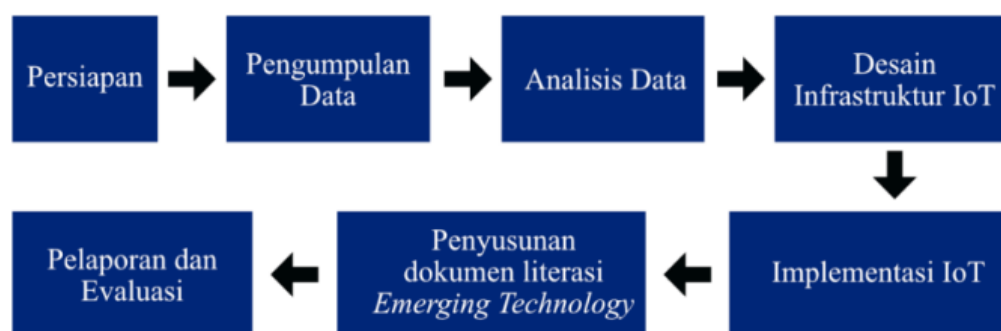
## METODE

Sistem monitoring energi berbasis IoT yang diimplementasikan di SMK Negeri 1 Kedungwuni dirancang menggunakan kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang untuk memberikan solusi efisiensi energi yang komprehensif. Bahan yang digunakan terdiri dari perangkat utama, perangkat pendukung, serta perangkat lunak yang berfungsi untuk mengintegrasikan data dari sensor daya hingga visualisasi dalam platform digital.

Perangkat keras utama yang digunakan dalam sistem ini meliputi Wemos D1 Pro sebagai mikrokontroler, sensor daya PZEM-004T, dan Raspberry Pi 4B sebagai server lokal. Wemos D1 Pro digunakan untuk membaca data konsumsi energi dari sensor daya dan mengirimkannya ke server menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Sensor PZEM-004T berfungsi untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya secara *real-time*, sehingga mampu memberikan data akurat mengenai konsumsi energi di titik-titik distribusi utama sekolah. Raspberry Pi 4B digunakan sebagai server lokal untuk menyimpan data dari sensor dan menjalankan *dashboard* berbasis web yang menampilkan informasi konsumsi energi. Perangkat tambahan seperti adaptor, kabel instalasi, dan konektor digunakan untuk memastikan konektivitas antarperangkat, sementara *box casing* digunakan untuk melindungi perangkat dari kerusakan fisik selama pengoperasian.

Pada sisi perangkat lunak, pengembangan sistem melibatkan beberapa alat utama untuk memastikan integrasi yang optimal antara perangkat keras dan visualisasi data. Arduino IDE digunakan untuk memprogram mikrokontroler Wemos D1 Pro, yang memungkinkan pengiriman data dari sensor daya ke server. Untuk pengelolaan alur data, digunakan Node-RED, platform berbasis visual yang mengatur pengiriman data sensor ke server serta pengembangan antarmuka *dashboard*. *Dashboard* ini dirancang agar ramah pengguna, memberikan visualisasi data dalam bentuk grafik konsumsi energi yang dapat diakses oleh pihak sekolah melalui *browser* web. Sebagai tambahan, database SQLite digunakan untuk menyimpan data konsumsi energi secara terstruktur dan terintegrasi dengan *dashboard*. Dalam pengembangan fitur tambahan, API dari OpenWeatherMap digunakan untuk menampilkan data cuaca langsung pada *dashboard*, memberikan konteks tambahan yang relevan bagi pengguna.

Pelaksanaan kegiatan ini mengikuti alur tahapan sistematis yang ditunjukkan pada Gambar 1, mulai dari persiapan hingga evaluasi, dengan langkah-langkah yang terstruktur untuk memastikan keberhasilan implementasi sistem monitoring energi berbasis IoT.

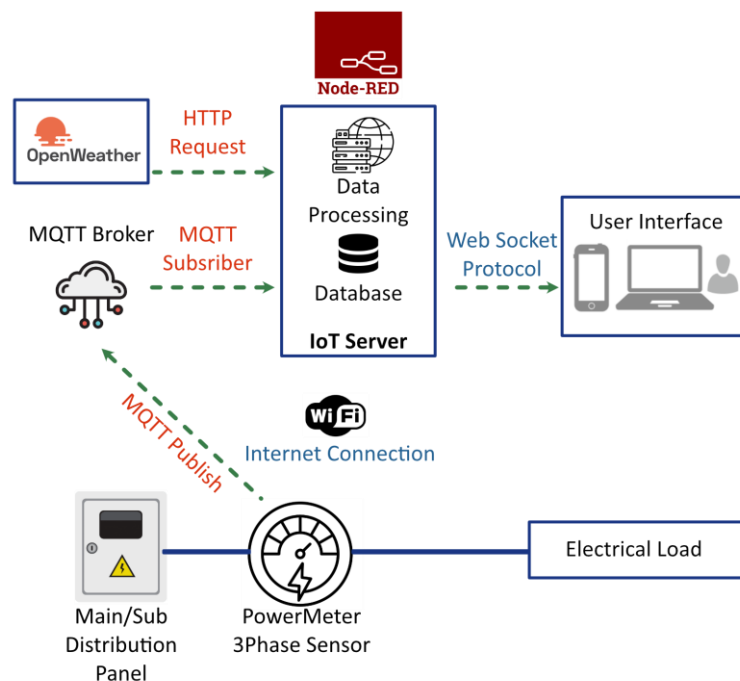


Gambar 1. Metode Pelaksanaan Kegiatan

Pelaksanaan kegiatan dimulai dengan tahap persiapan, yang mencakup survei lokasi untuk mengidentifikasi titik-titik distribusi energi, seperti *Main Distribution Panel* (MDP) dan *Sub Distribution Panel*

(SDP). Survei ini dilakukan untuk menentukan lokasi strategis pemasangan sensor daya serta memastikan kesiapan jaringan internet sebagai *backbone* pengiriman data. Hasil dari survei dan diskusi dengan pihak sekolah menghasilkan penentuan lima titik pengambilan data, dengan fokus pada area konsumsi energi terbesar dan kebutuhan operasional sekolah. Selain itu, diskusi ini juga mengidentifikasi fitur tambahan yang diinginkan pada sistem, seperti pemantauan kondisi cuaca sebagai nilai tambah pada *dashboard monitoring*.

Setelah tahap persiapan, dilakukan desain infrastruktur IoT untuk memastikan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak berjalan dengan baik. Arsitektur sistem ini dapat dilihat pada Gambar 2, di mana sensor daya PZEM-004T mengirimkan data konsumsi energi melalui Wemos D1 Pro ke server lokal Raspberry Pi 4B menggunakan protokol MQTT. Data yang diterima kemudian disimpan dalam database SQLite dan divisualisasikan melalui Node-RED dalam bentuk grafik konsumsi energi harian, mingguan, dan bulanan. Selain itu, integrasi dengan OpenWeatherMap API ditambahkan untuk menampilkan informasi cuaca secara real-time, seperti suhu, kelembapan, dan kondisi cuaca.



Gambar 2. Arsitektur IoT yang diimplementasikan

Tahap berikutnya adalah implementasi sistem IoT, yang melibatkan pemasangan perangkat keras pada lima titik distribusi energi. Sensor daya dipasang dengan konfigurasi yang aman dan rapi. Tim PkM juga melibatkan siswa dalam proses implementasi ini untuk memberikan pengalaman praktis langsung mengenai teknologi IoT sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Instalasi melibatkan konfigurasi mikrokontroler Wemos D1 Pro untuk membaca parameter listrik serta memastikan konektivitas data dari sensor ke server.



Gambar 3. Tim PkM Melibatkan Siswa dalam Implementasi IoT

Selain implementasi teknologi, kegiatan ini juga mencakup penyusunan dokumen literasi *Emerging Technology*. Tim PkM menyusun buku panduan berjudul “Menguak Dunia IoT: Panduan Praktis bagi Siswa SMK”, yang berisi materi pengenalan dasar tentang teknologi IoT, prinsip kerja sistem, dan contoh penerapannya dalam kehidupan sehari-hari (Gambar 4). Literasi teknologi ini disosialisasikan melalui workshop yang melibatkan siswa dan guru. Workshop ini dirancang untuk memberikan pemahaman praktis tentang sistem monitoring energi yang telah diimplementasikan, termasuk pengenalan perangkat keras, penggunaan *dashboard monitoring*, serta manfaat IoT dalam pengelolaan energi.



Gambar 4. Tim PkM Menyerahkan Buku Panduan sebagai Simbol Penyerahan Sistem

Tahap terakhir adalah pelaporan dan evaluasi. Untuk mengukur dampak program secara komprehensif, evaluasi dilakukan dengan pendekatan metode campuran (*mixed-method*) yang menargetkan guru dan siswa dengan instrumen yang berbeda. Umpan balik kualitatif dari guru dikumpulkan melalui diskusi terfokus (*focused discussion*) yang dilakukan secara langsung selama dan sesudah sesi sosialisasi dan workshop (Gambar 5). Diskusi ini bertujuan untuk menggali persepsi mendalam mengenai: (a) efektivitas sistem monitoring energi yang diimplementasikan; (b) relevansi materi workshop dengan kebutuhan pembelajaran di SMK; dan (c) observasi terhadap antusiasme serta perubahan pemahaman siswa.



Gambar 5. Sosialisasi Implementasi IoT kepada Guru-Guru SMK Negeri 1 Kedungwuni

Untuk mengukur peningkatan pemahaman konseptual siswa, digunakan pendekatan kuantitatif dengan desain *pre-test* dan *post-test*. Instrumen yang digunakan adalah tes pilihan ganda yang identik, terdiri dari 10 soal yang menguji pemahaman dasar tentang definisi, fungsi, aplikasi, dan manfaat IoT. Tes diberikan secara langsung sebelum (*pre-test*) dan sesudah (*post-test*) pelaksanaan workshop. Jumlah peserta yang mengisi *pre-test* adalah 41 siswa, dan *post-test* diisi oleh 38 siswa. Data yang terkumpul dianalisis secara deskriptif dengan menghitung persentase akurasi jawaban untuk setiap pertanyaan guna membandingkan tingkat pemahaman sebelum dan sesudah intervensi.

Setelah workshop, siswa menjawab dua pertanyaan terbuka yang dirancang untuk menggali dampak kegiatan terhadap persepsi dan minat mereka. Jawaban kualitatif ini kemudian dianalisis menggunakan pendekatan analisis tematik untuk mengidentifikasi tema-tema umum terkait (a) rencana tindak lanjut dan ide proyek, serta (b) aspek paling menarik dari teknologi IoT. Analisis ini memberikan wawasan mendalam tentang tingkat inspirasi dan relevansi personal materi bagi siswa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Implementasi Sistem Monitoring Energi Berbasis IoT

Hasil implementasi sistem monitoring energi berbasis IoT di SMK Negeri 1 Kedungwuni menunjukkan bahwa sistem ini berhasil dioperasikan dan mampu memberikan data *real-time* terkait konsumsi energi listrik. Sensor daya PZEM-004T yang dipasang pada lima titik strategis berhasil mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi. Data yang dikumpulkan dikirimkan melalui mikrokontroler Wemos D1 Pro menggunakan protokol MQTT ke server lokal Raspberry Pi 4B, di mana data ini divisualisasikan pada dashboard berbasis Node-RED dan diakses melalui jaringan lokal sekolah.

Gambar 6 memperlihatkan hasil dari implementasi sistem ini. Pada sisi kiri atas, ditampilkan perangkat keras yang terdiri dari sensor daya PZEM-004T, mikrokontroler Wemos D1 Pro, dan komponen pendukung lainnya, yang dirangkai secara sistematis untuk memastikan pengambilan data yang akurat dan konsisten. Perakitan perangkat keras dilakukan dengan teliti untuk memastikan koneksi antar-komponen berjalan optimal.



Gambar 6. Penerapan Sistem IoT

Sementara itu, pada sisi lainnya, terlihat pemasangan sensor daya di lima titik distribusi energi di sekolah. Sensor ini dipasang dengan penataan yang aman dan rapi untuk memantau aliran listrik secara langsung. Implementasi ini membuktikan bahwa perangkat keras dan sistem yang dikembangkan dapat bekerja dengan stabil dalam lingkungan sekolah. Dengan pemantauan energi yang terintegrasi melalui sensor dan server, pihak sekolah kini memiliki alat yang efektif untuk memantau performa konsumsi energi dan mendeteksi potensi pemborosan listrik secara real-time. Selain itu, sistem ini juga memberikan nilai edukatif dengan memperkenalkan siswa kepada teknologi berbasis IoT yang relevan dengan kebutuhan Industri 4.0.

Dashboard Pusat Monitoring Energi SMK Negeri 1 Kedungwuni yang ditampilkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 dirancang untuk memantau performa konsumsi energi listrik di lingkungan sekolah secara real-time. Dashboard ini menggabungkan berbagai fitur visualisasi data yang informatif dan interaktif untuk membantu pihak sekolah memahami pola konsumsi energi dan mengidentifikasi area yang memerlukan optimalisasi.

Informasi utama yang disajikan pada dashboard mencakup data konsumsi energi listrik dalam bentuk angka numerik yang diperbarui secara berkala. Nilai tegangan, arus, daya, dan energi yang diukur oleh sensor PZEM-004T dari lima titik distribusi utama ditampilkan dalam format yang sederhana namun jelas. Hal ini memudahkan pihak sekolah untuk memantau penggunaan energi setiap harinya serta mengevaluasi tren konsumsi dari waktu ke waktu.

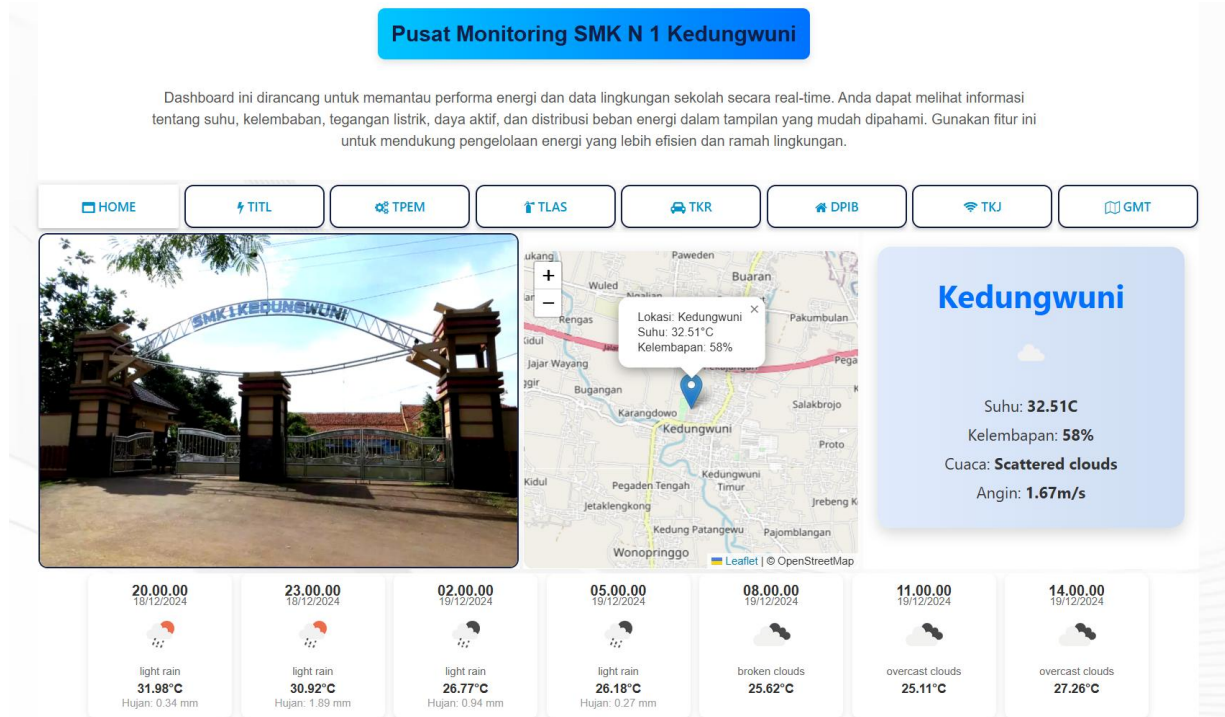
Selain itu, dashboard ini juga menyertakan peta interaktif yang menunjukkan lokasi SMK Negeri 1 Kedungwuni serta titik-titik distribusi energi yang dipantau oleh sistem. Informasi ini memungkinkan pengguna untuk memahami letak fisik dari sumber data yang ditampilkan dan membantu identifikasi area yang berpotensi mengalami pemborosan energi.

Fitur tambahan berupa informasi cuaca real-time yang terintegrasi melalui OpenWeatherMap API turut melengkapi dashboard ini. Data seperti suhu udara, kelembapan, kondisi cuaca, dan kecepatan angin disajikan untuk memberikan konteks tambahan bagi pengguna, mengingat pola konsumsi energi di sekolah dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti penggunaan pendingin ruangan atau kipas angin pada saat suhu udara tinggi.

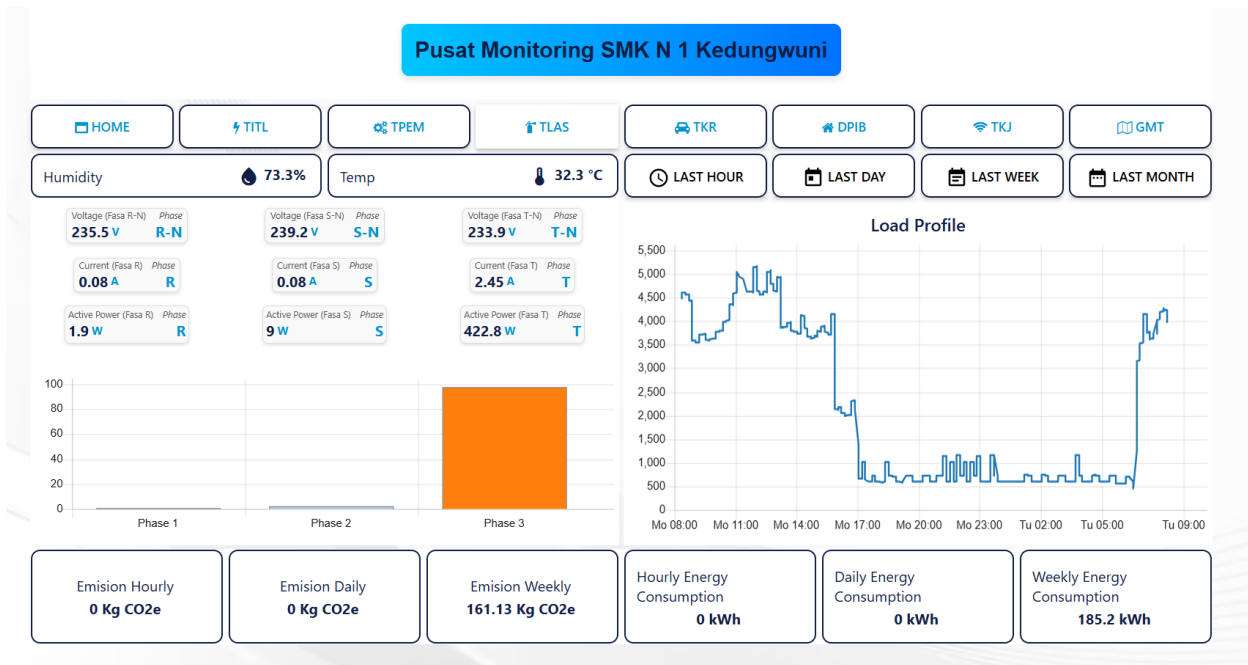
Secara keseluruhan, dashboard ini tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan energi tetapi juga sebagai media edukasi bagi siswa dan guru. Melalui visualisasi yang mudah dipahami, pihak sekolah dapat mengidentifikasi potensi pemborosan energi dan mengambil keputusan berbasis data untuk meningkatkan efisiensi penggunaan listrik. Di sisi lain, implementasi dashboard ini memberikan pengalaman praktis bagi siswa dalam memahami teknologi IoT dan pemanfaatannya dalam kehidupan nyata, sejalan dengan konsep Sekolah

Berbasis Industri 4.0.

Dengan adanya sistem ini, SMK Negeri 1 Kedungwuni kini memiliki alat yang efektif untuk memonitor konsumsi energi, mengurangi biaya operasional, serta mendukung program literasi teknologi yang relevan dengan kebutuhan masa depan.



Gambar 7. Dashboard Monitoring Energi Berbasis IoT di SMK Negeri 1 Kedungwuni (menu Home)



Gambar 8. Dashboard Monitoring Energi Berbasis IoT di SMK Negeri 1 Kedungwuni (menu TLAS)

### Analisis Efisiensi Energi dan Keamanan

Berdasarkan data konsumsi energi yang ditampilkan melalui dashboard monitoring energi pada Gambar 8, pihak sekolah dapat memantau parameter penting seperti tegangan (V), arus (A), daya aktif, energi, suhu dan

kelembapan dalam panel distribusi. Jika terjadi anomali pada salah satu parameter ini, sistem dapat dijadikan peringatan yang memungkinkan pihak sekolah untuk segera melakukan langkah antisipatif. Selain itu, dashboard ini juga menampilkan informasi mengenai keseimbangan beban pada masing-masing fasa. Keseimbangan beban ini menjadi aspek krusial dalam sistem distribusi listrik tiga fasa, karena distribusi beban yang tidak seimbang dapat menyebabkan overloading pada salah satu fasa, peningkatan suhu pada panel, hingga kerusakan peralatan listrik yang berujung pada pemadaman sebagian atau keseluruhan sistem. Dengan adanya informasi ini, pihak sekolah dapat mengidentifikasi ketidakseimbangan fasa secara dini dan melakukan perbaikan untuk menjaga keamanan operasional sistem listrik.

Analisis tren konsumsi energi harian menunjukkan bahwa penggunaan listrik mencapai puncaknya pada jam operasional sekolah, yaitu pukul 08.00 hingga 15.00. Namun, terdapat peningkatan konsumsi energi pada sore dan malam hari yang sebelumnya tidak teridentifikasi. Temuan ini membantu pihak sekolah dalam merencanakan langkah mitigasi, seperti memperketat kontrol penggunaan listrik di luar jam operasional. Selain secara harian, tren konsumsi energi juga dapat dilihat secara mingguan ataupun bulanan.

### Peningkatan Literasi Teknologi Siswa dan Guru

Selain implementasi sistem, kegiatan literasi teknologi yang dilaksanakan turut memberikan dampak positif yang signifikan bagi siswa dan guru. Dampak ini diukur melalui pendekatan metode campuran yang telah dijelaskan sebelumnya.

#### 1. Dampak pada Siswa: Peningkatan Pemahaman dan Inspirasi Inovatif

Selain implementasi sistem, kegiatan literasi teknologi yang dilaksanakan turut memberikan dampak positif yang signifikan. Untuk mengukur peningkatan pemahaman siswa, dilakukan pre-test dan post-test dengan soal pilihan ganda yang identik. Pre-test diikuti oleh 41 siswa, sedangkan post-test diikuti oleh 38 siswa.

Hasil analisis kuantitatif, seperti yang disajikan pada Tabel 1, menunjukkan peningkatan pemahaman siswa secara keseluruhan. Akurasi jawaban rata-rata meningkat sebesar 3%, dari 93% pada pre-test menjadi 96% pada post-test. Hasil pre-test yang sudah tinggi (93%) mengindikasikan bahwa siswa telah memiliki pemahaman dasar yang baik mengenai IoT sebelum workshop. Dengan demikian, kegiatan workshop berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*) dan pengklarifikasi konsep-konsep yang ada. Peningkatan akurasi yang signifikan terlihat pada pemahaman tentang kemampuan perangkat pintar (naik 10%) dan ruang lingkup aplikasi IoT (naik 10%).

Table 1. Perbandingan Tingkat Akurasi Jawaban Siswa pada *Pre-Test* dan *Post-Test*

| No | Dimensi Pertanyaan               | Akurasi Pre-Test<br>(N=41) | Akurasi Post-Test<br>(N=38) | Perubahan  |
|----|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------|
| 1  | Definisi/Akronim IoT             | 90%                        | 97%                         | +7%        |
| 2  | Fungsi Utama IoT                 | 95%                        | 100%                        | +5%        |
| 3  | Contoh Aplikasi (Rumah)          | 95%                        | 100%                        | +5%        |
| 4  | Tujuan Utama Teknologi IoT       | 95%                        | 100%                        | +5%        |
| 5  | Fungsi Wi-Fi dalam Ekosistem IoT | 98%                        | 87%                         | -11%       |
| 6  | Kemampuan Perangkat Pintar       | 90%                        | 100%                        | +10%       |
| 7  | Definisi "Cloud"                 | 85%                        | 89%                         | +4%        |
| 8  | Ruang Lingkup Aplikasi IoT       | 90%                        | 100%                        | +10%       |
| 9  | Manfaat Teknologi IoT            | 95%                        | 92%                         | -3%        |
| 10 | Metode Pengendalian Perangkat    | 95%                        | 97%                         | +2%        |
|    | <b>Akurasi Rata-rata</b>         | <b>93%</b>                 | <b>96%</b>                  | <b>+3%</b> |

Namun, temuan menarik yang memerlukan analisis lebih dalam adalah adanya penurunan akurasi pada dua pertanyaan. Pertama, pemahaman tentang "Fungsi Wi-Fi dalam Ekosistem IoT" (pertanyaan 5) turun secara signifikan sebesar 11% (dari 98% menjadi 87%). Penurunan ini kemungkinan terjadi karena fenomena *overthinking*; setelah diperkenalkan pada konsep yang lebih kompleks seperti protokol MQTT, server, dan cloud selama workshop, beberapa siswa mungkin menjadi ragu terhadap jawaban sederhana bahwa fungsi utama Wi-Fi adalah menghubungkan perangkat ke internet. Temuan ini menjadi masukan berharga bahwa konsep-konsep fundamental perlu diperkuat kembali di akhir sesi untuk menghindari kebingungan.

Kedua, terjadi penurunan kecil pada pemahaman tentang "Manfaat Teknologi IoT" (pertanyaan 9) sebesar

3% (dari 95% menjadi 92%). Penurunan ini mungkin bersifat marginal dan dapat dipengaruhi oleh sedikit perbedaan jumlah peserta. Namun, ini juga bisa mengindikasikan bahwa fokus workshop yang lebih teknis pada "bagaimana IoT bekerja" mungkin secara tidak langsung sedikit mengaburkan pemahaman tentang "mengapa IoT bermanfaat" bagi sebagian kecil siswa.

Untuk melengkapi data kuantitatif, dilakukan pula analisis kualitatif terhadap jawaban survei terbuka yang diisi oleh siswa setelah kegiatan. Analisis ini bertujuan untuk menggali dampak workshop terhadap minat, inspirasi, dan persepsi siswa secara lebih mendalam. Dari pertanyaan pertama mengenai "langkah selanjutnya setelah belajar IoT", analisis tematik menunjukkan antusiasme yang tinggi untuk aplikasi praktis. Sebagian besar jawaban siswa (sekitar 70%) mengarah pada keinginan untuk menciptakan proyek nyata (*project creation*). Ide-ide yang muncul sangat beragam, mulai dari "membuat produk smart home", "membangun sistem sensor suhu", hingga ide spesifik seperti "membuat sebuah produk tabungan pintar yang menggunakan sistem IoT dengan sensor warna dan mikrokontroler". Jawaban ini mengindikasikan bahwa workshop tidak hanya mentransfer pengetahuan, tetapi juga berhasil memantik imajinasi dan semangat inovasi siswa. Tema lain yang muncul adalah keinginan untuk "mempelajari lebih lanjut" dan "mengembangkan IoT untuk dampak sosial yang lebih luas", seperti untuk kemajuan di seluruh Indonesia.

Selanjutnya, pada pertanyaan kedua mengenai "poin paling menarik dari IoT", ditemukan tiga tema utama yang dominan. Tema pertama adalah "Otomatisasi dan Kemudahan", di mana siswa tertarik dengan bagaimana IoT membuat "semuanya menjadi serba otomatis dan simpel". Tema kedua yang sangat menonjol adalah "Kontrol Jarak Jauh", dengan banyak siswa menyatakan kekagumannya bahwa perangkat dapat "dikendalikan dari jarak jauh melalui ponsel". Tema ketiga adalah "Potensi Inovasi", di mana siswa melihat IoT sebagai sarana untuk "membuat ide tentang produk yang berbasis mikrokontroler" dan memahami "perkembangan teknologi yang ada pada zaman sekarang".

Secara keseluruhan, meskipun terdapat anomali yang memberikan wawasan pedagogis, data menunjukkan bahwa kegiatan literasi teknologi berhasil memperkuat pemahaman konseptual siswa mengenai IoT. Hasil kualitatif juga memperkuat temuan kuantitatif dan menunjukkan bahwa kegiatan literasi teknologi berhasil mencapai tujuannya. Program ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual siswa, tetapi juga berhasil mengubah persepsi mereka tentang teknologi—dari konsep abstrak menjadi alat praktis yang relevan, menarik, dan dapat mereka kuasai untuk menciptakan inovasi.

## **2. Dampak pada Guru: Penguatan Kapasitas Mengajar dan Relevansi Kurikulum**

Umpan balik dari guru, yang dikumpulkan melalui diskusi terfokus selama dan sesudah kegiatan, memberikan wawasan penting dari perspektif pendidik. Para guru memberikan tanggapan yang sangat positif, terutama pada tiga aspek utama:

### **1. Peningkatan Relevansi Materi Ajar**

Guru menyatakan bahwa demonstrasi langsung sistem monitoring energi dan workshop IoT memberikan konteks nyata yang sangat dibutuhkan untuk mata pelajaran seperti Pemrograman Dasar, Mikrokontroler, dan Jaringan Komputer. Seorang guru menyatakan, "Dengan adanya contoh konkret ini, kami tidak lagi hanya mengajar teori. Siswa bisa melihat langsung bagaimana IoT bekerja di lingkungan sekolah mereka sendiri, ini membuat materi jadi lebih hidup dan relevan dengan industri."

### **2. Sumber Inspirasi untuk Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL)**

Kegiatan ini menjadi pemicu bagi guru untuk merancang PjBL yang lebih inovatif. Mereka melihat sistem yang terpasang sebagai platform yang dapat dimanfaatkan untuk tugas-tugas proyek siswa, misalnya menganalisis data konsumsi energi atau mengembangkan modul sensor tambahan. Hal ini sejalan dengan temuan dari antusiasme siswa untuk membuat proyek, di mana guru kini memiliki platform dan inspirasi untuk memfasilitasinya.

### **3. Penguatan Kapasitas dan Kepercayaan Diri Guru**

Workshop dan diskusi tidak hanya bermanfaat bagi siswa. Para guru juga merasa mendapatkan pembaruan pengetahuan (*knowledge update*) mengenai tren teknologi terkini. Ini meningkatkan kepercayaan diri mereka dalam mengajar materi terkait Industri 4.0 dan membimbing proyek-proyek siswa yang lebih kompleks.

## **3. Implikasi dan Keberlanjutan Program Literasi**

Secara keseluruhan, data dari siswa dan guru menunjukkan bahwa kegiatan literasi teknologi berhasil

mencapai tujuannya. Program ini secara sinergis meningkatkan pemahaman konseptual siswa, memantik semangat inovasi mereka, sekaligus memperkuat kapasitas mengajar para guru.

Kegiatan ini juga membuka peluang bagi sekolah untuk menginisiasi proyek kolaboratif atau kompetisi berbasis IoT. Dengan mengembangkan ide-ide siswa melalui proyek nyata, pengetahuan yang diperoleh dapat terus diaplikasikan dan dikembangkan. Selain itu, kolaborasi antarsiswa dalam proyek-proyek ini akan mendorong pengembangan keterampilan kerja tim, berpikir kritis, dan pemecahan masalah yang relevan dengan tantangan Industri 4.0.

Untuk mendukung kegiatan literasi ini, tim PkM juga menyusun buku panduan berjudul "Menguak Dunia IoT: Panduan Praktis bagi Siswa SMK". Buku ini disusun menggunakan bahasa yang sederhana, dilengkapi dengan ilustrasi visual dan contoh penerapan praktis untuk memudahkan siswa dalam memahami konsep dasar teknologi IoT. Materi dalam buku ini dirancang agar sesuai dengan tingkat pemahaman siswa SMK, sehingga dapat dijadikan sebagai referensi tambahan dalam pembelajaran berbasis teknologi.

Pihak sekolah memberikan tanggapan positif terhadap buku panduan ini dan menyatakan bahwa materi tersebut akan digunakan sebagai sumber belajar tambahan untuk mendukung kurikulum berbasis teknologi di masa mendatang. Dengan demikian, buku panduan ini tidak hanya memperkuat pemahaman siswa yang mengikuti workshop, tetapi juga berpotensi menjadi bahan ajar berkelanjutan untuk generasi siswa berikutnya.

Secara keseluruhan, kegiatan literasi teknologi ini berhasil meningkatkan pemahaman dan antusiasme siswa serta guru terhadap teknologi IoT. Dampak positif ini mencakup peningkatan kemampuan dalam pemikiran inovatif, penerapan teknologi dalam proyek nyata, serta pemahaman praktis tentang manfaat IoT untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas hidup. Hal ini menunjukkan bahwa literasi teknologi tidak hanya berfungsi sebagai upaya edukatif, tetapi juga sebagai modal awal dalam membekali siswa dengan keterampilan yang relevan di era transformasi digital.

## KESIMPULAN

Implementasi sistem monitoring energi berbasis IoT di SMK Negeri 1 Kedungwuni berhasil memberikan dua dampak utama, yaitu efisiensi pengelolaan energi dan peningkatan literasi teknologi di kalangan siswa dan guru.

Dari aspek efisiensi energi, sistem monitoring berhasil mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi secara real-time melalui sensor daya PZEM-004T dan mikrokontroler Wemos D1 Pro yang terhubung dengan server Raspberry Pi. Data yang divisualisasikan melalui dashboard berbasis Node-RED memungkinkan pihak sekolah untuk memantau konsumsi energi dan mengidentifikasi potensi pemborosan listrik, terutama pada sore dan malam hari. Analisis ini membantu sekolah dalam menerapkan langkah-langkah mitigasi, seperti memperketat kontrol penggunaan listrik di luar jam operasional, sehingga mendukung pengurangan konsumsi energi dan biaya operasional.

Dari aspek literasi teknologi, workshop dan kegiatan sosialisasi yang dilakukan telah meningkatkan pemahaman siswa dan guru mengenai konsep dasar IoT dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Siswa menunjukkan antusiasme tinggi dalam mengembangkan ide-ide proyek berbasis IoT, seperti smart home, tabungan pintar berbasis sensor, dan perangkat otomatisasi lainnya. Poin-poin menarik seperti kontrol jarak jauh, otomatisasi, dan efisiensi energi mencerminkan keberhasilan kegiatan ini dalam mendorong pemikiran inovatif dan pemecahan masalah berbasis teknologi.

Penyusunan buku panduan "Menguak Dunia IoT: Panduan Praktis bagi Siswa SMK" juga turut berperan dalam memperkuat pemahaman literasi teknologi. Buku ini diakui oleh pihak sekolah sebagai referensi pembelajaran tambahan yang mendukung kurikulum berbasis teknologi dan menjadi materi berkelanjutan untuk generasi siswa berikutnya.

Secara keseluruhan, kegiatan ini menunjukkan bahwa implementasi IoT di lingkungan sekolah lebih dari sekadar solusi teknis untuk manajemen energi. Ia berfungsi sebagai platform pedagogis yang inovatif, membekali siswa dengan keterampilan praktis dan pola pikir pemecahan masalah yang relevan dengan tuntutan Industri 4.0.

Model PkM yang mengintegrasikan solusi teknis-operasional dengan intervensi pedagogis-partisipatif ini terbukti efektif dan berpotensi untuk direplikasi di sekolah kejuruan lainnya. Dengan mengadopsi model serupa, institusi pendidikan lain dapat mempercepat adopsi teknologi, mengubah tantangan operasional menjadi peluang pembelajaran, dan pada akhirnya mempersiapkan sumber daya manusia yang kompeten dan adaptif di era transformasi digital.

## PENDANAAN

Pengabdian kepada masyarakat ini didanai oleh LPPM Universitas Prasetiya Mulya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Prasetiya Mulya atas dukungan pendanaan dalam pelaksanaan kegiatan ini. Kami juga berterima kasih kepada kepala sekolah, guru, dan siswa SMK Negeri 1 Kedungwuni atas kerja sama dan partisipasinya dalam kegiatan implementasi sistem IoT dan workshop literasi teknologi ini.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bagdadee, A. H., Zhang, L., & Saddam Hossain Remus, Md. (2020). A Brief Review of the IoT-Based Energy Management System in the Smart Industry (pp. 443–459). [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0199-9\\_38](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0199-9_38)
- Balasubramani, M., Gohin, B., Jayashankari, J., Samuthira Pandi, V., Ravi, K. C., & Arumugam, D. (2024). Design and Development of an IoT based Intelligent Energy Meter using Less Expensive Controller Unit. 2024 International Conference on Intelligent Systems for Cybersecurity (ISCS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISCS61804.2024.10581094>
- Chin, J., Callaghan, V., & Allouch, S. Ben. (2019). The Internet-of-Things: Reflections on the past, present and future from a user-centered and smart environment perspective. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 11(1), 45–69. <https://doi.org/10.3233/AIS-180506>
- Crisanty, T. M., & Pasaribu, E. (2022). Determinan Pengangguran Lulusan SMK Provinsi Sulawesi Utara Sebelum dan Saat Pandemi Covid-19. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2022(1), 769–778. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2022i1.1155>
- EU. (2021, January 7). Industry 5.0: Towards more sustainable, resilient and human-centric industry. [https://Research-and-Innovation.Ec.Europa.Eu/News/All-Research-and-Innovation-News/Industry-50-towards-More-Sustainable-Resilient-and-Human-Centric-Industry-2021-01-07\\_en](https://Research-and-Innovation.Ec.Europa.Eu/News/All-Research-and-Innovation-News/Industry-50-towards-More-Sustainable-Resilient-and-Human-Centric-Industry-2021-01-07_en)
- Indrawati, C. D. S., Subarno, A., Winarno, W., Permansah, S., Wirawan, A. W., & Rusmana, D. (2023). Influence of Work Motivation, Interpersonal Skills, and Knowledge Construction on the Work Readiness of Vocational Students. *Education Research International*, 2023, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2023/4956337>
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2023). Peta Jalan Industri 4.0 di Indonesia.
- Latifah, L., & Susanti, R. H. (2023). Meningkatkan Kemampuan Daya Saing Siswa SMK melalui Program Pengembangan Karir. *Jurnal Abdimas Berdaya: Jurnal Pembelajaran, Pemberdayaan Dan Pengabdian Masyarakat*, 6(1), 30–37.
- Poyyamozhi, M., Murugesan, B., Rajamanickam, N., Shorfuzzaman, M., & Aboelmagd, Y. (2024). IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope. *Buildings*, 14(11), 3446. <https://doi.org/10.3390/buildings14113446>
- SMK N 1 Kedungwuni. (2023, November). Job Fair dan Career Expo Meriahkan Peluncuran SMK Berbasis Industri 4.0 di Peringatan HUT SMK Negeri 1 Kedungwuni 2023. <https://Smkn1kedungwuni.Sch.Id/Job-Fair-Dan-Career-Expo-Meriahkan-Peluncuran-Smk-Berbasis-Industri-4-0-Di-Peringatan-Hut-Smk-Negeri-1-Kedungwuni-2023/>