

PENGEMBANGAN LABORATORIUM JARAK JAUH YANG INTERAKTIF DAN EFEKTIF UNTUK PENDIDIKAN TEKNIK MASA DEPAN

Dian Artanto^{1*}, Eko Aris Budi Cahyono², dan Pippie Arbiyanti³

Universitas Sanata Dharma, Indonesia

Universitas Sanata Dharma, Indonesia

Universitas Sanata Dharma, Indonesia

dian.artanto@usd.ac.id, eko_aris@usd.ac.id, dan pipie@usd.ac.id

*korespondensi: dian.artanto@usd.ac.id

Abstrak

Artikel ini membahas pengembangan laboratorium jarak jauh yang interaktif dan efektif untuk pendidikan teknik masa depan, dengan memanfaatkan perangkat keras ESP32, perangkat lunak berbasis web Wokwi, dan platform cloud IoT Adafruit IO. Tujuan dari pengembangan ini adalah untuk menciptakan solusi yang memungkinkan mahasiswa melakukan eksperimen dan praktik secara jarak jauh, sambil tetap memperoleh pengalaman belajar yang mendekati kondisi nyata. Metode yang digunakan dalam pengembangan ini mencakup perancangan materi praktik di laboratorium, implementasi perangkat keras ESP32 yang dikombinasikan dengan simulasi di Wokwi, serta integrasi dengan Adafruit IO untuk pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui dasbor interaktif. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan dapat diakses secara real-time oleh pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa laboratorium jarak jauh ini mampu menyediakan akses yang fleksibel dan interaktif bagi mahasiswa, memungkinkan mahasiswa untuk melakukan eksperimen dan praktik dari mana saja dan kapan saja. Penggunaan Wokwi terbukti efektif dalam simulasi pemrograman dan pengujian perangkat keras, sementara Adafruit IO memberikan kemudahan dalam pemantauan dan analisis data. Dengan demikian, laboratorium jarak jauh yang dikembangkan ini menawarkan solusi inovatif untuk pendidikan teknik di masa depan.

Kata kunci: efektif, interaktif, IoT, laboratorium jarak jauh, pendidikan teknik masa depan

DEVELOPING INTERACTIVE AND EFFECTIVE DISTANCE LABORATORIES FOR FUTURE ENGINEERING EDUCATION

Dian Artanto^{1*}, Eko Aris Budi Cahyono², and Pippie Arbiyanti³

Sanata Dharma University, Indonesia

Sanata Dharma University, Indonesia

Sanata Dharma University, Indonesia

dian.artanto@usd.ac.id, eko_aris@usd.ac.id, dan pipie@usd.ac.id

*correspondence: dian.artanto@usd.ac.id

Abstract

This article explores the development of an interactive and effective remote laboratory for future technical education, utilizing hardware such as the ESP32, web-based software like Wokwi, and the IoT cloud platform Adafruit IO. The goal of this development is to create a solution that allows students to conduct technical experiments and practices remotely while still gaining a learning experience that closely resembles real-world conditions. The methodology involves designing the laboratory practice materials, implementing the ESP32 hardware combined with simulations in Wokwi, and integrating it with Adafruit IO for remote

monitoring and control through an interactive dashboard. Testing was conducted to ensure that the system functions properly and is accessible in real-time by users. The test results demonstrate that this remote laboratory provides flexible and interactive access for students, enabling them to conduct technical experiments anytime and anywhere. Wokwi proved effective for programming simulations and hardware testing, while Adafruit IO facilitated easy monitoring and data analysis. Thus, this developed remote laboratory offers an innovative solution for future engineering education.

Keywords: effective, future engineering education, interactive, IoT, remote laboratory

Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk di bidang pendidikan. Pendidikan teknik, yang selama ini sangat bergantung pada praktik di laboratorium fisik, kini mulai menghadapi tantangan dalam menghadirkan pengalaman belajar yang sama dalam format jarak jauh. Pandemi global yang terjadi baru-baru ini mempercepat kebutuhan akan solusi pembelajaran jarak jauh, termasuk laboratorium yang dapat diakses secara online.

Laboratorium fisik tradisional sering kali membutuhkan biaya yang besar, perawatan yang intensif, dan akses terbatas bagi siswa/mahasiswa yang berada di luar kampus. Selain itu, keterbatasan geografis juga menjadi penghalang bagi banyak siswa/mahasiswa untuk mendapatkan pengalaman laboratorium yang memadai. Untuk menjawab tantangan ini, diperlukan pengembangan laboratorium jarak jauh yang interaktif dan efektif, yang dapat memberikan pengalaman belajar praktis yang sebanding dengan laboratorium fisik. Laboratorium jarak jauh pada dasarnya terdiri dari seperangkat peralatan eksperimen fisik yang terhubung ke Internet, dan pengguna dapat mengakses dan berinteraksi dengan sistem ini melalui koneksi Internet. Laboratorium jarak jauh menghilangkan kendala geografis dalam melakukan praktek, menjadikannya alat yang sangat efektif dalam membantu berbagai pengguna memperoleh pengalaman praktis yang dibutuhkan untuk kompetensi dalam sains dan teknologi (Wang dkk., 2020).

Dengan memanfaatkan perangkat keras seperti ESP32, perangkat lunak berbasis web seperti Wokwi, dan platform berbasis cloud seperti Adafruit IO, laboratorium jarak jauh dapat dikembangkan untuk memberikan akses yang lebih fleksibel dan terjangkau bagi siswa/mahasiswa di seluruh dunia. Inovasi ini tidak hanya memperluas akses pendidikan, tetapi juga mendukung metode pembelajaran yang lebih interaktif dan relevan dengan perkembangan teknologi saat ini.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk peningkatan pembelajaran menggunakan Wokwi telah dilakukan dengan hasil yang memuaskan, seperti yang telah diterapkan di SMA Negeri 3 Tegal, yang ditunjukkan dengan antusiasme peserta dalam pembelajaran mencapai 90% dan sasaran pembelajaran tercapai hingga 95% (Afriliana dkk., 2024). Penggunaan Wokwi untuk pembelajaran praktek juga telah diterapkan di Posts and Telecommunications Institute of Technology Vietnam (Tuyen, 2022). Penggunaan Wokwi sangat membantu, khususnya bagi siswa/mahasiswa yang masih awam dengan rangkaian elektronika. Dengan menggunakan Wokwi, siswa/mahasiswa bisa melakukan praktik tanpa khawatir terjadi kerusakan akibat salah merangkai. Siswa/mahasiswa juga bisa melakukan praktik di mana saja dan kapan saja secara gratis. Pengujian hasil simulasi menggunakan Wokwi juga telah dilakukan dengan hasil yang memuaskan (Ardhana dkk., 2023), (Suwarno, 2022). Wokwi juga telah digunakan untuk pembuatan perancangan pada peralatan kesehatan (Mahardhika & Kuspranoto, 2024), (Muwaffaq, 2024), (Anggono & Kuspranoto, 2023), dan juga perancangan peralatan untuk pemantauan lingkungan (Noor, 2024). Wokwi juga telah diteliti penggunaannya untuk pembelajaran Hybrid dengan hasil yang memuaskan (Wahyudi & Sabara, 2023).

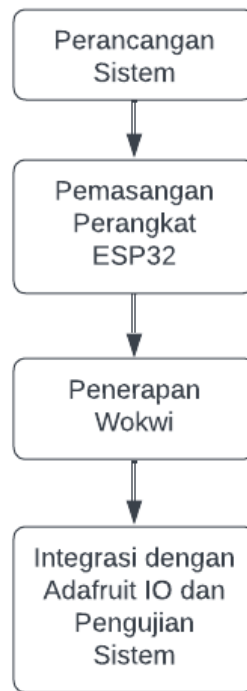
Penggunaan perangkat keras ESP32, yang dapat terkoneksi dengan Internet melalui Wi-Fi, juga telah diteliti (Zailani, 2024). Pembelajaran dengan perangkat keras ESP32 ini dilakukan setelah simulasi dengan Wokwi berjalan sesuai dengan yang ditargetkan. Dengan menerapkan kode program yang ada di Wokwi ke perangkat yang sebenarnya, dalam hal ini ESP32, membuat siswa/mahasiswa dapat lebih memahami penerapan alat secara riil.

Penelitian penggunaan dasbor Adafruit IO juga telah dilakukan, seperti yang diterapkan untuk pemantauan kinerja Panel Surya (Ghafoor dkk., 2024). Dengan Adafruit IO, pemantauan berkelanjutan terhadap kinerja sistem tersebut dapat dilakukan secara real time, secara jarak jauh, dari mana saja dan kapan saja. Penerapan Adafruit IO pada bidang kesehatan juga telah dilakukan (Gupta & Bisht, 2024), (Ramasamy dkk., 2023). Dokter tidak lagi harus mengunjungi pasien secara langsung untuk mengetahui kondisi pasien, sebaliknya di mana saja dokter berada, baik di rumah, di kantor maupun di jalan, dengan teknologi IoT seperti Adafruit IO ini, memungkinkan dokter mengetahui kondisi pasien sehingga dapat meresepkan obat dengan cara yang jauh lebih efisien dan efektif. Penggunaan Adafruit IO untuk memonitor dan mengontrol motor listrik juga telah dikembangkan (Ihsan & Lesmidayarti, 2024). Penggunaan Adafruit IO untuk *home automation*, sehingga peralatan listrik di rumah dapat dikontrol dan dimonitor secara mudah juga telah dilakukan (Omarkhil, dkk., 2022), (Iyanda & Jimoh, 2023), (Nwankwo dkk. 2023). Begitu pula penerapan dasbor Adafruit IO untuk sistem pemantauan parkir juga telah dikembangkan (Kiruthika dkk., 2024). Di bidang pertanian, sistem irigasi cerdas yang dapat dipantau dan dikontrol dari jarak jauh, juga telah dikembangkan dengan dasbor Adafruit IO (MK dkk., 2022), (Yusuf dkk., 2022), (Syafaat dkk., 2023), (Borges dkk., 2024). Penggunaan dasboar Adafruit IO juga telah dikembangkan untuk sistem penampungan air hujan di daerah kering (Cheng dkk., 2019) dan untuk pemantauan lingkungan seperti ketinggian air di waduk (Smith dkk., 2022).

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan di atas, artikel ini bertujuan untuk mengembangkan laboratorium jarak jauh yang interaktif dan efektif untuk pendidikan teknik dengan menggunakan perangkat keras ESP32, perangkat lunak berbasis web Wokwi, dan platform berbasis cloud Adafruit IO. Dengan Laboratorium jarak jauh yang dikembangkan ini, dengan sendirinya jam praktik siswa/mahasiswa akan bisa lebih banyak, karena siswa/mahasiswa bisa melakukan praktik mandiri dari mana saja dan kapan saja. Jam praktik ini penting karena industri secara umum membutuhkan tenaga teknis yang terampil, yang bisa dilatih dengan banyaknya jam praktik di laboratorium.

Metode

Pengembangan laboratorium jarak jauh ini melibatkan beberapa tahap, yaitu perancangan sistem, implementasi perangkat keras ESP32 dan perangkat lunak Wokwi, serta integrasi dengan platform berbasis cloud Adafruit IO. Gambar 1 berikut ini menampilkan gambaran umum pengembangan laboratorium jarak jauh yang diusulkan:



Gambar 1. Diagram Alir Pengembangan Laboratorium Jarak Jauh

1. Perancangan Sistem:

- Tahap ini dimulai dengan merancang materi praktik di laboratorium yang melibatkan penggunaan perangkat keras ESP32 untuk kontrol dan monitor peralatan.
- Tahap ini juga merancang materi untuk simulasi dan pemrograman perangkat keras secara virtual menggunakan Wokwi.
- Tahap ini juga merancang penggunaan Adafruit IO untuk memfasilitasi pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui dasbor yang interaktif.

2. Implementasi Perangkat Keras:

- ESP32 dipilih karena kemampuannya untuk menghubungkan perangkat melalui Wi-Fi dan Bluetooth, serta kompatibilitasnya dengan berbagai sensor dan aktuator.
- Setelah konfigurasi perangkat keras, ESP32 dihubungkan dengan Wokwi melalui protokol MQTT untuk simulasi dan pengujian kode sebelum diimplementasikan di perangkat nyata.

3. Implementasi Perangkat Lunak:

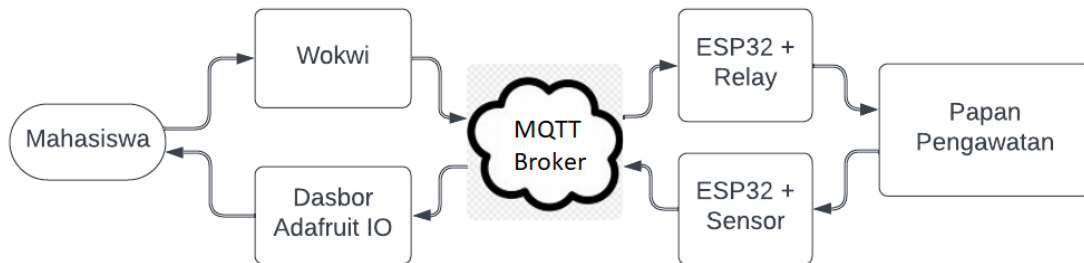
- Wokwi digunakan sebagai alat simulasi berbasis web yang memungkinkan pengguna untuk membuat dan menguji kode dalam lingkungan virtual yang menyerupai kondisi nyata.
- Adafruit IO digunakan untuk menyimpan data, membuat dasbor, dan mengendalikan perangkat secara jarak jauh.

4. Integrasi dan Pengujian:

- Setelah implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan ESP32, dan Wokwi dengan Adafruit IO melalui protokol MQTT.
- Pengujian dilakukan untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik dan laboratorium dapat diakses secara real-time oleh siswa.

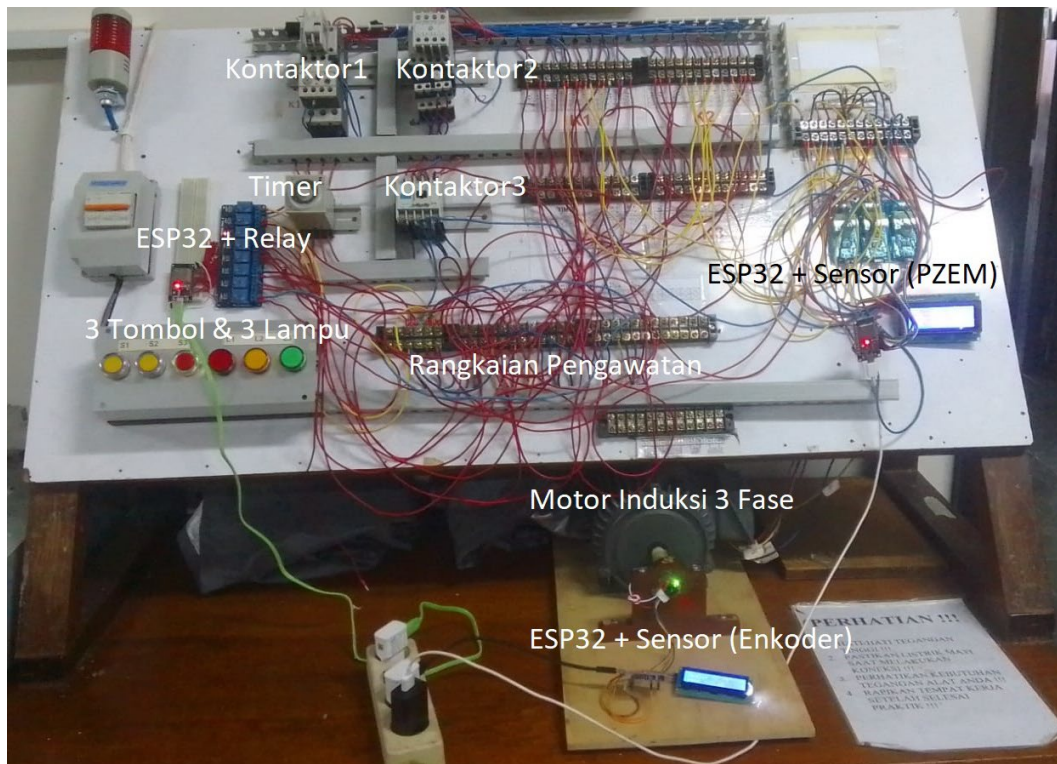
Gambar 2 berikut ini menunjukkan konsep pengembangan laboratorium jarak jauh, di mana pengguna atau mahasiswa dapat melakukan pengawatan motor listrik di Laboratorium Otomasi Fakultas Vokasi Universitas Sanata Dharma dari jarak jauh melalui internet. Prinsip

kerjanya adalah dengan memanfaatkan Wokwi untuk membuat rangkaian pengawatan, dan apabila rangkaian benar, Wokwi akan mengirimkan data sambungan tersebut ke perangkat ESP32 yang dipasang pada papan pengawatan di laboratorium. Dasbor Adafruit IO kemudian akan menampilkan gambar tangkapan kamera pada papan pengawatan, dan juga data hasil pembacaan ESP32 meliputi tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, faktor daya dari rangkaian, serta posisi dan kecepatan motor listrik.



Gambar 2. Konsep pengembangan laboratorium jarak jauh

Gambar 3 berikut ini menunjukkan foto dari papan pengawatan dengan komponen-komponen di dalamnya, yang terdiri dari sebuah lampu indikator, sebuah MCB, 3 buah tombol, 3 buah lampu pilot, 3 buah kontaktor, sebuah timer, dan beberapa terminal block beserta kabelnya untuk membuat rangkaian kontrol pada motor induksi 3 fase. Terlihat juga komponen ESP32 + Relay, ESP32 + Sensor (PZEM) yang dilengkapi dengan LCD 20x4, dan ESP32 + Sensor (Enkoder) yang dilengkapi dengan LCD 16x2.



Gambar 3. Papan pengawatan kontrol motor induksi 3 fase di Laboratorium Otomasi Fakultas Vokasi Universitas Sanata Dharma

Gambar 4 berikut ini menunjukkan pemasangan perangkat ESP32 + Relay pada papan pengawatan. ESP32 + Relay di sini digunakan untuk membuat rangkaian pengawatan dapat

dikontrol dari jarak jauh, termasuk menghidup/matikan kontaktor, timer, lampu pilot dan motor induksi 3 fase.



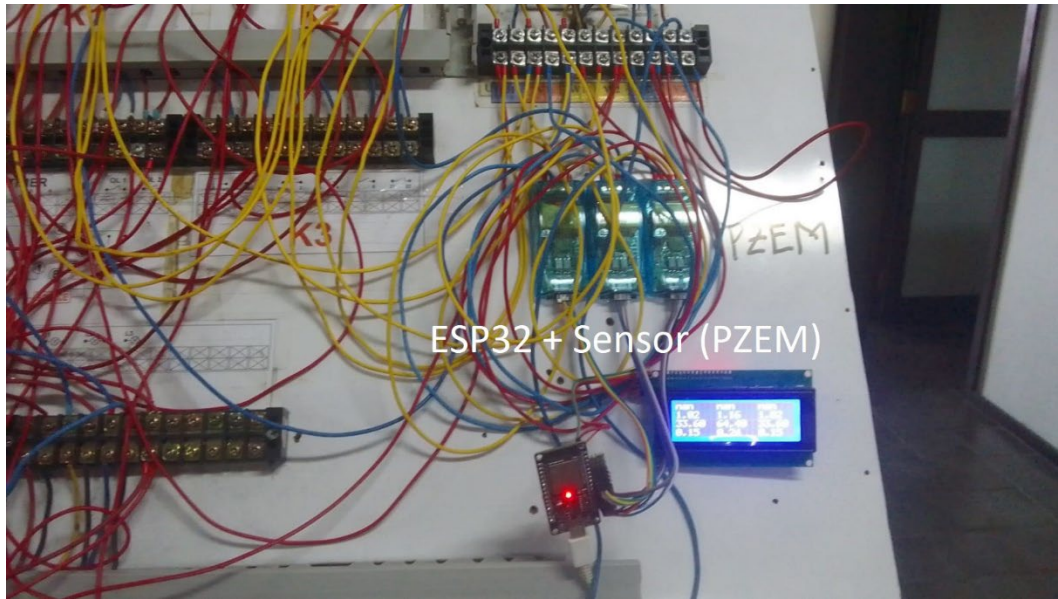
Gambar 4. Pemasangan perangkat ESP32 + Relay, yang digunakan untuk mengontrol rangkaian pengawatan dari jarak jauh

Gambar 5 berikut ini menunjukkan pemasangan perangkat ESP32 + Sensor Enkoder pada motor induksi 3 fase. ESP32 + Sensor Enkoder di sini digunakan untuk memonitor kondisi motor induksi dari jarak jauh, termasuk posisi poros dan kecepatan motor, serta menampilkan datanya di LCD 16x2.



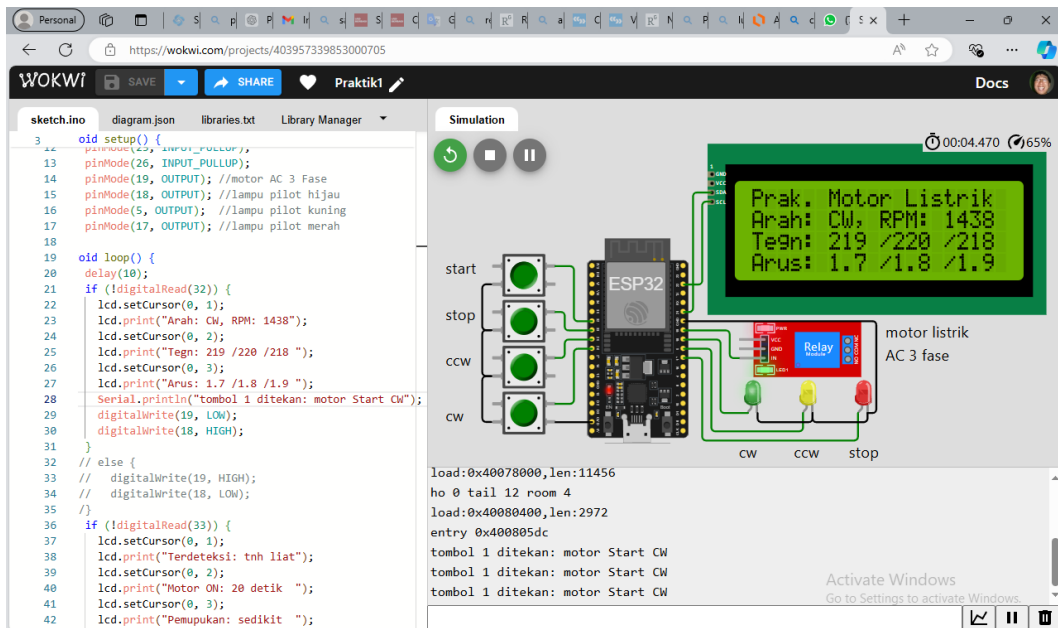
Gambar 5. Pemasangan perangkat ESP32 + Sensor Enkoder untuk memonitor kondisi motor induksi dari jarak jauh dan menampilkan datanya di LCD16x2

Gambar 6 berikut ini menunjukkan pemasangan perangkat ESP32 + PZEM-004T pada rangkaian pengawatan. ESP32 + PZEM-004T di sini digunakan untuk memonitor kondisi rangkaian, termasuk tegangan, arus, daya, energi, frekuensi dan faktor daya pada rangkaian, serta menampilkan datanya di LCD 20x4.



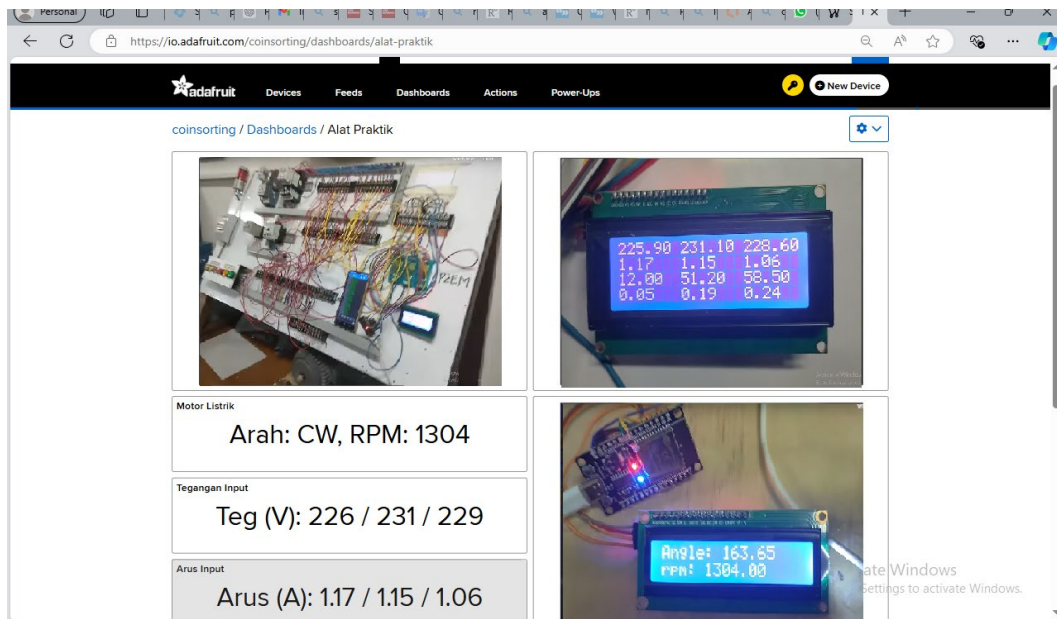
Gambar 6. Pemasangan perangkat ESP32 + PZEM-004T untuk memonitor kondisi rangkaian dari jarak jauh dan menampilkan datanya di LCD20x4

Gambar 7 berikut ini menunjukkan contoh pembuatan rangkaian dan program di Wokwi, yang nantinya dapat disimulasikan. Apabila rangkaian dan program benar, maka Wokwi akan mengirimkan data sambungan tersebut ke ESP32 + Relay melalui internet, dengan bantuan protokol MQTT.



Gambar 7. Wokwi untuk simulasi sekaligus kontrol peralatan listrik di papan pengawatan, termasuk kontaktor, timer, lampu pilot dan motor induksi 3 fase

Gambar 8 berikut ini menunjukkan tampilan dasbor Adafruit IO, yang menampilkan data teks dan gambar dari kondisi rangkaian pengawatan dan motor listrik. Dasbor Adafruit IO ini dapat diakses dari mana saja melalui internet.



Gambar 8. Dasbor Adafruit IO menampilkan data kondisi rangkaian pengawatan dan motor listrik, baik dalam bentuk data teks maupun gambar foto

Hasil dan Pembahasan

Pengujian laboratorium jarak jauh menunjukkan hasil yang positif, di mana peralatan listrik termasuk kontaktor, timer, lampu pilot dan motor induksi 3 fase dapat dimonitor dan dikontrol secara real-time dari jarak jauh. Penggunaan Wokwi sebagai platform simulasi terbukti efektif dalam mengajarkan konsep pemrograman dan elektronika tanpa memerlukan perangkat keras fisik. Mahasiswa dapat memahami cara kerja ESP32 dan sensor terkait sebelum menerapkannya pada perangkat nyata.

Selain itu, integrasi dengan Adafruit IO memungkinkan siswa/mahasiswa untuk memantau dan menganalisis data yang dihasilkan oleh perangkat secara langsung melalui dasbor yang mudah digunakan. Hal ini meningkatkan interaktivitas dan efektivitas pembelajaran, karena mahasiswa dapat melakukan eksperimen dan melihat hasilnya secara instan.

Di samping itu, hal yang menarik dari laboratorium jarak jauh ini adalah keamanan peralatan dan pengguna. Sebelum menggunakan laboratorium jarak jauh untuk pengawatan kontrol motor listrik ini, banyak terjadi kesalahan penyambungan jalur pada rangkaian pengawatan, yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan karena mengalirnya arus hubung singkat yang besar pada peralatan. Beberapa mahasiswa dilaporkan juga terkena tegangan listrik yang cukup besar, karena lupa membuka MCB saat melakukan pengawatan. Dengan adanya laboratorium jarak jauh ini, kerusakan peralatan dapat dihindarkan, karena hanya pengawatan rangkaian yang sudah benar saja yang akan dijalankan, sedangkan rangkaian pengawatan yang salah, tidak akan dijalankan. Di samping itu pengguna tidak akan berhubungan langsung dengan sumber tegangan listrik AC, sehingga aman dari bahaya tegangan listrik yang tinggi.

Dari hasil pengujian, laboratorium jarak jauh yang dikembangkan ini memiliki potensi keberlanjutan yang cukup tinggi, terutama jika dilihat dari aspek pemeliharaan dan integrasi teknologi. Dari aspek pemeliharaan, sistem berbasis perangkat keras seperti ESP32 dan perangkat lunak berbasis web seperti Wokwi dan platform IoT seperti Adafruit IO, umumnya mudah dipelihara karena komunitas pengembang yang besar dan dukungan ekosistem IoT yang terus-menerus. Dari aspek integrasi teknologi, ESP32, Wokwi dan Adafruit IO mendukung berbagai protokol komunikasi seperti MQTT dan HTTP, yang memungkinkan integrasi dengan teknologi masa depan dan platform lain yang mungkin muncul.

Kesimpulan

Pengembangan laboratorium jarak jauh yang interaktif dan efektif menggunakan ESP32, Wokwi, dan Adafruit IO memberikan solusi inovatif untuk pendidikan teknik masa depan. Laboratorium ini memungkinkan akses yang lebih fleksibel dan praktis bagi siswa, sehingga mendukung pembelajaran yang lebih interaktif dan relevan dengan perkembangan teknologi. Meskipun masih ada tantangan keberlanjutan yang perlu diatasi, laboratorium jarak jauh ini memiliki potensi besar untuk diterapkan secara luas dalam pendidikan teknik, terutama di era digital yang semakin mengedepankan akses dan keterbukaan.

Daftar Pustaka

- Afriliana, I., Basit, A., Rakhman, A., & Prihandoyo, M. T. (2024). Peningkatan Iptek Pada Siswa/mahasiswa Sekolah Menengah Atas Melalui Pengenalan Internet of Things. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 8(1), 608. <https://doi.org/10.31764/jmm.v8i1.20110>
- Ak, A., Topuz, V., Altikardeş, A., & Oral, B. (2018). Development of a remote laboratory infrastructure and LMS for mechatronics distance education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2493–2508. <https://doi.org/10.29333/ejmste/89947>
- Ardhana, V. Y. P., Hidayat, M. T., Jannah, M., Sumiati, S., Rini, P., & Sari, N. (2023). Implementasi RESTful API Pada Laravel dan Simulator IoT Wokwi Untuk Pengukuran Suhu dan Kelembaban Menggunakan Metode Waterfall. *Arcitech: Journal of Computer Science and Artificial Intelligence*, 3(2), 93. <https://doi.org/10.29240/arcitech.v3i2.9334>
- Borges, R. C., Beuter, C. H., Dourado, V. C., & Bento, M. E. C. (2024). Internet of Things Application in an Automated Irrigation Prototype Powered by Photovoltaic Energy. *Energies*, 17(9), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en17092219>
- Cheng, A. L., Silva, L. M., Buenano, M. R., & Vega, N. L. (2019). Development of an Adaptive Rainwater-Harvesting System for Intelligent Selective Redistribution. *2019 IEEE 4th Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2019, August 2020*. <https://doi.org/10.1109/ETCM48019.2019.9014909>
- Ghafoor, M., Amin, A. A., & Khalid, M. S. (2024). Design of IoT-based solar array cleaning system with enhanced performance and efficiency. *Measurement and Control (United Kingdom)*, March. <https://doi.org/10.1177/00202940241233383>
- Gupta, P., & Bisht, A. (2019). IOT based patient health monitoring system using ML. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 5086–5091. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A2148.109119>
- Ihsan, I., & Lesmidayarti, D. (2024). Penerapan Smart Sistem Monitoring dan Kontrol Motor 1 Fasa Menggunakan Google Assistant. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 8(1), 7. <https://doi.org/10.30595/jrst.v8i1.17314>
- Iyanda, A. R., Eruobodo, A. D., & Jimoh, K. O. (2024). *A Bilingual Chatbot For Home Appliances Control*. April 2023.
- Kiruthika, V., Jagadeeswari, M., Snehaprabha, C., & Sreejaa, H. (2023). IoT Based Smart Parking System. *AIP Conference Proceedings*, 2914(1), 196–203. <https://doi.org/10.1063/5.0175916>
- M. K., A. H. K., Joseph, B., & Manoj, V. K. (2022). Remote Access of Irrigation System using Cloud-Technology: Smart Irrigation. *Kristu Jayanti Journal of Computational Sciences (KJCS)*, May, 38–44. <https://doi.org/10.59176/kjcs.v2i1.2220>
- Mahardhika, P., Kuspranoto, A. H. (2024). *Perancangan Simulasi Countdown Timer Pada Design Of Countdown Timer Simulation On Medical Devices Based On Arduino Uno And Wokwi*. 5(1), 5–10.

- Muwaffaq, M. Rifqi. (2024). *Perancangan Rangkaian Sederhana Infant Warmer Berbasis Arduino Uno Menggunakan Simple Infant Warmer Circuit Design Based On*. 5(1), 1–4.
- Nicolaus, C., Anggono, B. S., & Kuspranoto, A. H. (2023). Perancangan Simulasi Kalkulator Indeks Masa Tubuh Berbasis Arduino Uno Dan Simulasi Wokwi Design of Body Mass Index Calculator Simulation Based on Arduino Uno and Wokwi Simulation. *Medika Trada : Jurnal Teknik Elektromedik Polbitrada*, 4(2), 29–34.
- Noor, M. F., Studi, P., Informasi, T., Teknik, F., Mangkurat, U. L., Studi, P., Informatika, T., Informasi, F. T., Nahdlatul, U., & Kalimantan, U. (2024). *Simulasi Sistem Pemantauan Ketinggian Air pada bendungan menggunakan Wokwi*. 4, 19–29.
- Nwankwo, O. U., Ajakwe, S. O., Nwakanma, C. I., & Kim, D. (2023). *IoT-Assisted and Cloud Computing Orchestrated Room Temperature Control System for Smart Home*. June.
- Omarkhil, S., Bindu, C. S., & Kumar, E. S. (2022). *IoT-Enabled Home Automation System IoT-Enabled Home Automation System*. April 2023. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8862-1>
- Ramasamy, R. (2023). *A Novel Long Short-Term Memory (LSTM) Deep Learning IoT Method for Lung Cancer Prediction and Detection A Novel Long Short-Term Memory (LSTM) Deep Learning IoT Method for Lung Cancer Prediction and Detection*. January. <https://doi.org/10.54216/JAIM.050201>
- Smith, C., Downey, A. R. J., & McCain, P. D. J. (2022). An Inexpensive , Open-Source , Remote Water Level Monitoring Solution for Dam Safety. *The Journal of Dam Safety*, December, 6–20.
- Suwarno, Djoko Untoro (2022). Simulation on the effects of the Arduino PID controller parameters using the WOKWI online simulator. *International Conference on Information Science and Technology Innovation (ICoSTEC)*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.35842/icostec.v1i1.1>
- Syafaat, M., Ramadhan, A. N., Syafiun, R. B., & Haerunnisa, D. A. (2023). IoT-Based Smart Garden Using Mqtt Protocol With Adafruit IO app. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, 4(4), 723–732. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2023.4.4.636>
- Tuyen, Nguyen Tai. (2022). On an application in supporting practical teaching of IoT course and embedded programming. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 13(3), 039–044. <https://doi.org/10.30574/gjeta.2022.13.3.0199>
- Wahyudi, Sabara, E. (2023). *Desain Dan Implementasi Media Pembelajaran Mikrokontroler Design and Implementation of Hybrid Learning-Based*. April. <https://doi.org/10.26858/metrik.v19i3.37177>
- Wang, N., Lan, Q., Chen, X., Song, G., & Parsaei, H. (2020). Development of a Remote Laboratory for Engineering Education. In *Development of a Remote Laboratory for Engineering Education* (Issue March). <https://doi.org/10.1201/9780429326455>
- Yusuf, M. M., Sahrani, S., Saad, M. H., Sarker, M., & Samah, M. Z. (2022). Design and Development of An Internet of Things (IoT) Based Real Time Monitoring and Control System for Smart Indoor Hydroponic Vertical Farming System With ESP32 and Adafruit IO. *Journal of Information System and Technology Management*, 7(28), 155–163. <https://doi.org/10.35631/JISTM.728010>
- Zailani, Nor Faizah Bt. (2024). *Getting Started With Arduino And ESP32: A Beginner's Guide with Wokwi* (Issue June).