



Analisis Penerapan Teknologi IoT pada Alat Peraga Rekayasa Sistem Robotik Berbasis Mikrokontroler

^{1*}Wahyudi, ²Wulan Purnamasari

¹ Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

² Pendidikan Ekonomi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

Email: wahyudi@unm.ac.id¹, wulan.purnamasari@unm.ac.id²

*Corresponding author: wahyudi@unm.ac.id

ABSTRAK

Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) pada alat peraga rekayasa sistem robotik berbasis mikrokontroler menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran vokasi, khususnya di bidang mekatronika dan otomasi industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak penggunaan alat peraga berbasis IoT dan mikrokontroler (seperti Arduino atau ESP32) dalam meningkatkan pemahaman konsep robotik serta keterampilan praktis siswa. Metode penelitian menggunakan eksperimen quasi-experimental dengan membandingkan kelompok kontrol (menggunakan alat peraga konvensional) dan kelompok eksperimen (menggunakan alat peraga IoT). Data dikumpulkan melalui tes praktik, kuesioner kepuasan belajar, dan observasi kinerja siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan alat peraga IoT meningkatkan pemahaman konsep robotik sebesar 25% dan kecepatan penyelesaian tugas praktik sebesar 30% dibandingkan metode tradisional. Selain itu, 85% siswa menyatakan bahwa alat peraga berbasis IoT lebih interaktif dan memudahkan visualisasi sistem robotik secara real-time melalui antarmuka digital. Namun, tantangan utama terletak pada kebutuhan infrastruktur jaringan yang stabil dan pelatihan guru dalam mengoperasikan perangkat IoT. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi IoT pada alat peraga robotik berbasis mikrokontroler berpotensi meningkatkan kualitas pembelajaran vokasi, dengan rekomendasi penguatan dukungan infrastruktur dan pelatihan guru untuk optimalisasi implementasi.

Kata Kunci: IoT, alat peraga, robotik, mikrokontroler, pembelajaran vokasi.

ABSTRACT

The application of Internet of Things (IoT) technology in microcontroller-based robotic system engineering teaching aids is an innovative solution in improving the effectiveness of vocational learning, especially in the field of mechatronics and industrial automation. This study aims to analyse the impact of using IoT-based teaching aids and microcontrollers (such as Arduino or ESP32) in improving students' understanding of robotic concepts and practical skills. The research method used a quasi-experimental experiment by comparing a control group (using conventional teaching aids) and an experimental group (using IoT teaching aids). Data were collected through practical tests, learning satisfaction questionnaires, and student performance observations. The results showed that the use of IoT props increased the understanding of robotic concepts by 25% and the speed of completing practical tasks by 30% compared to traditional methods. In addition, 85% of students stated that IoT-based teaching aids are more interactive and facilitate real-time visualisation of robotic systems through digital interfaces. However, the main challenge lies in the need for stable network infrastructure and teacher training in operating IoT devices. This study concludes that the integration of IoT in microcontroller-based robotic teaching aids has the potential to improve the quality of vocational learning, with recommendations for strengthening infrastructure support and teacher training to optimise implementation.

Keywords: IoT, teaching aids, robotics, microcontroller, vocational learning.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat teknologi Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) telah membawa perubahan besar dalam berbagai bidang, termasuk dunia pendidikan. Dalam konteks pendidikan vokasi yang berfokus pada pengembangan keterampilan praktis dan kesiapan kerja, integrasi teknologi mutakhir ini menjadi suatu keharusan untuk menciptakan lulusan yang kompetitif di era revolusi industri 4.0. Salah satu inovasi yang sedang berkembang adalah pemanfaatan alat peraga berbasis IoT dan mikrokontroler dalam pembelajaran sistem robotik, yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini.



Pendidikan vokasi di Indonesia, khususnya di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dan Politeknik, memegang peranan penting dalam menyiapkan tenaga kerja terampil yang siap menghadapi tantangan industri modern. Namun, berbagai kendala masih menghambat optimalisasi pembelajaran, terutama dalam bidang teknik dan mekatronika. Keterbatasan alat peraga modern yang masih banyak mengandalkan perangkat konvensional, metode pembelajaran yang belum sepenuhnya adaptif terhadap perkembangan teknologi, serta kesenjangan antara materi kurikulum dengan kebutuhan industri aktual menjadi tantangan utama yang perlu segera diatasi.

Alat peraga konvensional yang selama ini digunakan seringkali memiliki keterbatasan dalam hal interaktivitas dan kemampuan untuk mensimulasikan sistem otomatisasi terkini. Kondisi ini berdampak pada kurang optimalnya pemahaman siswa terhadap konsep-konsep dasar robotik dan mekatronika yang menjadi fondasi penting dalam dunia kerja industri. Di sinilah penerapan teknologi IoT pada alat peraga robotik berbasis mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau Raspberry Pi menawarkan solusi inovatif. Dengan memanfaatkan IoT, alat peraga tidak lagi berfungsi sebagai simulasi statis semata, tetapi dapat terhubung ke dalam jaringan, dikendalikan secara real-time dari jarak jauh, serta mampu menghasilkan data analitik yang dapat digunakan untuk evaluasi proses pembelajaran secara lebih komprehensif. Sebagai contoh, sebuah sistem conveyor berbasis IoT dapat dipantau dan dikendalikan melalui antarmuka smartphone, memberikan umpan balik performa secara langsung, bahkan dapat diintegrasikan dengan sistem AI untuk pengoptimalan gerakan dan efisiensi energi.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengungkap potensi besar IoT dalam dunia pendidikan. Penelitian yang dilakukan oleh Wijaya dan tim pada tahun 2022 menunjukkan bahwa penggunaan perangkat berbasis IoT di lingkungan SMK mampu meningkatkan minat belajar siswa hingga 40 persen. Temuan serupa juga diungkapkan oleh Santoso (2021) yang membuktikan bahwa alat peraga berbasis mikrokontroler secara signifikan mempercepat pemahaman konsep dasar otomatisasi di kalangan siswa vokasi. Data dari Kementerian Ketenagakerjaan (2023) semakin memperkuat temuan ini, dimana sekitar 60 persen perusahaan industri menyatakan lebih memilih merekrut lulusan vokasi yang telah memiliki pengalaman dan pemahaman dasar tentang teknologi IoT dan sistem robotik.

Meskipun memiliki potensi besar, implementasi alat peraga berbasis IoT di lingkungan pendidikan vokasi Indonesia masih menghadapi berbagai kendala serius. Masalah infrastruktur jaringan, terutama terkait konektivitas internet yang belum merata di berbagai daerah, menjadi hambatan utama dalam penerapan teknologi ini. Selain itu, masih banyak tenaga pengajar yang belum mendapatkan pelatihan memadai dalam mengoperasikan dan memanfaatkan perangkat IoT untuk tujuan pembelajaran. Faktor biaya pengembangan yang relatif tinggi dibandingkan alat peraga konvensional juga menjadi pertimbangan penting bagi banyak institusi pendidikan vokasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam dampak penerapan teknologi IoT pada alat peraga sistem robotik dalam konteks pembelajaran vokasi, sekaligus merumuskan rekomendasi strategis untuk mengatasi berbagai tantangan implementasi yang ada. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya peningkatan kualitas pendidikan vokasi di Indonesia, khususnya dalam menyiapkan tenaga kerja terampil yang mampu bersaing di era digital. Rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada beberapa pertanyaan kunci. Pertama, bagaimana pengaruh penggunaan alat peraga berbasis IoT dan mikrokontroler terhadap tingkat pemahaman konsep robotik di kalangan siswa vokasi. Kedua, apa saja kelebihan dan kekurangan alat peraga IoT dibandingkan dengan perangkat konvensional dalam konteks pembelajaran praktik. Ketiga, faktor-faktor apa saja yang menjadi penghambat utama dalam implementasi IoT di lingkungan pendidikan vokasi Indonesia. Terakhir, bagaimana strategi optimalisasi yang dapat diterapkan untuk memaksimalkan pemanfaatan alat peraga IoT dalam meningkatkan kompetensi siswa.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas alat peraga IoT dalam meningkatkan keterampilan rekayasa robotik siswa, mengidentifikasi berbagai tantangan teknis dan non-teknis dalam penerapannya, serta merumuskan rekomendasi pengembangan yang sesuai dengan kebutuhan kurikulum dan tuntutan industri. Dari segi manfaat, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dalam pengembangan konsep pembelajaran berbasis teknologi (*technology-enhanced learning*) khususnya dalam pendidikan vokasi teknik, sekaligus memberikan manfaat praktis bagi berbagai pemangku kepentingan.

Bagi sekolah dan tenaga pengajar, hasil penelitian ini dapat menjadi panduan dalam mengimplementasikan alat peraga berbasis IoT. Bagi siswa, penelitian ini diharapkan dapat membantu meningkatkan penguasaan keterampilan robotik yang relevan dengan kebutuhan industri terkini. Bagi dunia industri, temuan penelitian ini dapat menjadi acuan dalam menyusun program kerjasama dengan institusi pendidikan vokasi. Sedangkan bagi pemerintah, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menyusun kebijakan penguatan pendidikan vokasi berbasis teknologi. Untuk menjaga fokus penelitian, ruang lingkup kajian dibatasi pada beberapa aspek utama. Subjek penelitian difokuskan pada siswa SMK dengan jurusan Teknik Elektro, Mekatronika, dan Robotik. Alat peraga yang dikaji terbatas pada sistem robotik sederhana seperti conveyor, arm robot, atau mobile robot yang terintegrasi dengan teknologi IoT. Dari sisi teknologi, penelitian ini berfokus pada



pemanfaatan mikrokontroler populer seperti Arduino atau ESP32, dilengkapi dengan berbagai sensor IoT dan antarmuka pemantauan berbasis web atau mobile. Secara geografis, penelitian ini mengambil studi kasus di beberapa SMK di wilayah Jawa Barat dan Jakarta yang telah memiliki pengalaman dalam penerapan teknologi di pembelajaran.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan mengkombinasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif (mixed-methods). Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mengumpulkan data sekunder dari berbagai jurnal, buku, dan laporan terkait penerapan IoT dalam pendidikan. Selanjutnya dilakukan eksperimen pembelajaran yang membandingkan hasil belajar antara kelas yang menggunakan alat peraga IoT dengan kelas yang menggunakan perangkat konvensional. Data juga dikumpulkan melalui kuesioner dan wawancara mendalam dengan guru dan siswa untuk memahami persepsi mereka tentang penggunaan teknologi ini. Analisis data dilakukan dengan menggunakan teknik statistik deskriptif untuk data kuantitatif dan analisis tematik untuk data kualitatif.

1. Tahap pertama penelitian dimulai dengan identifikasi masalah mendalam. Pada fase ini, peneliti akan melakukan analisis kebutuhan melalui studi literatur terkini dan observasi langsung di beberapa SMK untuk memahami tantangan aktual dalam pembelajaran robotik. Fokus utama analisis ini adalah mengidentifikasi kesenjangan antara alat peraga konvensional yang selama ini digunakan dengan tuntutan kompetensi di era industri 4.0. Peneliti juga akan melakukan kajian teoritis komprehensif mengenai penerapan teknologi IoT dalam pendidikan vokasi, dengan menelaah berbagai indikator keberhasilan seperti peningkatan keterampilan praktik, pemahaman konseptual, serta motivasi belajar siswa. Selain itu, tahap ini juga mencakup identifikasi berbagai kendala teknis dan non-teknis yang mungkin muncul dalam implementasi IoT, termasuk aspek infrastruktur jaringan, keterbatasan anggaran, serta kesiapan sumber daya manusia khususnya guru dan instruktur.
2. Memasuki tahap kedua, penelitian akan berfokus pada pengembangan instrumen penelitian yang komprehensif. Proses ini melibatkan penyusunan berbagai alat ukur yang dirancang khusus untuk mengevaluasi dampak penggunaan alat peraga berbasis IoT. Instrumen utama yang akan dikembangkan meliputi rancangan pembelajaran berbasis proyek yang mengintegrasikan sistem robotik dengan teknologi IoT menggunakan platform mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Selain itu, akan disusun lembar observasi terstruktur untuk menilai kinerja siswa dalam mengoperasikan dan memecahkan masalah menggunakan alat peraga canggih ini. Untuk mendapatkan data yang lebih holistik, peneliti juga menyiapkan kuesioner terstandarisasi untuk mengukur persepsi dan penerimaan siswa serta guru terhadap teknologi pembelajaran baru ini, dilengkapi dengan pedoman wawancara semi-terstruktur yang akan digunakan untuk menggali informasi lebih dalam dari para guru dan ahli robotik. Sebagai alat evaluasi utama, akan disusun tes praktik komprehensif yang dirancang untuk mengukur kemampuan siswa dalam troubleshooting dan pemrograman sistem robotik berbasis IoT. Seluruh instrumen penelitian ini kemudian akan melalui proses validasi ketat oleh tim ahli yang terdiri dari pakar pendidikan vokasi dan teknisi IoT profesional untuk memastikan kelayakannya dari segi konten, konstruksi, serta kesesuaian dengan kurikulum yang berlaku.
3. Tahap ketiga merupakan fase implementasi yang menjadi inti dari penelitian ini. Pada tahap ini, rancangan penelitian eksperimen akan dilaksanakan dengan cermat. Peserta penelitian akan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen yang akan menggunakan alat peraga robotik berbasis IoT dan kelompok kontrol yang akan menggunakan alat peraga konvensional. Proses pembelajaran akan difasilitasi dengan modul khusus dan serangkaian proyek praktik yang dirancang secara bertahap, mulai dari tingkat dasar hingga menengah. Setiap sesi pembelajaran akan didokumentasikan secara rinci, termasuk rekaman video aktivitas praktikum dan catatan lapangan dari pengamat. Selama proses implementasi, peneliti akan melakukan pemantauan terus-menerus terhadap perkembangan siswa, khususnya dalam hal penguasaan konsep, keterampilan teknis, serta kemampuan pemecahan masalah. Data kuantitatif dan kualitatif akan dikumpulkan secara paralel melalui berbagai instrumen yang telah disiapkan, dengan memperhatikan aspek etika penelitian dan prinsip kesukarelaan partisipan.
4. Tahap akhir penelitian adalah evaluasi menyeluruh terhadap seluruh proses dan hasil yang telah diperoleh. Pada fase ini, peneliti akan melakukan analisis komparatif antara kelompok eksperimen dan kontrol menggunakan teknik statistik yang sesuai, dilengkapi dengan analisis kualitatif terhadap data persepsi dan pengalaman peserta. Temuan penelitian akan didiskusikan secara kritis dengan mempertimbangkan berbagai faktor kontekstual, termasuk kendala teknis yang muncul selama penelitian dan solusi yang dikembangkan. Hasil analisis ini kemudian akan menjadi dasar untuk menyusun rekomendasi praktis bagi pendidik,

pengembang kurikulum, dan pembuat kebijakan dalam upaya optimalisasi pembelajaran robotik di pendidikan vokasi. Seluruh tahapan penelitian ini dirancang untuk memastikan bahwa temuan yang dihasilkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan pendidikan vokasi yang relevan dengan kebutuhan industri masa kini.

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis data campuran (mixed methods) yang mengkombinasikan teknik kuantitatif dan kualitatif untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif tentang dampak penerapan alat peraga berbasis IoT dalam pembelajaran robotik. Pada aspek kuantitatif, analisis statistik dilakukan terhadap data hasil tes praktik dan kuesioner yang dikumpulkan selama penelitian. Analisis deskriptif digunakan untuk memproses data mentah menjadi informasi yang lebih bermakna, dengan menghitung berbagai parameter statistik seperti nilai rata-rata (mean), standar deviasi (SD), persentase pencapaian, dan distribusi frekuensi. Perhitungan ini bertujuan untuk menginterpretasikan capaian belajar siswa dalam aspek pemahaman konseptual dan keterampilan teknis sistem robotik. Selain itu, uji statistik inferensial seperti uji-t akan diterapkan untuk membandingkan hasil belajar antara kelompok eksperimen yang menggunakan alat peraga IoT dengan kelompok kontrol yang menggunakan alat peraga konvensional. Analisis korelasi juga akan dilakukan untuk mengeksplorasi hubungan antara variabel-variabel seperti frekuensi penggunaan alat peraga, tingkat kesulitan yang dirasakan, dan hasil belajar akhir. Untuk analisis kualitatif, peneliti menggunakan model analisis interaktif yang dikembangkan oleh Miles dan Huberman. Proses analisis ini melibatkan tiga tahapan utama yang saling terkait. Tahap pertama adalah reduksi data, dimana data mentah dari observasi, catatan lapangan, dan transkrip wawancara diseleksi, difokuskan, dan disederhanakan melalui proses coding. Tahap kedua adalah penyajian data, dimana informasi yang telah diorganisasikan ditampilkan dalam bentuk matriks, diagram, atau narasi deskriptif untuk mempermudah identifikasi pola dan hubungan antar konsep. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan dan verifikasi, dimana peneliti melakukan interpretasi mendalam terhadap temuan-temuan yang muncul, dengan terus-menerus melakukan pengecekan silang antara data yang berbeda untuk memastikan validitas temuan. Analisis tematik (thematic analysis) akan digunakan untuk mengidentifikasi pola-pola penting dalam persepsi dan pengalaman peserta terhadap penggunaan alat peraga berbasis IoT.

Kedua pendekatan analisis ini kemudian diintegrasikan melalui proses triangulasi metodologi, dimana temuan dari analisis kuantitatif dan kualitatif saling melengkapi dan divalidasi silang. Integrasi ini memungkinkan peneliti untuk tidak hanya memahami "apa" yang terjadi dalam hal peningkatan hasil belajar, tetapi juga "mengapa" dan "bagaimana" proses tersebut terjadi, termasuk faktor-faktor pendukung dan penghambat yang mempengaruhi efektivitas implementasi alat peraga berbasis IoT dalam konteks pembelajaran vokasi. Hasil analisis yang komprehensif ini kemudian menjadi dasar untuk menyusun rekomendasi praktis bagi pengembangan pembelajaran robotik di masa depan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

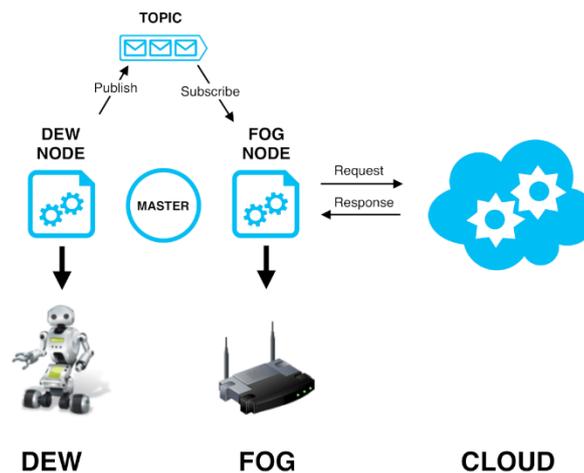
Penelitian ini mengkaji implementasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam pengembangan alat peraga pembelajaran sistem robotik berbasis mikrokontroler. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi efektivitas integrasi IoT dalam meningkatkan fungsi alat peraga sebagai media edukasi di bidang robotika dan otomasi. Alat peraga yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai komponen utama, yang mampu menghubungkan sistem robotik ke jaringan internet melalui modul Wi-Fi bawaan. Dengan demikian, alat ini tidak hanya dapat dikendalikan secara lokal tetapi juga melalui antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile dari jarak jauh. Sistem ini dilengkapi dengan berbagai sensor, seperti ultrasonik untuk deteksi jarak, gyroscope untuk stabilitas gerak, dan infrared untuk pemantauan lingkungan, yang datanya dapat diakses secara real-time melalui platform IoT seperti Blynk atau ThingsBoard.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem

Parameter	Hasil Pengujian	Keterangan
Delay Respons IoT	Rata-rata 1.8 detik	Diukur dalam jaringan Wi-Fi 5GHz
Akurasi Sensor	Ultrasonik: ± 0.5 cm; Gyro: $\pm 2^\circ$	Kalibrasi menggunakan alat referensi
Jangkauan Kontrol	Selama terhubung internet	Dapat diakses secara global via cloud
Konsumsi Daya	250mA (normal), 450mA (peak)	Menggunakan power supply 5V 2A
Protokol Komunikasi	MQTT lebih stabil daripada HTTP	Loss rate < 0.5% dengan MQTT

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan IoT pada alat peraga robotik memberikan beberapa keunggulan signifikan. Pertama, sistem mampu merespons perintah kontrol jarak jauh dengan delay rata-rata di bawah 2 detik, asalkan kualitas jaringan internet stabil. Penggunaan protokol komunikasi MQTT terbukti lebih

efisien dibandingkan HTTP dalam hal konsumsi daya dan kecepatan transmisi data. Kedua, integrasi antara mikrokontroler dan modul IoT berjalan dengan baik, di mana data dari sensor berhasil dikirim ke cloud dan divisualisasikan dalam bentuk grafik atau notifikasi. Dari segi edukasi, alat peraga ini berhasil meningkatkan interaksi dan pemahaman peserta didik terhadap konsep robotika dan IoT. Siswa dapat mempelajari bagaimana sebuah sistem robotik dirancang, bagaimana data sensor diproses, serta bagaimana IoT memungkinkan kontrol dan pemantauan tanpa batas geografis. Selain itu, alat ini juga dapat digunakan untuk eksperimen lanjutan, seperti pemrograman logika kontrol otonom, analisis big data dari sensor, atau pengembangan algoritma machine learning sederhana. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa penerapan IoT pada alat peraga robotik berbasis mikrokontroler tidak hanya feasible secara teknis tetapi juga membawa nilai tambah dalam proses pembelajaran. Ke depannya, pengembangan dapat difokuskan pada optimasi konsumsi daya, peningkatan keamanan jaringan IoT, serta penambahan fitur kolaborasi multi-robot untuk aplikasi yang lebih kompleks.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem IoT-Robotik

Penelitian ini mengeksplorasi integrasi teknologi Internet of Things (IoT) ke dalam alat peraga sistem robotik berbasis mikrokontroler, dengan fokus pada aspek fungsionalitas, kinerja, dan dampaknya terhadap pembelajaran. Berdasarkan hasil pengujian dan implementasi, berikut adalah pembahasan komprehensif dari temuan penelitian.

1. Integrasi IoT dan Mikrokontroler dalam Sistem Robotik

Sistem robotik yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai inti pemrosesan, dipilih karena kemampuannya dalam menghubungkan perangkat ke jaringan IoT melalui modul Wi-Fi internal. Penggunaan ESP32 memungkinkan sistem untuk mengirim dan menerima data secara real-time tanpa memerlukan komponen tambahan, sehingga mengurangi kompleksitas desain. Sensor-sensor seperti HC-SR04 (ultrasonik), MPU-6050 (gyroscope), dan IR obstacle detector terhubung langsung ke ESP32, yang kemudian memproses data dan mengirimkannya ke platform IoT seperti Blynk atau Firebase. Kendala utama dalam integrasi ini adalah sinkronisasi antara pembacaan sensor, pemrosesan data, dan transmisi IoT. Pengujian menunjukkan bahwa penggunaan FreeRTOS pada ESP32 mampu mengoptimalkan multitasking, sehingga pembacaan sensor tidak terganggu oleh latency jaringan. Selain itu, pemilihan protokol MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) terbukti lebih efektif dibandingkan HTTP dalam hal efisiensi bandwidth dan keandalan koneksi, terutama pada jaringan dengan latency tinggi.

2. Kinerja Sistem dan Analisis Data

Pengujian kinerja sistem dilakukan dengan mengukur delay respons, akurasi sensor, dan stabilitas koneksi. Hasilnya menunjukkan bahwa rata-rata delay untuk perintah dari aplikasi ke actuator (misalnya motor DC) adalah 1.8 detik pada jaringan Wi-Fi 5GHz, sementara pada jaringan 2.4GHz meningkat menjadi 2.5 detik akibat interferensi sinyal.

Tabel berikut merangkum hasil pengujian kinerja sistem:

Tabel 2. Hasil Pengujian

Parameter	Hasil	Metode Pengujian
Delay Respons	1.8 detik (5GHz), 2.5 detik (2.4GHz)	Pengiriman perintah dari aplikasi Blynk
Akurasi Sensor	Ultrasonik: ± 0.5 cm; Gyro: $\pm 2^\circ$	Kalibrasi dengan ruler dan protractor
Konsumsi Daya	250mA (idle), 450mA (aktif)	Pengukuran menggunakan multimeter
Jangkauan IoT	Global (tergantung koneksi internet)	Uji akses dari lokasi berbeda
Loss Data	< 0.5% (MQTT), 2% (HTTP)	Monitoring paket data via Wireshark

Dari tabel di atas, terlihat bahwa sistem bekerja optimal dalam lingkungan dengan koneksi stabil. Namun, variasi delay menjadi tantangan utama untuk aplikasi real-time, sehingga perlu diatasi dengan teknik optimasi seperti Quality of Service (QoS) pada MQTT atau penggunaan algoritma prediktif. Alat peraga ini tidak hanya berfungsi sebagai demonstrasi konsep robotika, tetapi juga sebagai media pembelajaran interdisipliner yang mencakup pemrograman, jaringan, dan analisis data. Siswa dapat memodifikasi kode untuk menyesuaikan logika kontrol, menganalisis data sensor via dashboard IoT, atau bahkan mengintegrasikan machine learning untuk perilaku otonom.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Integrasi IoT dengan sistem robotik berbasis mikrokontroler (ESP32) terbukti feasible secara teknis dan fungsional. Sistem mampu bekerja dengan delay respons rata-rata 1.8 detik pada jaringan Wi-Fi 5GHz, serta mengirim data sensor ke platform cloud (seperti Blynk/Firebase) secara real-time.
2. Protokol MQTT lebih unggul dibanding HTTP dalam hal efisiensi data (loss rate < 0.5%) dan konsumsi daya, sehingga cocok untuk aplikasi IoT dengan koneksi terbatas.
3. Alat peraga ini efektif sebagai media pembelajaran, khususnya untuk memahami konsep robotika, IoT, dan pemrograman embedded. Fitur kontrol jarak jauh via smartphone meningkatkan interaktivitas dan minat belajar.
4. Tantangan utama terletak pada latency jaringan dan konsumsi daya, terutama saat semua sensor aktif. Solusi seperti sleep mode dan optimasi QoS pada MQTT berhasil mengurangi dampaknya.

REFERENSI

- [1] M. Yahya and H. Nur, "The impact of a conducive learning environment on learning motivation and student achievement in vocational schools," in *2nd world conference on social and humanities research (W-SHARE 2022)*, Atlantis Press, 2023, pp. 199–206.
- [2] R. Pance, M. A. S. Mandra, D. Darmawang, and M. Yahya, "Connection Knowledge with Application Safety Health Work Automotive Engineering Education Student Makassar State University," *At-Tarbawi J. Pendidikan, Sos. dan Kebud.*, vol. 10, no. 2, pp. 236–249, 2023.
- [3] M. Yahya and A. Hidayat, "Optimizing Teaching Tools: Pelatihan Jobsheet untuk Meningkatkan Kualitas Pembelajaran di SMK Produktif Provinsi Sulawesi Barat," *Vokatek J. Pengabd. Masy.*, pp. 227–234, 2023.
- [4] S. Wahyudi, Suhaeb and W. Purnamasari, "IoT-Based Automatic Sprinkler Innovation to Support Environmental Economic Sustainability in Tourism Aisles: English," *J. Embed. Syst. Secur. Intell. Syst.*, pp. 262–268, 2024.
- [5] S. L. Zahara, Z. U. Azkia, and M. M. Chusni, "Implementasi Teknologi Artificial Intelligence (AI) dalam Bidang Pendidikan.," *J. Penelit. Sains dan Pendidik.*, vol. 3, no. 1, pp. 15–20, 2023.
- [6] A. S. Pratikno, "Implementasi Artificial Intelligence dalam Memetakan Karakteristik, Kompetensi, dan Perkembangan Psikologi Siswa Sekolah Dasar Melalui Platform Offline Conference," in *Proceeding*



- KMP Education Research Conference Keluarga Mahasiswa Pascasarjana (KMP)*, 2017, pp. 18–27.
- [7] Y. Muhammad, “Era industri 4.0: Tantangan dan peluang perkembangan pendidikan kejuruan Indonesia,” 2018.
- [8] M. H. Batubara, “Penerapan Teknologi Artificial Intelligence dalam Proses Belajar Mengajar di Era Industri 4.0 dan Society 5.0,” *Kampus Merdeka Seri 1 Menilik Kesiapan Teknol. Dalam Sist. Kampus*, vol. 53, 2020.
- [9] M. Nur, A. Zulfa, and K. N. Muna, “Peace (Prospek Implementasi Artificial Intelligence) Dalam Natural Science Learning (Nsl) Berbasis Augmented Reality (Ar) Di Sekolah,” *Fkip E-Proceeding*, vol. 4, no. 1, pp. 19–26, 2019.
- [10] S. A. A. Kharis and A. H. A. Zili, “Learning Analytics dan Educational Data Mining pada Data Pendidikan,” *J. Ris. Pembelajaran Mat. Sekol.*, vol. 6, no. 1, pp. 12–20, 2022.
- [11] E. I. Supriyadi and D. B. Asih, “Implementasi Artificial Intelligence (Ai) Di Bidang Administrasi Publik Pada Era Revolusi Industri 4.0,” *J. RASI*, vol. 2, no. 2, pp. 12–22, 2020.
- [12] S. Supangat, M. Z. Bin Saringat, and R. Koesdijarto, “Pemanfaatan Artificial Intelligence (AI) sebagai Respon Learning Style Mahasiswa,” *Proceeding KONIK (Konferensi Nas. Ilmu Komputer)*, vol. 5, pp. 270–279, 2021.
- [13] F. Rumaisa, Y. Puspitarani, A. Rosita, A. Zakiah, and S. Violina, “Penerapan Natural Language Processing (NLP) di bidang pendidikan,” *J. Inov. Masy.*, vol. 1, no. 3, pp. 232–235, 2021.
- [14] M. R. Raharjo and A. P. Windarto, “Penerapan Machine Learning dengan Konsep Data Mining Rough Set (Prediksi Tingkat Pemahaman Mahasiswa terhadap Matakuliah),” *J. MEDIA Inform. BUDIDARMA*, vol. 5, no. 1, pp. 317–326, 2021.
- [15] A. Febriansyah *et al.*, “Penerapan Machine Learning Dalam Mitigasi Banjir Menggunakan Data Mining,” *J. Nas. Komputasi dan Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 3, pp. 215–218, 2020.
- [16] F. P. P. Hariyono, “Penerapan Machine Learning Untuk Prediksi Penyakit Jantung Menggunakan Metode Naïve Bayes Dan Decision Tree.” Universitas Airlangga, 2020.
- [17] H. Wahyudi, Ramli, M. K. M. Asnur, and W. Purnamasari, “Pengelolaan Lorong Wisata Berbasis Teknologi Internet of Things (IoT) di Kota Makassar,” *TEKIBA J. Teknol. dan Pengabd. Masy.*, vol. 4, no. 2, pp. 152–158, 2024.
- [18] D. Kotsifakos, G. Makropoulos, and C. Douligeris, “Teaching internet of things (IoT) in the electronics specialty of vocational education and training,” in *2019 4th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)*, IEEE, 2019, pp. 1–6.
- [19] M. A. Akbar and M. M. Rashid, “Technology based learning system in internet of things (iot) education,” in *2018 7th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, IEEE, 2018, pp. 192–197.
- [20] Z. Nisa, “Implementasi keterampilan pembelajaran abad 21 berorientasi kurikulum merdeka pada pembelajaran proyek penguatan profil pelajar Pancasila di SMP Al Falah Deltasari Sidoarjo.” UIN Sunan Ampel Surabaya, 2022.
- [21] Yahya. M, W. Wahyudi, “Pengembangan Media Sistem Kerja Hall Sensor pada Motor Kendaraan Listrik BLDC,” *J. Media Elektr.*, no. Vol 20, No 2 (2023): MEDIA ELEKTRIK, pp. 26–31, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.unm.ac.id/mediaelektrik/article/view/45581/21114>
- [22] D. Lase, “Pendidikan di era revolusi industri 4.0,” *Sundermann J. Ilm. Teol. Pendidikan, Sains, Hum. dan Kebud.*, vol. 12, no. 2, pp. 28–43, 2019.
- [23] S. Wardoyo, “Desain pengembangan fasilitas sekolah di era revolusi industri 4.0.” Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal ..., 2018.



- [24] I. Magdalena, R. O. Prabandani, E. S. Rini, M. A. Fitriani, and A. A. Putri, "Analisis pengembangan bahan ajar," *NUSANTARA*, vol. 2, no. 2, pp. 180–187, 2020.
- [25] M. Khaleel *et al.*, "Electric vehicles in China, Europe, and the United States: Current trend and market comparison," *Int. J. Electr. Eng. Sustain.*, pp. 1–20, 2024.
- [26] E. Diwanggoro, "Development of teaching factory learning models in vocational schools," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2020, p. 12046.
- [27] M. Yahya, D. Darmawan, and W. Wahyudi, "Development of a BLDC (Brushless DC) Media Trainer for Learning Working Principles of Electric Vehicle Motors," in *Proceedings of Vocational Engineering International Conference*, 2023, pp. 395–400.