

PERAN *INTERNET OF THINGS* (IOT) DAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* (AI) DALAM *MAINTENANCE* LABORATORIUM: TINJAUAN LITERATUR

Rara¹, Dwi Noviana Wulandari¹, Fina Maliya², Hamdi Akhsan^{*3}, Iful Amri⁴

1,2,3,4) Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya, Indonesia

Article Info	ABSTRACT
Article history: Received: 20 Mei 2025 Revised: 12 Juni 2025 Accepted: 13 Juli 2025	Abstrak Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji peran teknologi Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) dalam mendukung proses pemeliharaan (<i>maintenance</i>) di laboratorium modern. Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) berdasarkan pedoman PRISMA, 26 artikel dengan rentang tahun (2015-2025) dari database seperti Scopus dan IEEE Xplore dianalisis untuk menjawab empat pertanyaan penelitian: (1) penggunaan IoT (sensor dan platform), (2) aplikasi AI (algoritma dan fungsi), (3) dampak terhadap efisiensi, akurasi dan produktivitas serta (4) tantangan implementasi. IoT dengan sensor DHT11 dan platform Docker memungkinkan pemantauan real-time dan otomatisasi peralatan. AI, melalui algoritma pembelajaran mesin memungkinkan prediksi kerusakan dan otomatisasi eksperimen. Teknologi ini meningkatkan efisiensi energi hingga 30% dan akurasi hasil laboratorium, tetapi tantangan seperti kompleksitas system, interoperabilitas, kualitas data, dan kesiapan SDM menghambat adopsi AI dan IoT. Rekomendasi meliputi proyek percontohan berbasis Raspberry Pi dan pelatihan teknis. Kata Kunci: IoT, AI, <i>Predictive Maintenance</i>, <i>Smart Laboratory</i>, <i>Automation</i> Abstract <i>This research aims to examine the role of Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) technologies in supporting the maintenance process in modern laboratories. The method used was Systematic Literature Review (SLR) based on PRISMA guidelines, 26 articles with a range of years (2015-2025) from databases such as Scopus and IEEE Xplore were analyzed to answer four research questions: (1) IoT usage (sensors and platforms), (2) AI applications (algorithms and functions), (3) impact on efficiency, accuracy and productivity and (4) implementation challenges. IoT with DHT11 sensors and Docker platform enables real-time monitoring and automation of equipment. AI, through machine learning algorithms, enables fault prediction and experiment automation. These technologies improve energy efficiency by up to 30% and the accuracy of laboratory results, but challenges such as system complexity, interoperability, data quality, and human resource readiness hinder the adoption of AI and IoT. Recommendations include Raspberry Pi-based pilot projects and technical training.</i> Keywords: IoT, AI, <i>Predictive Maintenance</i>, <i>Smart Laboratory</i>, <i>Automation</i> Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi oleh Universitas Dharmawangsa Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan dengan Lisensi Internasional Creative Commons Attribution NonCommercial ShareAlike 4.0 (CC-BY-NC-SA). 
Corresponding Author: E-mail: hamdiakhsan@fkip.unsri.ac.id	

1. PENDAHULUAN

Perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan telah dibawa oleh Perkembangan teknologi digital, termasuk dalam pengelolaan dan pemeliharaan laboratorium. Laboratorium modern tidak hanya bergantung pada metode manual tetapi juga memanfaatkan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi operasional. Teknologi seperti Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI) menjadi kunci dalam transformasi maintenance laboratorium. Penelitian oleh Gomez [1] menunjukkan bahwa IoT memungkinkan pengumpulan dan pemrosesan data melalui sensor dan perangkat terhubung, mendukung otomatisasi dan personalisasi layanan di lingkungan cerdas.

IoT memungkinkan pemantauan real-time, dalam konteks laboratorium, melalui sensor pintar yang terhubung ke peralatan laboratorium, meningkatkan efisiensi dan kendala sistem. Sementara itu, AI digunakan untuk memprediksi kerusakan sebelum terjadi, sehingga downtime dapat diminimalkan secara signifikan. Penelitian yang dilakukan oleh Busnatu [2] menyoroti aplikasi AI dalam berbagai bidang medis yang dapat diadaptasi untuk analisis prediktif dalam pemeliharaan laboratorium.

Teknologi digital memiliki peran penting dalam mendukung modernisasi laboratorium melalui otomatisasi berbagai proses yang sebelumnya membutuhkan intervensi manusia. Dengan memanfaatkan analisis data historis dan pola penggunaan alat, teknologi ini memungkinkan prediksi kerusakan peralatan secara akurat [3]. Prediksi tersebut membantu laboratorium dalam merencanakan langkah-langkah maintenance yang efektif, sehingga dapat mengurangi risiko downtime yang tidak terduga. Selain itu, penerapan teknologi digital juga menjadi dasar untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mendorong pengelolaan laboratorium yang lebih cerdas dan modern[4].

Di Indonesia, laboratorium Pendidikan dan riset, terutama di Universitas dengan sumberdaya terbatas, sering menghadapi tantangan seperti kegagalan peralatan, biaya operasional tinggi, dan inefisiensi waktu. Dalam konteks ini, keterbatasan infrastruktur teknologi dan kurangnya pelatihan sumberdaya manusia menjadi hambatan utama penerapan IoT dan AI [5].

Oleh karena itu, Penelitian ini bertujuan untuk menjawab empat pertanyaan utama: (1) Bagaimana IoT, termasuk jenis sensor dan platform, digunakan dalam

pemeliharaan laboratorium? (2) Bagaimana AI, termasuk algoritma spesifik, mendukung proses pemeliharaan? (3) Apa dampak IoT dan AI terhadap efisiensi, akurasi, dan produktivitas laboratorium? (4) Apa tantangan utama implementasi teknologi ini, khususnya di Indonesia? Investasi dalam pelatihan teknologi dan proyek percontohan berbasis IoT dapat menjadi langkah awal menuju praktik pemeliharaan yang lebih cerdas dan efisien.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur ilmiah terkait peran Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) dalam pemeliharaan laboratorium modern. PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews dan Meta-Analyses) digunakan sebagai pedoman sebagaimana diterapkan dalam [6]. Untuk memastikan proses yang sistematis, transparan dan dapat direplikasi. Proses SLR dilaksanakan dengan tiga tahapan utama yaitu: perencanaan peninjauan, pelaksanaan peninjauan, dan pelaporan hasil. Alat seperti Parsifal, Publish or Perish digunakan untuk manajemen traceabilitas, Mendeley untuk pengelolaan sitasi dan bibliografi, diagram PRISMA untuk pelaporan alur seleksi artikel.

2.1. Perencanaan Peninjauan

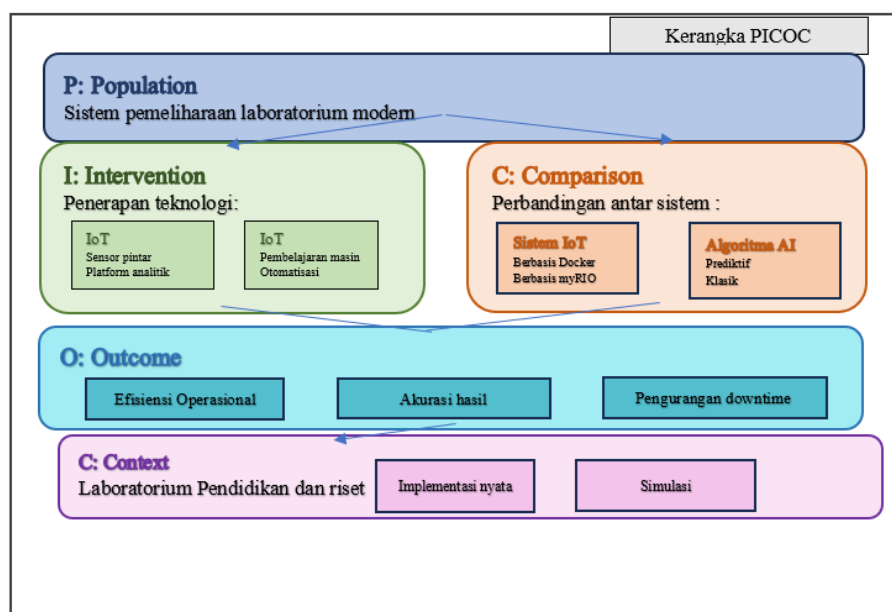
2.1.1 Identifikasi kebutuhan Peninjauan

SLR ditujukan untuk memetakan peran IoT dan AI dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemeliharaan laboratorium, serta mengidentifikasi tantangan implementasinya. IoT memungkinkan pemantauan real-time otomatisasi peralatan, sementara AI mendukung prediksi kerusakan dan analisis data [2], [4]. Tantangan seperti kompleksitas sistem dan kesiapan sumber daya manusia (SDM) memerlukan analisis mendalam [7]. Kajian ini diperlukan untuk menyediakan panduan berbasis bukti bagi laboratorium pendidikan dan riset dalam mengadopsi teknologi digital.

2.1.2 Merumuskan Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian dirumuskan menggunakan kerangka PICOC (Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context) untuk memastikan focus pada IoT dan AI dalam pemeliharaan laboratorium:

- **Q 1:** Bagaimana IoT digunakan dalam pemeliharaan laboratorium, termasuk jenis sensor dan platform yang diterapkan?
- **Q 2:** Bagaimana AI mendukung pemeliharaan laboratorium, termasuk algoritma dan aplikasi spesifik?
- **Q 3:** Apa dampak IoT dan AI terhadap efisiensi, akurasi, dan produktivitas laboratorium?
- **Q 4:** Apa tantangan utama dalam implementasi IoT dan AI di laboratorium



Gambar 1. Kerangka PICOC

2.1.3 Mengembangkan Protokol Peninjauan

Protokol peninjauan mencakup kriteria inklusi/eksklusi, strategi pencarian dan metode ekstraksi data, mengikuti pendekatan seperti [8]. Protokol divalidasi oleh tiga peneliti untuk memastikan objektivitas.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Inklusi	Eksklusi
• Artikel peer-reviewed (jurnal, preprint) yang diterbitkan antara 2020–2025. • Membahas IoT atau AI dalam pemeliharaan laboratorium (misalnya, sensor pintar, prediksi kerusakan). • Berbahasa Inggris atau Indonesia, menyediakan data empiris, simulasi, atau implementasi praktis. • Relevan dengan efisiensi, otomatisasi, atau tantangan implementasi	• Artikel non-peer-reviewed (misalnya, blog, laporan berita). • Teks lengkap tidak tersedia. • Artikel sebelum 2020 • Tidak membahas IoT, AI, atau pemeliharaan laboratorium.

Sumber data berasal dari database akademik seperti Scopus, Google Scholar, ScienceDirect, IEEE Xplore, dan repositori local seperti Garuda. Pencarian dilakukan secara sistematis menggunakan string pencarian seperti: (“laboratory maintenance” OR “smart laboratory” OR “Predictive maintenance”) AND (“Internet of Things” OR “IoT” OR “Artificial Intelligence” OR “AI” OR “automation”). Proses pencarian difokuskan pada judul, abstrak dan kata kunci artikel, dengan filter untuk rentang tahun 2020-2025 dan dokumen peer-reviewed.

2.3 Seleksi Studi

Proses seleksi dilakukan dalam empat tahap, diadaptasi dari [8] :

Tahap 1:

Penghapusan sebelum skrining, dari 325 artikel yang diidentifikasi, 50 artikel dihapus karena duplikat,. Tidak ada artikel yang dihapus oleh alat otomatisasi (n=0) atau alasan lain (n=0)

Tahap 2:

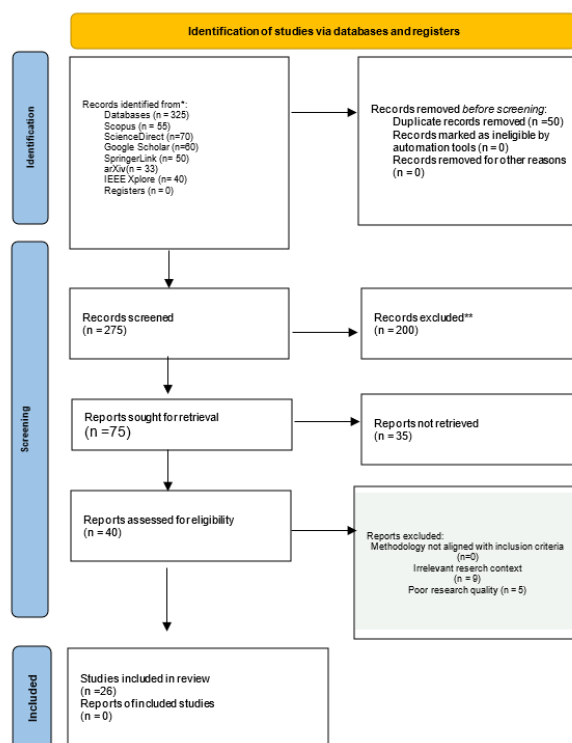
Skrining awal, sebanyak 275 artikel disaring berdasarkan judul dan abstrak untuk relevansi dengan IoT, AI atau pemeliharaan laboratorium. Sebanyak 200 artikel dikecualikan karena tidak relevan (misalnya, focus pada industry non-laboratorium)

Tahap 3:

Sebanyak 75 artikel dicari teks lengkapnya, tetapi 35 artikel tidak dapat diambil karena akses terbatas

Tahap 4:

Penilaian kelayakan, sebanyak 40 artikel dinilai untuk kelayakan. Sebanyak 14 artikel dikecualikan karena konteks tidak relevan (n= 9) atau kualitas rendah (n=5). Akhirnya, 26 artikel dipilih untuk dianalisis.



2.4 Pelaporan Hasil

2.4.1 Sintesis Data

Data disintesis menggunakan pendekatan naratif untuk menjawab pertanyaan penelitian:

- Q1: Peran IoT (misalnya, sensor DHT11, Platform Docker) dikelompokkan berdasarkan fungsi pemantauan dan otomatisasi.
- Q2: Aplikasi AI (misalnya, Pembelajaran mesin, lengan robotic) dianalisis berdasarkan prediksi kerusakan dan otomatisasi.
- Q3: Dampak (misalnya, pengurangan konsumsi energi, peningkatan akurasi) dirangkum berdasarkan konteks laboratorium.
- Q4: Tantangan (misalnya, interoperabilitas, kualitas data) dievaluasi untuk kesiapan implementasi.

2.4.2 Pelaporan Hasil

Hasil SLR dilaporkan dalam artikel mencakup :

- Pendahuluan: Latar belakang IoT dan AI dalam pemeliharaan laboratorium
- Metode: Deskripsi langkah-langkah SLR, termasuk diagram PRISMA
- Hasil dan Pembahasan: temuan untuk setiap pertanyaan penelitian, didukung referensi.

- Kesimpulan: Ringkasan kontribusi dan rekomendasi untuk laboratorium.

2.4.3 Manajemen Bias

Bias diminimalkan melalui:

- Pencarian di beberapa database (Scopus, Google Scholar, dll)
- Seleksi dan ekstraksi oleh dua peneliti independent
- Kriteria kualitas ditetapkan konsisten
- Keterbatasan (misalnya, akses terbatas ke artikel berbayar) didokumentasikan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Internet of Things (IoT)

Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam kegiatan pemeliharaan laboratorium memberikan kemudahan dalam pengawasan kondisi peralatan secara real-time [5]. Pemanfaatan sensor dan jaringan IoT dalam pemantauan kondisi bahan komposit dapat diadaptasi untuk mendukung pengawasan peralatan laboratorium [9]. Pendekatan ini membantu dalam mendeteksi potensi masalah sejak dini, sehingga memungkinkan pelaksanaan tindakan pencegahan secara tepat [10].

Platform analitik digital berbasis IoT telah terbukti meningkatkan efisiensi sistem pemeliharaan laboratorium melalui tiga aspek utama. Pertama, kemampuan visualisasi multivariabel parameter peralatan memungkinkan pengawasan yang lebih komprehensif [11]. Kedua, algoritma prediktif untuk analisis kegagalan memberikan kemampuan antisipasi yang lebih baik. Ketiga, alokasi sumber daya dinamis berdasarkan beban kerja meningkatkan efektivitas operasional. [12].

Penerapan *predictive maintenance* berbasis IoT dan *machine learning* untuk memantau dan memprediksi kerusakan peralatan laboratorium. Sistem ini bertujuan untuk memastikan peralatan laboratorium tetap berfungsi optimal, mendukung kelancaran kegiatan di laboratorium [13].

Tabel 1. Proses Maintenance menggunakan IoT [14][15][12]

No	Penulis dan Tahun	Judul	Teknologi digunakan	Fungsi	Dampak
1.	Amruta N. Banagar, Rajshankar	IoT based Smart Laboratory System	Pemasangan monitoring sensor suhu dan	Memantau kondisi lingkungan di laboratorium	Mengurangi konsumsi Listrik hingga 30%. Namun kompleksitas sistem memungkinkan

	Khattar (2020)		kelembaban (DHT11), sensor Cahaya (TSL2561) dan sensor Gerak (PIR).		kerusakan hardware/softearw serta masalah keamanan dan privasi data.
2.	Sahirul Alam, Sri Lestari, Anni Karimatul Fauziyyah, Dzulfikar (2024).	Implementasi Docker Container untuk Sistem Monitoring dan Pengontrolan Peralatan Listrik di Laboratorium Cerdas	Penggunakan sensor DHT11, PIR, LDR, dan NodeMCU ESP8266, serta aplikasi berbasis Docker seperti Mosquitto, Node-RED, InfluxDB, dan Grafana yang berjalan di server lokal.	Memantau dan mengontrol peralatan listrik serta suhu dan kelembaban secara real-time.	Peningkatan kenyamanan dan efisiensi energi, meskipun kontrol kelembaban di ruang penyimpanan masih perlu ditingkatkan
3.	Makoto Hasegawa, Kazuaki Hanada, Hiroshi Idei, Shoji Kawasaki, Takahiro Nagata, Ryuya Ikezoe, Takumi Onchi, Kengoh Kuroda, Aki Higashijima (2020)	Predictive maintenance and safety operation by device integration on the QUEST large experimental device	Penggunaan IoT di laboratorium QUEST	Memantau resistansi kontak mikro-ohm secara real-time	Mengurangi risiko kegagalan mendadak dan kenaikan biaya operasional

Penggunaan Internet of Things di laboratorium menawarkan banyak keuntungan, termasuk pemantauan kondisi lingkungan secara real-time, kontrol otomatis terhadap peralatan, dan peningkatan efisiensi energi dan operasional. temuan ini berguna sebagai bukti konsep, implementasi nyata memerlukan evaluasi lebih mendalam terhadap trade-off antara biaya, akurasi, dan keandalan dalam konteks spesifik laboratorium target [16].

3.2. Artificial Intlelligence (AI)

Perencanaan pemeliharaan laboratorium berbasis teknologi digital dan kecerdasan buatan (AI) menghadapi tantangan implementasi yang kompleks

meskipun menjanjikan peningkatan efisiensi operasional. Bukti empiris menunjukkan bahwa integrasi sistem digital cenderung mengabaikan faktor adaptasi staf dan kebutuhan kalibrasi ulang peralatan konvensional, yang justru dapat meningkatkan biaya operasional jangka pendek[7].

Penerapan AI dalam pengelolaan infrastruktur laboratorium dapat memperkuat deteksi risiko serta mempercepat respons terhadap kegagalan peralatan. Melalui strategi berbasis data, pemeliharaan dapat dilakukan secara prediktif, sehingga tidak hanya meningkatkan aspek keselamatan, tetapi juga mengoptimalkan ketersediaan peralatan [17].

AI berperan signifikan dalam mendukung operasional laboratorium, mulai dari tahap pengolahan sampel hingga analisis data. Pemanfaatan perangkat digital berbasis AI mampu mengotomatiskan proses pengujian dan mempercepat identifikasi hasil. Penerapan teknologi ini tidak hanya meningkatkan kecepatan dan ketelitian, tetapi juga berdampak positif terhadap produktivitas laboratorium secara keseluruhan [18].

Tabel 2. Proses Maintenance menggunakan AI [17][19][20][21]

No	Penulis dan Tahun	Judul	Teknologi digunakan	Fungsi	Dampak
1.	Okusi, Oluwatobiloba (2024)	Leveraging AI and Machine Learning for the Protection of Critical National Infrastructure	Pemasangan sensor yang merekam data penting seperti suhu, kelembaban, waktu operasi, dan penggunaan energi. Data dari peralatan otomatis ini dikirim ke sistem AI terintegrasi lalu dianalisis.	Mendeteksi kesalahan atau ketidaksesuaian fungsi alat, memprediksi kapan alat akan rusak dan menentukan komponen spesifik yang kemungkinan besar akan bermasalah.	Mengoptimalkan dan membuat seluruh proses menjadi efisien.
2.	Orly Ardon, Robert L Schmidt, Clinical Laboratory Employees' Attitudes Toward Artificial Intelligence	Clinical Laboratory Employees' Attitudes Toward Artificial Intelligence	AI : Lengan robotik dan alat penanganan cairan	AI memproses data berskala besar untuk menemukan pola dan meningkatkan akurasi prediksi.	Penemuan material baru menjadi jauh lebih cepat dan efisien, dengan peluang

	Artificial Intelligence (2020)				penemuan tak terduga.
3.	Diogo Cardoso, andLuísFerr eira (2020)	Application of Predictive Maintenance Concepts Using Artificial Intelligence Tools	AI dengan menggunakan algoritma pembelajaran mesin untuk mengotomatiskan eksperimen	Membuat perencanaan, pengambilan Keputusan berdasarkan data	Eksperimen lebih efektif dan akurat
4.	Patrick L. Day, MPH; Sarah Erdahl, MS; Denise L. Rokke, BS; Mikolaj Wieczorek, BS; Patrick W. Johnson, BS; Paul J. Jannetto, PhD; Joshua A. Bornhorst, PhD; and Rickey E. Carter, PhD (2023)	Artificial Intelligence for Kidney Stone Spectra Analysis: Using Artificial Intelligence Algorithms for Quality Assurance in the Clinical Laboratory	AI	Meningkatkan akurasi dan mengurangi kesalahan, alat pemeriksaan tambahan	Meningkatkan deteksi kesalahan pelaporan hingga delapan kali lipat

Penerapan AI di laboratorium meningkatkan akurasi dan efisiensi melalui deteksi kerusakan dan analisis real-time, namun menghadapi tantangan krusial. Klaim optimasi sering didasarkan pada kondisi ideal, sementara realitas laboratorium menghadapi masalah data tidak terstandar dan variasi sampel kompleks [22]. Otomatisasi AI memerlukan infrastruktur memadai dan SDM terlatih - faktor yang sering diabaikan dalam implementasi. esistensi staf dan kebutuhan pelatihan berkelanjutan menjadi penghambat utama. Solusi parsial tanpa standarisasi data dan kolaborasi lintas disiplin hanya akan menghasilkan inefisiensi baru. AI memang

potensial, tapi kesuksesan implementasinya bergantung pada kesiapan ekosistem laboratorium secara menyeluruh [23].

3.3 Tantangan Implementasi

Tantangan utama meliputi: (1) kompleksitas sistem IoT, (2) interoperabilitas perangkat, (3) kualitas data, dan (4) kesiapan SDM. Solusi seperti pelatihan staf dan standarisasi data diperlukan untuk keberhasilan implementasi. Mengatasi tantangan ini penting untuk memastikan integrasi teknologi yang efektif, terutama di laboratotium Pendidikan dan riset di Indonesia dengan sumber daya terbatas. Kompleksitas system muncul aakibat interaksi banyak perangkat yang terhubung seperti sensor DHT11 dan NodelMCU yang memerlukan arsitektur danal untuk mengirimkan data lintas perangkat. Di Indonesia, keterbatasan infrastruktur, menambah tantangan ini [24].

Inteoperabilitas juga menjadi kendala karena perangkat dari produsen berbeda seiring tidak kompatibel sehingga menghambat integrasi data. Penggunaan standar terbuka seperti MQTT atau CoAP dapat membantu menciptakan jaringan yang harmonis. selain itu, kualitas data yang rendah akibat minimnya system validasi sensor, dapat menurunkan akurasi prediksi AI. Validasi otomatis Solusi menjadi penting untuk menjaga integritas data [25]. Keterbatasan SDM, khususnya tenaga laboratorium yang belum terlatih dalam pengoperasian IoT dan AI, memperkuat urgennsi pelatihan teknis dan pemanfaatan teknologi berbasis cloud. Untuk itu, disarankan penerapan proyek percontohan dengan platform seperti Raspberry Pi serta pelatihan berkelanjutan dan standarisasi data, guna meningkatkan efisiensi dan produktifitas laboratorium bedaya terbatas [26].

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis literatur, IoT dan AI menunjukkan potensi signifikan dalam pemeliharaan laboratorium. IoT menggunakan sensor seperti DHT11 dan platform seperti Docker untuk pemantauan real-time dan otomatisasi peralatan (Q1). AI menerapkan algoritma pembelajaran mesin untuk prediksi kerusakan dan otomatisasi eksperimen, meningkatkan ketelitian (Q2). teknologi ini meningkatkan efisiensi energi hingga 30%, akurasi hasil, dan produktivitas laboratorium, meskipun

dampak bervariasi berdasarkan konteks (Q3). tantangan utama meliputi kompleksitas sistem, interoperabilitas perangkat, kualitas data, dan kesiapan SDM, yang lebih signifikan di Indonesia karena keterbatasan infrastruktur (Q4).

Institusi sebaiknya memulai dengan proyek percontohan terbatas yang memadukan sistem prediktif berbasis IoT dengan pelatihan staf terstruktur, sebelum mengimplementasikan solusi skala penuh. Laboratorium pendidikan disarankan memulai dengan solusi low-cost berbasis Raspberry Pi/Arduino, sementara laboratorium riset strategis dapat mempertimbangkan sistem terintegrasi seperti yang diimplementasikan di QUEST. Kunci keberhasilan terletak pada penyesuaian solusi teknologi dengan kebutuhan spesifik dan kapasitas institusi.

REFERENCES

- [1] C. Gomez, S. Chessa, A. Fleury, G. Roussos, and D. Preuveneers, "Internet of Things for enabling smart environments: A technology-centric perspective," *J. Ambient Intell. Smart Environ.*, vol. 11, no. 1, pp. 23–43, 2019. DOI 10.3233/AIS-180509 <https://doi.org/10.3233/AIS-180>
- [2] Ștefan Busnatu *et al.*, "Clinical Applications of Artificial Intelligence—An Updated Overview," *J. Clin. Med.*, vol. 11, no. 8, 2022. [10.3390/jcm11082265](https://doi.org/10.3390/jcm11082265)
- [3] Abdul Sakti, "Meningkatkan Pembelajaran Melalui Teknologi Digital," *J. Penelit. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 2, pp. 212–219, 2023. [10.55606/juprit.v2i2.2025](https://doi.org/10.55606/juprit.v2i2.2025)
- [4] M. L. Comeaga, "Digital transformation of the laboratories," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1268, no. 1, p. 012001, 2022. [10.1088/1757-899x/1268/1/012001](https://doi.org/10.1088/1757-899x/1268/1/012001)
- [5] F. S. Arockiasamy, I. Suyambulingam, I. Jenish, D. Divakaran, S. M. Rangappa, and S. Siengchin, "A Comprehensive Review of Real-time Monitoring and Predictive Maintenance Techniques: Revolutionizing Natural Fibre Composite Materials Maintenance with IoT," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 31, no. S1, pp. 87–110, 2023. [10.47836/pjst.31.S1.05](https://doi.org/10.47836/pjst.31.S1.05)
- [6] H. Parhizkar *et al.*, "Journal Pre-proof," *Build. Environ.*, p. 110984, 2023.
- [7] A. Odunayo, "Afropolitan Journals Leveraging Artificial Intelligence (AI) for the Maintenance of Science Laboratory Equipment," vol. 16, no. 1, pp. 131–148, 2024. [10.62154/ajastr.2024.016.010454](https://doi.org/10.62154/ajastr.2024.016.010454)
- [8] D. Peral-García, J. Cruz-Benito, and F. J. García-Peñalvo, "Systematic literature review: Quantum machine learning and its applications," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 51, pp. 1–37, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2024.100619>
- [9] V. Rahmadhani and Widya Arum, "Literature Review Internet of Think (Iot): Sensor, Konektifitas Dan Qr Code," *J. Manaj. Pendidik. Dan Ilmu Sos.*, vol. 3, no. 2, pp. 573–582, 2022. <https://doi.org/10.38035/jmpis.v3i2.1120>
- [10] J. R. Fernandez, Y. T. Prasetyo, S. F. Persada, and A. A. N. Perwira Redi, "Automation of predictive maintenance using internet of things (Iot) technology at university-based o&m project," *Int. J. Inf. Educ. Technol.*, vol. 11, no. 7, pp. 332–336, 2021. [10.18178/ijiet.2021.11.7.1531](https://doi.org/10.18178/ijiet.2021.11.7.1531)
- [11] M. Daradkeh, "Characterizing the Capabilities of Internet of Things Analytics Through Taxonomy and Reference Architecture," *J. Inf. Technol. Res.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–29, 2022. [10.4018/JITR.299929](https://doi.org/10.4018/JITR.299929)
- [12] M. Hasegawa *et al.*, "Predictive maintenance and safety operation by device integration on the QUEST large experimental device," *Heliyon*, vol. 6, no. 6, p. e04214, 2020. [10.1016/j.heliyon.2020.e04214](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04214)
- [13] Lofandri, W. (2023). Analisis Predictive Maintenance Peralatan Lab Berbasis Machine Learning. *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, 22-26. <https://doi.org/10.37034/jsisfotek.v5i1.164>
- [14] Amruta N. Banagar and Rajshankar Khattar, "IoT based Smart Laboratory System," *Int. J. Eng. Res.*, vol. V9, no. 01, pp. 315–318, 2020. [10.17577/IJERTV9IS010178](https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS010178)
- [15] S. Alam, S. Lestari, A. K. Fauziyyah, and D. Dzulfikar, "Implementasi Docker Container untuk Sistem

- Monitoring dan Pengontrolan Peralatan Listrik di Laboratorium Cerdas," *JELIKU J. Elektron. Ilmu Komput. Udayana*, vol. 12, no. 3, p. 697, 2024. <https://doi.org/10.24843/JLK.2023.v12.i03.p25>
- [16] M. Yusuf, M. Sodik, S. Darussalam, K. Nganjuk, and U. Blitar, "Penggunaan Teknologi Internet of Things (Iot) Dalam Pengelolaan Fasilitas Dan Infrastruktur Lembaga Pendidikan Islam," *Prophet. J. Kaji. Keislam.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–18, 2023. <https://doi.org/10.26533/prophetik.v1i2.3233>
- [17] O. Okusi, "Leveraging AI and Machine Learning for the Protection of Critical National Infrastructure," vol. 17, no. 10, pp. 1–11, 2024. [10.9734/ajrcos/2024/v17i10505](https://doi.org/10.9734/ajrcos/2024/v17i10505)
- [18] D. H. Alabdali *et al.*, "Advancing Laboratory Medicine: A Review of Emerging Technologies and Their Impact on Diagnostic Accuracy and Efficiency," *J. Ecohumanism*, vol. 3, no. 8, pp. 1699–1703, 2024. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.4856>
- [19] O. Ardon and R. L. Schmidt, "Clinical laboratory employees attitude toward artificial intelligence," *Lab Med.*, vol. 51, no. 6, pp. 649–654, 2021. <https://doi.org/10.1093/labmed/lmaa023>
- [20] D. Cardoso and L. Ferreira, "Application of predictive maintenance concepts using artificial intelligence tools," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–18, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11010018>
- [21] P. L. Day *et al.*, "Artificial Intelligence for Kidney Stone Spectra Analysis: Using Artificial Intelligence Algorithms for Quality Assurance in the Clinical Laboratory," *Mayo Clin. Proc. Digit. Heal.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.mcpdig.2023.01.001>
- [22] K. Marlin *et al.*, "Manfaat dan Tantangan Penggunaan Artificial Intelligences (AI) Chat GPT Terhadap Proses Pendidikan Etika dan Kompetensi Mahasiswa Di Perguruan Tinggi," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 5192–5201, 2023.
- [23] P. T. Elektro, F. Teknik, and U. N. Medan, "Studi Dampak Penerapan Teknologi Artificial Intelligence terhadap Pemahaman Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Elektro di Universitas Negeri Medan," vol. 2, no. December, pp. 66–71, 2024. [10.5281/zenodo.14460755](https://doi.org/10.5281/zenodo.14460755).
- [24] E. Cavalcante, M. P. Alves, T. Batista, F. C. Delicato, and P. F. Pires, "An analysis of reference architectures for the internet of things," *CobRA 2015 - Proc. 1st Int. Work. Explor. Component-Based Tech. Constr. Ref. Archit. Part CompArch 2015*, pp. 13–16, 2015. [10.1145/2755567.2755569](https://doi.org/10.1145/2755567.2755569)
- [25] Q. Sholihah, D. Hardiningtyas, S. Adriansyah Hulukati, and W. Kuncoro, "Implementation of Internet Safety and Health Monitoring (K3) based on Internet of Things (IoT)," *Int. J. Heal. Pharm.*, vol. 4, no. 1, pp. 190–195, 2024. [10.51601/ijhp.v4i1.252](https://doi.org/10.51601/ijhp.v4i1.252)
- [26] K. R. Prakash, M. S. Santhosh, G. K. Purushothama, and M. V. Ramya, "An approach to convert conventional laboratories into IoT-enabled laboratories," *Int. J. Web-Based Learn. Teach. Technol.*, vol. 16, no. 5, pp. 108–120, 2021. [10.4018/IJWLTT.20210901.oa6](https://doi.org/10.4018/IJWLTT.20210901.oa6)