

PEMANFAATAN *INTERNET OF THINGS* (IOT) UNTUK MONITORING LIMBAH CAIR SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN BAGI SISWA SMK CITRA NEGARA

Rifqi Fuadi Hasani^{1)*}, Toto Supriyanto²⁾, Shita Fitria Nurjihan³⁾, Sri Danaryan⁴⁾, Benny Nixon⁵⁾, Yenniwarti Rafsyam⁶⁾, Anik Tjandra Setiati⁷⁾, Hana Kamila Adiningtyas⁸⁾, Dita Indra Febryanti⁹⁾, Irwan Prasetya¹⁰⁾, Ainnur Rahayu Pratiwi¹¹⁾

Politeknik Negeri Jakarta

¹⁾rifqi.fuadihasani@elektro.pnj.ac.id, ²⁾toto.supriyanto@elektro.pnj.ac.id,
³⁾shita.fitrianurjihan@elektro.pnj.ac.id, ⁴⁾sri.danaryani@elektro.pnj.ac.id,
⁵⁾benix@elektro.pnj.ac.id, ⁶⁾yenniwarti.rafsyam@elektro.pnj.ac.id,
⁷⁾anik.tjandrasetiati@elektro.pnj.ac.id, ⁸⁾hana.kamila.adiningtyas@elektro.pnj.ac.id,
⁹⁾dita.febryanti@elektro.pnj.ac.id, ¹⁰⁾irwan.prasetya@elektro.pnj.ac.id,
¹¹⁾ainnur.rahayupratiwi@lecturer.pnj.ac.id

Histori artikel

Received:
06 September 2025

Accepted:
24 Februari 2026

Published:
28 Februari 2026

Abstrak

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong berbagai inovasi dalam pemantauan lingkungan secara real-time. Namun, implementasi teknologi tersebut dalam pembelajaran di sekolah kejuruan masih terbatas karena kurangnya perangkat praktikum yang aplikatif dan kontekstual. Kondisi ini juga ditemukan pada siswa SMK Citra Negara yang belum memiliki pengalaman langsung dalam memanfaatkan teknologi IoT untuk pemantauan kualitas lingkungan. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan training kit berbasis IoT sebagai media pembelajaran dalam monitoring kualitas limbah cair bagi siswa SMK. Mitra kegiatan adalah siswa SMK Citra Negara. Kegiatan dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pelatihan, tahap implementasi, serta tahap evaluasi untuk menilai efektivitas program. Sistem monitoring yang dikembangkan memanfaatkan beberapa sensor, antara lain sensor suhu dan kelembapan (DHT22), sensor kekeruhan air (TS-300B), sensor gas amonia (MQ-135), sensor gas LPG (MQ-5), serta sensor pH (pH-4502C) yang mampu mengirimkan data secara real-time. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa siswa memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai konsep Internet of Things dan penerapannya dalam pemantauan kualitas limbah cair. Training kit yang dikembangkan mampu menampilkan serta mengirimkan data secara real-time melalui aplikasi, sehingga memberikan pengalaman belajar yang praktis dan aplikatif bagi siswa. Dengan demikian, pemanfaatan IoT dalam monitoring limbah cair dapat menjadi media pembelajaran inovatif yang mendukung penguatan kompetensi teknologi siswa SMK sekaligus meningkatkan kesadaran terhadap pengelolaan lingkungan berbasis teknologi.

Kata-Kata Kunci: Internet of Things; Limbah Cair; Media Pembelajaran; Monitoring Lingkungan; Training Kit

* Corresponding author: Rifqi Fuadi Hasani (rifqi.fuadihasani@elektro.pnj.ac.id)

Abstract. The development of Internet of Things (IoT) technology has driven various innovations in real-time environmental monitoring. However, its implementation in vocational school learning remains limited due to the lack of practical and contextually relevant training devices. This condition was also observed among students at Citra Negara Vocational High School (SMK Citra Negara), who had limited hands-on experience in utilizing IoT technology for environmental quality monitoring. Therefore, this community service program aimed to develop and implement an IoT-based training kit as a learning medium for monitoring wastewater quality among vocational high school students. The program involved students from SMK Citra Negara as its participants. The activities were conducted through several stages, including preparation, training, implementation, and evaluation to assess the effectiveness of the program. The developed monitoring system utilized multiple sensors, including a temperature and humidity sensor (DHT22), a water turbidity sensor (TS-300B), an ammonia gas sensor (MQ-135), an LPG gas sensor (MQ-5), and a pH sensor (pH-4502C), all of which were capable of transmitting real-time data. The results demonstrated that the students gained a better understanding of the Internet of Things concept and its application in wastewater quality monitoring. The developed training kit was able to display and transmit real-time data through a mobile application, providing students with practical and hands-on learning experiences. Therefore, the utilization of IoT technology for wastewater monitoring can serve as an innovative learning medium that strengthens vocational students' technological competencies while enhancing their awareness of technology-based environmental management.

Keywords: Internet of Things; Wastewater; Learning Media; Environmental Monitoring; Training Kit

PENDAHULUAN

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) telah menjadi salah satu pendorong utama transformasi digital di berbagai sektor karena kemampuannya menghubungkan perangkat fisik dengan jaringan internet sehingga memungkinkan pengumpulan, pengiriman, dan analisis data secara real-time. Jumlah perangkat IoT di dunia diperkirakan mencapai 18,8 miliar pada tahun 2024 dan terus meningkat seiring berkembangnya kebutuhan otomatisasi dan sistem cerdas (Sinha, 2024). Peningkatan ini didukung pula oleh pesatnya transformasi digital dan pertumbuhan penggunaan internet di berbagai negara, termasuk Indonesia (Statista, 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penguasaan teknologi IoT menjadi kompetensi penting yang perlu dipersiapkan melalui dunia pendidikan.

Pemanfaatan IoT saat ini telah diterapkan secara luas pada berbagai bidang, seperti pertanian cerdas, industri, kesehatan, serta pemantauan lingkungan. Integrasi berbagai sensor dengan jaringan internet memungkinkan proses monitoring berlangsung secara otomatis, berkelanjutan, dan menghasilkan data yang dapat diakses dari berbagai lokasi. Pada bidang lingkungan, teknologi IoT mampu meningkatkan efisiensi pemantauan berbagai parameter fisik maupun kimia sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat (Chong et al., 2023; Ramadhani et al., 2025). Perkembangan tersebut menjadikan IoT sebagai salah satu teknologi yang relevan untuk diperkenalkan kepada peserta didik melalui pembelajaran berbasis praktik.

Salah satu implementasi IoT yang berkembang pesat adalah sistem pemantauan kualitas air dan limbah cair secara real-time. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor pH, suhu, kekeruhan, dan sensor lingkungan lainnya dengan platform IoT mampu menghasilkan sistem monitoring yang lebih efektif dibandingkan metode konvensional karena

data dapat dikirim dan dianalisis secara langsung melalui jaringan internet (Zhang et al., 2021; Forhad et al., 2024; Bandara et al., 2025). Selain meningkatkan efisiensi pemantauan, teknologi tersebut juga mendukung upaya pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

Pentingnya pemantauan kualitas lingkungan juga semakin meningkat seiring dengan bertambahnya berbagai permasalahan pencemaran air dan udara. Perkembangan teknologi sensor berbasis IoT memungkinkan pengukuran berbagai parameter lingkungan, seperti suhu, kelembapan, kualitas udara, konsentrasi gas, dan kualitas air secara simultan dengan tingkat akurasi yang baik. Sistem multisensor tersebut memberikan informasi kondisi lingkungan secara real-time sehingga dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan maupun tindakan mitigasi pencemaran (Essamlali et al., 2024; Kondeti et al., 2025).

Di Indonesia, pemerintah telah mendorong pemanfaatan teknologi digital dalam pengawasan kualitas lingkungan melalui penerapan Sistem Pemantauan Kualitas Air Limbah Secara Terus-Menerus dan Dalam Jaringan (SPARING). Sistem ini diwajibkan pada berbagai sektor industri untuk memantau parameter kualitas limbah cair secara otomatis menggunakan sensor yang terhubung dengan jaringan internet sesuai ketentuan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2024). Sensor yang digunakan umumnya meliputi sensor pH, suhu, kekeruhan, dan parameter lainnya yang mampu mengirimkan data secara daring sehingga memudahkan proses pengawasan kualitas limbah cair (Oktavia, 2024).

Meskipun teknologi IoT berkembang sangat pesat di dunia industri, implementasinya dalam proses pembelajaran di sekolah menengah kejuruan masih relatif terbatas. Pembelajaran IoT umumnya masih berorientasi pada teori, sedangkan media praktikum yang mampu menggambarkan penerapan teknologi secara kontekstual belum banyak tersedia. Akibatnya, peserta didik belum memperoleh pengalaman belajar yang memadai dalam merancang maupun mengoperasikan sistem monitoring berbasis IoT yang sesuai dengan kebutuhan dunia kerja.

Kondisi tersebut juga ditemukan pada siswa SMK Citra Negara yang belum memiliki media pembelajaran berbasis IoT untuk praktik pemantauan kualitas limbah cair. Padahal, sebagai sekolah kejuruan, peserta didik perlu dibekali keterampilan teknis yang sesuai dengan perkembangan teknologi industri, khususnya dalam bidang otomasi, instrumentasi, dan monitoring lingkungan. Pengembangan training kit berbasis IoT diharapkan mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih autentik melalui kegiatan pengukuran, pengamatan, dan analisis data secara langsung menggunakan berbagai sensor lingkungan.

Berdasarkan kondisi tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan mengembangkan sekaligus mengimplementasikan training kit Internet of Things (IoT) sebagai

media pembelajaran monitoring limbah cair bagi siswa SMK Citra Negara. Training kit yang dikembangkan memanfaatkan sensor suhu dan kelembapan (DHT22), sensor kekeruhan air (TS-300B), sensor gas amonia (MQ-135), sensor gas LPG (MQ-5), dan sensor pH (pH-4502C) yang terintegrasi dalam sistem monitoring berbasis internet. Melalui kegiatan ini diharapkan siswa memperoleh pengalaman belajar yang lebih aplikatif, meningkatkan kompetensi dalam pemanfaatan teknologi IoT, serta menumbuhkan kesadaran terhadap pentingnya pengelolaan lingkungan berbasis teknologi.

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di SMK Citra Negara dengan mitra kegiatan adalah siswa yang mengikuti pelatihan pemanfaatan Internet of Things (IoT) untuk monitoring limbah cair. Tujuan kegiatan ini adalah mengembangkan dan mengimplementasikan training kit berbasis IoT sebagai media pembelajaran yang dapat meningkatkan pemahaman serta keterampilan siswa dalam menerapkan teknologi sensor untuk pemantauan kualitas lingkungan secara real-time.

Metode pelaksanaan mengadopsi pendekatan Research and Development (R&D) menggunakan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). Model ini dipilih karena mampu menghasilkan produk pembelajaran yang dikembangkan berdasarkan kebutuhan pengguna melalui tahapan analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi secara sistematis (Waruwu, 2024). Training kit yang dikembangkan memanfaatkan sensor suhu dan kelembapan (DHT22), sensor kekeruhan air (TS-300B), sensor gas amonia (MQ-135), sensor gas LPG (MQ-5), serta sensor pH (pH-4502C) yang terintegrasi dengan sistem Internet of Things sehingga mampu menampilkan dan mengirimkan data hasil pengukuran secara real-time.

Tahapan kegiatan dilaksanakan sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan

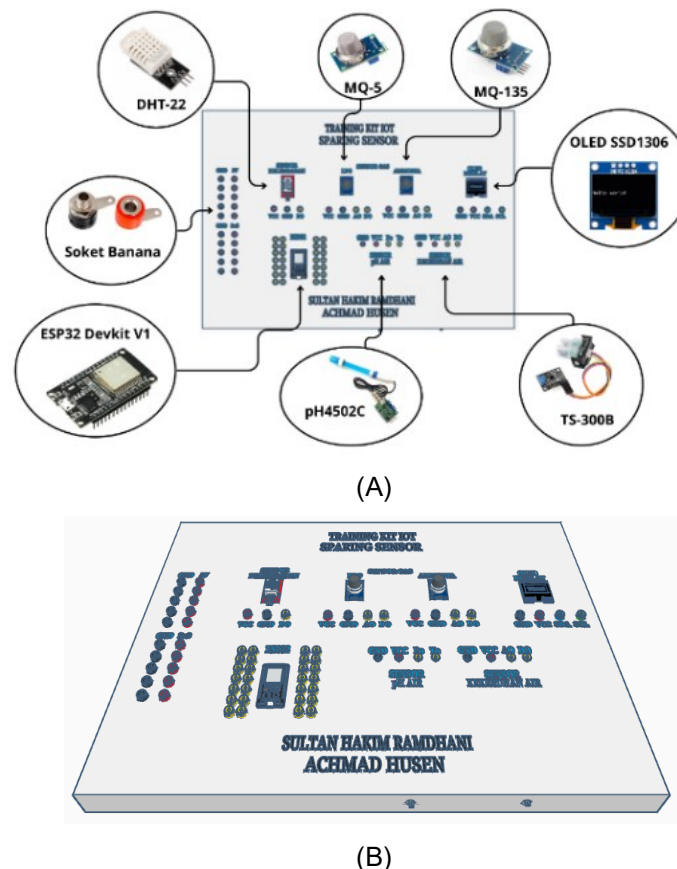
Tahap ini diawali dengan survei lokasi mitra, observasi kondisi pembelajaran, wawancara dengan guru, serta diskusi bersama pihak sekolah untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran IoT dan menentukan spesifikasi training kit yang sesuai dengan kompetensi siswa.

2. Tahap Analisis dan Perancangan

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan, dilakukan analisis materi pembelajaran, perancangan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software), serta penyusunan desain training kit berbasis IoT yang mengintegrasikan berbagai sensor lingkungan. Pada tahap ini juga disusun modul pelatihan sebagai panduan penggunaan alat.

3. Tahap Pengembangan dan Implementasi

Training kit kemudian dirakit, diuji, dan diimplementasikan dalam kegiatan pelatihan kepada siswa SMK Citra Negara. Pelatihan meliputi pengenalan konsep Internet of Things, fungsi setiap sensor, proses akuisisi data, pengiriman data melalui jaringan internet, serta praktik monitoring kualitas limbah cair menggunakan training kit. Parameter yang diamati meliputi suhu dan kelembapan udara menggunakan sensor DHT22, tingkat kekeruhan air menggunakan sensor TS-300B dalam satuan Nephelometric Turbidity Unit (NTU), konsentrasi gas amonia menggunakan sensor MQ-135 dalam satuan parts per million (ppm), konsentrasi gas LPG menggunakan sensor MQ-5 dalam satuan ppm, serta tingkat keasaman (pH) menggunakan sensor pH-4502C. Ilustrasi training kit ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 (A) (B). Ilustrasi Training Kit

4. Tahap Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui efektivitas pelaksanaan kegiatan dan tingkat pemahaman siswa setelah mengikuti pelatihan. Penilaian dilakukan melalui observasi selama praktik, diskusi bersama mitra, serta penyebaran kuesioner menggunakan Google Form untuk memperoleh tanggapan terhadap materi pelatihan, kemudahan penggunaan

training kit, dan manfaat kegiatan bagi peningkatan kompetensi siswa. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar penyempurnaan training kit dan pelaksanaan program pengabdian pada kegiatan berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan sesuai dengan tahapan yang telah dirancang pada metode pelaksanaan, yaitu tahap persiapan, tahap analisis dan perancangan, tahap pengembangan dan implementasi, serta tahap evaluasi. Setiap tahapan bertujuan untuk memastikan bahwa training kit berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga mampu mendukung proses pembelajaran yang kontekstual dan aplikatif bagi siswa SMK Citra Negara. Hasil pelaksanaan kegiatan pada setiap tahapan diuraikan sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan diawali dengan observasi dan diskusi bersama pihak SMK Citra Negara untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran terkait Internet of Things (IoT). Hasil identifikasi menunjukkan bahwa pembelajaran IoT di sekolah masih didominasi penyampaian konsep secara teoritis, sedangkan media praktikum yang dapat memperlihatkan penerapan teknologi IoT pada monitoring lingkungan masih sangat terbatas. Berdasarkan hasil diskusi tersebut, disepakati pengembangan training kit berbasis IoT yang mampu memonitor beberapa parameter kualitas lingkungan secara real-time sebagai media pembelajaran yang lebih kontekstual.

2. Tahap Analisis dan Perancangan

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, dikembangkan sebuah training kit berbasis Internet of Things yang mengintegrasikan sensor suhu dan kelembapan (DHT22), sensor kekeruhan air (TS-300B), sensor gas amonia (MQ-135), sensor gas LPG (MQ-5), serta sensor pH (pH-4502C). Seluruh sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler dan sistem komunikasi berbasis internet sehingga data hasil pengukuran dapat ditampilkan secara real-time melalui aplikasi Android.

Sebelum digunakan dalam kegiatan pelatihan, training kit terlebih dahulu melalui tahap pengujian untuk memastikan seluruh komponen bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan pada masing-masing sensor dengan memberikan variasi kondisi sesuai parameter yang diukur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor mampu merespons perubahan kondisi secara cepat dan menghasilkan data yang stabil sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran. Training kit yang telah dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Training Kit IoT

3. Tahap Pengembangan dan Implementasi

Training kit yang telah dikembangkan kemudian diimplementasikan melalui kegiatan pelatihan kepada siswa SMK Citra Negara. Kegiatan diawali dengan penyampaian materi mengenai konsep dasar Internet of Things, pengenalan fungsi setiap sensor, serta mekanisme pengiriman data secara real-time. Selanjutnya, siswa melakukan praktik menggunakan training kit untuk mengamati parameter suhu, kelembapan, pH, kekeruhan air, konsentrasi gas amonia, dan gas LPG yang ditampilkan melalui aplikasi Android.

Selama kegiatan berlangsung, siswa menunjukkan antusiasme yang tinggi dalam mengoperasikan perangkat serta melakukan pengamatan terhadap data hasil monitoring secara langsung. Pengalaman praktik tersebut membantu siswa memahami hubungan antara sensor, sistem komunikasi data, dan aplikasi IoT dalam pemantauan kualitas lingkungan. Selain meningkatkan pemahaman konsep, kegiatan ini juga memberikan pengalaman belajar yang lebih aktif dan kontekstual sesuai dengan kebutuhan dunia industri. Dokumentasi kegiatan pelatihan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pelaksanaan Pelatihan

4. Tahap Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui efektivitas pelaksanaan kegiatan pengabdian serta tingkat penerimaan peserta terhadap training kit yang dikembangkan. Evaluasi dilaksanakan melalui observasi selama kegiatan berlangsung, diskusi bersama guru dan siswa, serta penyebaran angket menggunakan Google Form setelah seluruh rangkaian pelatihan selesai dilaksanakan.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa peserta memberikan tanggapan yang sangat positif terhadap kegiatan yang telah dilaksanakan. Sebagian besar siswa menyatakan bahwa materi pelatihan mudah dipahami, training kit mudah digunakan, serta mampu meningkatkan pemahaman mengenai konsep Internet of Things dan penerapannya dalam monitoring limbah cair. Ringkasan hasil evaluasi peserta disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Pelaksanaan Kegiatan

No.	Aspek yang Dinilai	Persentase Respon Positif (%)
1	Materi pelatihan mudah dipahami	94
2	Training kit mudah digunakan	91
3	Tampilan aplikasi mudah dipahami	90
4	Pemahaman mengenai Internet of Things meningkat	96
5	Pemahaman mengenai monitoring limbah cair meningkat	94
6	Kegiatan pelatihan menarik dan interaktif	95
7	Training kit mendukung pembelajaran praktik di sekolah	96
8	Peserta merasa termotivasi mempelajari IoT lebih lanjut	93
Rata-rata	Tingkat kepuasan peserta	93,6

Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, dapat diketahui bahwa pelaksanaan kegiatan memperoleh respons yang sangat baik dengan rata-rata tingkat kepuasan peserta sebesar 93,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa training kit berbasis Internet of Things yang dikembangkan mampu menjadi media pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan pemahaman siswa mengenai teknologi sensor dan monitoring limbah cair secara real-time. Selain itu, kegiatan ini juga memberikan pengalaman belajar yang lebih aplikatif sehingga diharapkan dapat mendukung peningkatan kompetensi siswa SMK dalam menghadapi perkembangan teknologi di dunia industri.

Pembahasan

Pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat menunjukkan bahwa training kit berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan mampu berfungsi dengan baik sebagai media pembelajaran sekaligus sebagai perangkat monitoring limbah cair secara real-time. Integrasi sensor DHT22, TS-300B, MQ-135, MQ-5, dan pH-4502C memungkinkan siswa mengamati berbagai parameter lingkungan secara langsung melalui aplikasi Android. Media pembelajaran berbasis IoT seperti ini memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual karena peserta didik tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mengamati proses akuisisi, transmisi, dan visualisasi data secara langsung. Temuan ini sejalan dengan Danang (2024) yang menyatakan bahwa teknologi IoT memungkinkan proses monitoring kualitas lingkungan dilakukan secara real-time sehingga meningkatkan efektivitas pengumpulan data. Selain itu, Dewangga et al. (2024) menjelaskan bahwa integrasi sensor lingkungan dengan sistem IoT mampu mendukung proses pembelajaran yang lebih aplikatif melalui praktik langsung.

Keberhasilan pengembangan training kit menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis IoT mampu menjembatani kesenjangan antara materi yang dipelajari di sekolah dengan perkembangan teknologi yang digunakan di dunia industri. Selama pelatihan, siswa memperoleh pengalaman dalam menghubungkan sensor, membaca hasil pengukuran, serta memahami mekanisme komunikasi data melalui jaringan internet. Pengalaman tersebut menjadi bekal penting bagi siswa SMK dalam menghadapi kebutuhan kompetensi pada era Industri 4.0 yang menuntut penguasaan teknologi digital dan otomasi. Hasil ini didukung oleh penelitian Nugroho et al. (2025) yang menunjukkan bahwa penggunaan sensor DHT22 berbasis IoT memberikan kemudahan dalam proses monitoring lingkungan secara otomatis, sedangkan Dewangga et al. (2024) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis perangkat IoT mampu meningkatkan kompetensi teknis peserta didik dalam bidang instrumentasi dan sistem monitoring.

Penggunaan beberapa sensor dalam satu training kit memberikan pengalaman belajar yang lebih komprehensif karena siswa dapat mempelajari karakteristik masing-masing parameter lingkungan secara bersamaan. Sensor DHT22 digunakan untuk memonitor suhu dan kelembapan udara, sensor TS-300B mengukur tingkat kekeruhan air, sensor MQ-135 mendeteksi gas amonia, sensor MQ-5 mendeteksi gas LPG, sedangkan sensor pH-4502C digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman air. Integrasi multisensor tersebut menghasilkan informasi lingkungan yang lebih lengkap dibandingkan penggunaan satu jenis sensor saja. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ramadhani et al. (2025) yang menyatakan bahwa sistem monitoring berbasis multisensor mampu meningkatkan akurasi dan kelengkapan data

lingkungan. Demikian pula Bandara et al. (2025) menjelaskan bahwa integrasi berbagai sensor pada sistem monitoring memberikan informasi yang lebih komprehensif sehingga mendukung proses pengambilan keputusan secara cepat dan tepat.

Keunggulan lain dari training kit yang dikembangkan adalah kemampuannya menampilkan hasil pengukuran secara real-time melalui aplikasi Android. Visualisasi data secara langsung memudahkan siswa menghubungkan perubahan kondisi lingkungan dengan nilai yang ditampilkan pada sensor sehingga proses pembelajaran menjadi lebih interaktif. Melalui sistem ini siswa dapat mengamati perubahan parameter tanpa harus melakukan pengukuran secara manual. Temuan ini mendukung hasil penelitian Zhang et al. (2021) yang menjelaskan bahwa integrasi teknologi cloud dan IoT mampu meningkatkan efisiensi monitoring kualitas air secara real-time. Penelitian Forhad et al. (2024) juga menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT memberikan akses data secara cepat sehingga mempermudah proses pengawasan kualitas lingkungan.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa peserta memberikan respons yang sangat positif terhadap kegiatan yang telah dilaksanakan dengan rata-rata tingkat kepuasan mencapai **93,6%**. Tingginya tingkat kepuasan tersebut menunjukkan bahwa training kit mudah digunakan, materi pelatihan mudah dipahami, serta mampu meningkatkan pemahaman siswa mengenai konsep Internet of Things dan monitoring limbah cair. Respon positif ini menunjukkan bahwa media pembelajaran yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan peserta didik dalam memperoleh pengalaman belajar berbasis praktik. Temuan tersebut sejalan dengan Rojas et al. (2025) yang menyatakan bahwa penggunaan sistem monitoring berbasis sensor dalam pembelajaran mampu meningkatkan pemahaman pengguna terhadap kondisi lingkungan melalui visualisasi data secara langsung. Selain itu, Essamlali et al. (2024) menjelaskan bahwa penerapan teknologi IoT dalam bidang monitoring lingkungan memberikan manfaat tidak hanya pada aspek teknis, tetapi juga sebagai media edukasi untuk meningkatkan literasi teknologi dan kesadaran lingkungan.

Kegiatan pelatihan juga memberikan kesempatan kepada siswa untuk menerapkan pendekatan pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) melalui praktik pengoperasian training kit, pengamatan data hasil sensor, serta diskusi mengenai pemanfaatan teknologi IoT dalam penyelesaian permasalahan lingkungan. Kegiatan tersebut mendorong siswa untuk berpikir kritis, bekerja sama dalam kelompok, serta menghubungkan konsep yang dipelajari dengan kondisi nyata di lapangan. Pembelajaran berbasis praktik seperti ini terbukti mampu meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan kompetensi teknologi peserta didik. Hasil ini didukung oleh Chong et al. (2023) yang menyatakan bahwa implementasi IoT dalam pembelajaran memberikan pengalaman belajar yang lebih autentik melalui eksplorasi

data lingkungan secara langsung. Ramadhani et al. (2025) juga menegaskan bahwa sistem monitoring berbasis IoT dapat menjadi media pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan keterampilan analitis dan pemecahan masalah peserta didik.

Selain meningkatkan kompetensi teknologi, kegiatan ini juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan kesadaran siswa mengenai pentingnya pengelolaan lingkungan. Melalui pengamatan terhadap parameter pH, suhu, kekeruhan, kelembapan, dan konsentrasi gas, siswa memperoleh pemahaman mengenai indikator kualitas lingkungan serta pentingnya pemantauan limbah cair secara berkelanjutan. Pengalaman tersebut diharapkan mampu membentuk kepedulian siswa terhadap pengelolaan lingkungan berbasis teknologi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Mashuri et al. (2021) yang menunjukkan bahwa teknologi IoT efektif digunakan dalam pemantauan kualitas lingkungan secara berkelanjutan. Sementara itu, Sasmoko et al. (2022) dan Muttaqin et al. (2024) menjelaskan bahwa pemanfaatan sensor lingkungan berbasis IoT memberikan informasi kondisi lingkungan secara cepat sehingga mendukung pengendalian pencemaran dan pengambilan keputusan.

Meskipun kegiatan pengabdian ini menunjukkan hasil yang baik, masih terdapat beberapa keterbatasan yang perlu menjadi perhatian. Training kit yang dikembangkan masih difokuskan sebagai media pembelajaran sehingga pengujian dilakukan dalam skala laboratorium dan belum diterapkan pada sistem pengolahan limbah yang beroperasi secara kontinu. Selain itu, parameter yang dimonitor masih terbatas pada suhu, kelembapan, pH, kekeruhan, serta konsentrasi gas sehingga belum mencakup parameter kualitas air lainnya seperti *dissolved oxygen* (DO), *total dissolved solids* (TDS), maupun *chemical oxygen demand* (COD). Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut diperlukan agar sistem dapat diterapkan pada skala yang lebih luas. Rojas et al. (2025) menekankan bahwa pengembangan sistem monitoring lingkungan berbasis IoT perlu diarahkan pada integrasi parameter yang lebih lengkap, sedangkan Bandara et al. (2025) merekomendasikan pengembangan sistem monitoring yang mampu mendukung pengambilan keputusan secara lebih komprehensif.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini berhasil menghasilkan training kit berbasis Internet of Things yang mampu mendukung pembelajaran praktik di SMK Citra Negara. Integrasi berbagai sensor lingkungan, sistem komunikasi data secara real-time, dan aplikasi Android memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual serta sesuai dengan perkembangan teknologi digital. Training kit yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran, tetapi juga berpotensi menjadi model pembelajaran inovatif yang dapat direplikasi di sekolah kejuruan lainnya. Ke depan, sistem ini dapat dikembangkan melalui integrasi dashboard berbasis web, penyimpanan data berbasis cloud, penambahan parameter kualitas lingkungan, maupun penggunaan teknologi komunikasi jarak jauh seperti LoRa

sehingga implementasinya semakin mendekati kebutuhan dunia industri modern (Essamlali et al., 2024; Forhad et al., 2024).

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan training kit berbasis Internet of Things (IoT) sebagai media pembelajaran monitoring limbah cair bagi siswa SMK Citra Negara. Training kit yang mengintegrasikan sensor suhu dan kelembapan (DHT22), sensor kekeruhan air (TS-300B), sensor gas amonia (MQ-135), sensor gas LPG (MQ-5), dan sensor pH (pH-4502C) mampu memantau berbagai parameter lingkungan secara real-time melalui aplikasi Android. Hasil pelaksanaan menunjukkan bahwa training kit berfungsi dengan baik sebagai media pembelajaran praktis yang membantu siswa memahami konsep IoT, sistem monitoring lingkungan, serta penerapan teknologi sensor dalam pemantauan limbah cair.

Berdasarkan hasil evaluasi, kegiatan ini memperoleh respons yang sangat baik dengan tingkat kepuasan peserta rata-rata sebesar 93,6%, yang menunjukkan bahwa training kit mudah digunakan, materi pelatihan mudah dipahami, dan mampu meningkatkan pemahaman serta keterampilan siswa dalam pemanfaatan teknologi IoT. Oleh karena itu, training kit yang dikembangkan berpotensi diterapkan secara lebih luas sebagai media pembelajaran inovatif di sekolah kejuruan. Pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada penambahan parameter kualitas lingkungan, integrasi *cloud computing*, serta penggunaan teknologi komunikasi jarak jauh untuk mendukung implementasi pada skala yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Bandara, R. M. P. N. S., Jayasekara, S., & Silva, D. (2025). The integration of IoT sensors in smart water distribution monitoring systems. *Sensors*, 25(6), 1918. <https://doi.org/10.3390/s25061918>
- Chong, J. L., Ong, K. H., & Tan, W. H. (2023). Internet of Things (IoT)-based environmental monitoring system for smart agriculture applications. *Biosensors*, 13(1), 98–112. <https://doi.org/10.3390/bios13010098>
- Forhad, H. M., Rahman, M. S., Islam, M. T., & Hasan, M. M. (2024). IoT-based real-time water quality monitoring system for water treatment plants. *Heliyon*, 10(5), e16777. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e16777>
- Essamlali, I., Benmohamed, M., & Khoukhi, L. (2024). Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A systematic review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(4), 267–283. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12411-2>

- Rojas, J. J. H., Gómez, J. L., & Martínez, P. (2025). Sensors and IoT for water quality monitoring: A systematic literature review (2020–2025). *Journal of Robotics and Control*, 6(1), 45–56. <https://doi.org/10.18196/jrc.v6i1.28457>
- Zhang, Y., Li, Y., & Wang, X. (2021). Real-time water quality monitoring using IoT and cloud computing technologies. *Water Resources Management*, 35(11), 3567–3580. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02896-7>
- Kondeti, A. R., Prakash, R., & Kumar, P. (2025). Real-time air quality and weather monitoring system using IoT sensors. *Engineering Proceedings*, 118(1), 56–64. <https://doi.org/10.3390/engproc2025118056>
- Mashuri, A. A., Nugraha, D., & Pratama, A. (2021). Air quality monitoring system in Semarang City based on IoT technology. *Rekayasa*, 19(2), 154–162. <https://doi.org/10.15294/rekayasa.v19i2.27804>
- Sasmoko, D., Setiawan, A., & Lestari, R. (2022). IoT-based real-time air quality monitoring system using MQ135 sensor. *Journal of Technology and Informatics Engineering*, 7(1), 15–23. <https://doi.org/10.30812/jtie.v7i1.136>
- Ramadhani, D., Putra, F., & Wijaya, A. (2025). Multisensor IoT environmental monitoring system for smart environment applications. *Journal of Electrical and Software Engineering Applications*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.5555/joease.2025.103>
- Nugroho, S. A., Prasetyo, B., & Hidayat, A. (2025). Thermohygrometer monitoring system using DHT22 sensor based on Internet of Things. *Jurnal Informatika dan Komputasi*, 9(1), 21–29. <https://doi.org/10.26798/jik.v9i1.2867>
- Muttaqin, R., Hidayat, M., & Saputra, D. (2024). Rancang bangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things menggunakan NodeMCU ESP32. *Jurnal Pengendalian Lingkungan*, 11(2), 85–94. <https://doi.org/10.14710/jpl.11.2.85-94>
- Danang, D. (2024). Pemanfaatan teknologi Internet of Things untuk monitoring kualitas air secara real-time. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 5(2), 133–140. <https://doi.org/10.33365/jtsi.v5i2.784>
- Dewangga, A., Setiawan, R., & Kurniawan, D. (2024). Development of an Internet of Things-based environmental monitoring system using DHT22 and MQ135 sensors. *Journal of Green Science and Engineering*, 3(1), 25–33. <https://doi.org/10.15294/jgse.v3i1.4688>
- Sinha, S. (2024). *State of IoT 2024: Number of connected IoT devices growing 13% to 18.8 billion globally*. IoT Analytics. <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>
- Statista. (2024). *Digital transformation – Statistics & facts*. Statista Research Department. <https://www.statista.com/topics/6778/digital-transformation>

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2024). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2024 tentang baku mutu air limbah*. Jakarta: KLHK.
- Oktavia, S. (2024). *SPARING KLHK: Mengenal sensor-sensornya*. Impact Labs. <https://impactlabs.id/2024/01/04/sparing-klhk-mengenal-sensor-sensornya/>
- Waruwu, M. (2024). Metode penelitian dan pengembangan (R&D): Konsep, jenis, tahapan dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1222–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.1222>
- Waruwu, M. (2024). Metode penelitian dan pengembangan (R&D): Konsep, jenis, tahapan dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1227–1235. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.1227>