


Penguatan Keterampilan Pemrograman, Konektivitas WiFi-Bluetooth, dan IoT Cloud Menggunakan ESP32

¹⁾L Endah Cahya Ningrum*, ²⁾Meini Sondang Sumbawati, ³⁾Achmad Imam Agung, ⁴⁾Yulia Fransisca

^{1,2,3,4)}Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email Corresponding: endahningrum@unesa.ac.id*

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
Kata Kunci: ESP32 Internet of Things Pemrograman WiFi-Bluetooth Cloud	Siswa di SMK Ketintang Surabaya perlu penguatan dalam penguasaan pemrograman mikrokontroler, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan pemanfaatan Internet of Things cloud dalam pembelajaran, sehingga diperlukan kegiatan pelatihan yang terstruktur, aplikatif, dan sesuai dengan kebutuhan siswa. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mendukung penguatan keterampilan pemrograman, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan Internet of Things cloud menggunakan ESP32 pada 20 siswa Kompetensi Keahlian Teknik Komputer dan Jaringan. Metode pelaksanaan meliputi persiapan materi dan perangkat, pelatihan melalui ceramah, demonstrasi, praktik langsung, pendampingan, dan tugas proyek, serta evaluasi menggunakan angket kepuasan dan lembar observasi keterlaksanaan yang dianalisis secara deskriptif dengan Microsoft Excel. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa rata-rata skor kepuasan peserta mencapai 86,4% dan rata-rata keterlaksanaan pelatihan mencapai 86,1%, yang keduanya berada pada kategori sangat baik. Luaran kegiatan berupa simulator tandon otomatis menunjukkan bahwa pelatihan tidak hanya memperkuat pemahaman peserta, tetapi juga menghasilkan penerapan teknologi yang fungsional dan kontekstual. Kegiatan ini menegaskan bahwa pelatihan berbasis ESP32 merupakan model pengabdian yang efektif untuk mendukung penguatan kompetensi digital-teknis berbasis Internet of Things pada pendidikan vokasi dan relevan untuk dikembangkan secara berkelanjutan.
Keywords: ESP32 Internet of Things programming WiFi-Bluetooth cloud	Students at SMK Ketintang Surabaya still need strengthening in mastering microcontroller programming, WiFi-Bluetooth connectivity, and the utilization of Internet of Things cloud in learning activities, thus requiring a training program that is structured, practical, and aligned with students' needs. This community service activity aimed to support the strengthening of programming skills, WiFi-Bluetooth connectivity, and Internet of Things cloud utilization using ESP32 for 20 students of the Computer and Network Engineering program. The implementation method included the preparation of materials and equipment, training through lectures, demonstrations, hands-on practice, mentoring, and project assignments, as well as evaluation using a satisfaction questionnaire and an implementation observation sheet analyzed descriptively with Microsoft Excel. The results showed that the average participant satisfaction score reached 86.4% and the average training implementation score reached 86.1%, both of which were categorized as very good. The output of the activity in the form of an automatic water tank simulator indicates that the training not only strengthened participants' understanding but also produced a functional and contextual technological application. This activity confirms that ESP32-based training is an effective community service model for supporting the strengthening of Internet of Things-based digital-technical competencies in vocational education and is relevant for sustainable development.
	This is an open access article under the CC-BY-SA license.
	

I. PENDAHULUAN

Perkembangan Internet of Things (IoT) telah menjadi salah satu penggerak utama transformasi digital global pada berbagai sektor, termasuk pendidikan, industri, kesehatan, dan layanan publik. Peningkatan jumlah perangkat yang saling terhubung menunjukkan bahwa teknologi berbasis sensor, komunikasi data, dan komputasi awan semakin menjadi bagian penting dalam kehidupan modern. Dalam konteks ini,

kebutuhan terhadap sumber daya manusia yang mampu memahami pemrograman perangkat, komunikasi nirkabel, dan integrasi sistem digital menjadi semakin mendesak. Pembelajaran IoT tidak hanya mencakup aspek perangkat keras, tetapi juga meliputi protokol komunikasi, layanan digital, dan pengelolaan data (Martin, 2021). Implementasi IoT dalam pembelajaran berpotensi menciptakan pengalaman belajar yang lebih kontekstual, interaktif, dan relevan dengan kebutuhan abad ke-21 (Ghashim & Arshad, 2023). Perkembangan tersebut berimplikasi langsung pada pendidikan vokasi yang memiliki mandat untuk menyiapkan siswa agar mampu beradaptasi dengan kebutuhan dunia kerja yang terus berubah. Pendidikan vokasi dituntut untuk tidak hanya menekankan penguasaan teori, tetapi juga membangun kompetensi praktis yang sesuai dengan perkembangan teknologi industri. Salah satu tantangan utama pendidikan vokasi di Indonesia adalah kesenjangan antara kompetensi lulusan dan kebutuhan dunia kerja (Suharno dkk., 2020). Sejalan dengan itu, penguatan pendidikan vokasi merupakan bagian strategis dalam pembangunan human capital nasional (Indrawati & Kuncoro, 2021). Sehingga integrasi teknologi IoT dalam pembelajaran vokasional menjadi relevan karena mampu menjembatani kebutuhan antara penguasaan keterampilan teknis dan kesiapan kerja siswa.

Salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem IoT adalah ESP32. Perangkat ini memiliki keunggulan dalam bentuk kemampuan pemrosesan yang memadai, dukungan konektivitas WiFi dan Bluetooth yang terintegrasi, serta kompatibilitas dengan berbagai lingkungan pemrograman dan platform cloud. ESP32 merupakan perangkat yang efektif untuk pembelajaran IoT karena memungkinkan siswa memahami pemrograman, koneksi perangkat, dan implementasi simulator secara terpadu (Hercog dkk., 2023). ESP32 memiliki performa yang cukup baik dalam sistem jaringan sensor waktu nyata (Espinosa-Gavira dkk., 2024). Karakteristik tersebut menjadikan ESP32 sebagai media pembelajaran yang sesuai untuk mengembangkan keterampilan pemrograman dan komunikasi data pada bidang pendidikan teknik dan vokasi. Secara teoretis, pembelajaran berbasis ESP32 dapat dijelaskan melalui perspektif experiential learning dan Project-Based Learning (PjBL). Pendekatan ini menempatkan siswa sebagai subjek aktif yang belajar melalui pengalaman langsung dalam merancang, menguji, dan mengevaluasi suatu produk atau sistem. PjBL dalam pendidikan teknik memberikan ruang bagi siswa untuk mengembangkan keterampilan pemecahan masalah, kolaborasi, dan penerapan konsep secara nyata (Chen dkk., 2021). Pendekatan berbasis proyek efektif dalam membangun keterkaitan antara teori dan praktik pada pendidikan teknik (Lavado-Anguera dkk., 2024). Dalam konteks pelatihan ESP32, pendekatan tersebut menjadi relevan karena penguasaan pemrograman, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan IoT cloud menuntut pembelajaran yang bersifat aplikatif, bertahap, dan berbasis pengalaman langsung. Keterampilan pemrograman dalam kajian ini dipahami sebagai kemampuan siswa dalam menulis, memahami, menguji, dan memperbaiki kode program untuk mengendalikan perangkat berbasis mikrokontroler. Konektivitas WiFi-Bluetooth dipahami sebagai kemampuan sistem untuk melakukan komunikasi data secara nirkabel, baik melalui jaringan lokal maupun komunikasi jarak dekat antarpiranti. Sementara itu, IoT cloud merujuk pada pemanfaatan layanan berbasis internet untuk penyimpanan, pemantauan, visualisasi, dan pengendalian data perangkat secara daring. Kompetensi IoT pada dasarnya mencakup integrasi antara perangkat, jaringan komunikasi, dan layanan data digital (Hercog dkk., 2023). Integrasi IoT dalam pembelajaran menuntut pemahaman yang utuh terhadap relasi antara perangkat fisik dan ekosistem digital yang mendukungnya (Spaho dkk., 2025).

Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam pembelajaran memberikan dampak positif terhadap keterlibatan belajar, pemahaman konsep, dan keterampilan teknis siswa. Pembelajaran IoT berkembang melalui penggunaan perangkat nyata, laboratorium jarak jauh, simulator, dan aplikasi digital yang memperkaya pengalaman belajar (Martin, 2021). Perangkat IoT dalam pendidikan memiliki pedagogical affordances yang signifikan, terutama pada aspek keterlibatan, eksplorasi, dan penerapan konsep secara kontekstual (Tsiplanitis dkk., 2025). IoT memungkinkan proses belajar menjadi lebih personal dan autentik (Ghashim & Arshad, 2023). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih membahas integrasi IoT secara umum dan belum secara spesifik memusatkan perhatian pada pengembangan keterampilan pemrograman, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan IoT cloud melalui penggunaan ESP32 dalam konteks pendidikan vokasi. Analisis kritis penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penelitian tentang ESP32 masih lebih banyak difokuskan pada aspek teknis, seperti desain perangkat, pengembangan prototipe, dan evaluasi performa sistem. Hercog dkk. (2023) lebih menekankan pada implementasi perangkat IoT berbasis ESP32 untuk keperluan pembelajaran mekatronika, sedangkan Espinosa-Gavira dkk. (2024) berfokus pada karakterisasi kinerja ESP32 pada jaringan sensor tersinkronisasi. Pada sisi lain, penelitian

pendidikan vokasi cenderung menyoroti aspek kesiapan kerja, literasi digital, dan employability skills melalui pendekatan survei atau analisis model struktural. Keterampilan digital memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kesiapan kerja lulusan pendidikan vokasi (Kholifah dkk., 2025). Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa masih terdapat kecenderungan pemisahan antara studi teknologis yang berorientasi perangkat dan studi pendidikan yang berorientasi hasil belajar.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat kesenjangan penelitian yang perlu mendapat perhatian. Hingga saat ini, masih terbatas kajian yang secara terpadu menguji penguatan keterampilan pemrograman, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan pemanfaatan IoT cloud menggunakan ESP32 dalam konteks pendidikan vokasi. Spaho dkk. (2025) menunjukkan bahwa integrasi IoT dalam pembelajaran digital masih banyak dibahas dari sisi arsitektur sistem dan potensi personalisasi belajar, sedangkan Tsipianitis dkk. (2025) menegaskan bahwa bukti empiris mengenai dampak pendidikan dari perangkat IoT masih tersebar dan belum terintegrasi secara kuat. Meskipun IoT memiliki potensi besar dalam pendidikan STEM, implementasinya masih menghadapi kendala pada aspek keamanan, kesiapan ekosistem, dan desain pembelajaran (Terzieva dkk., 2025). Sehingga kegiatan ini memiliki kebaruan pada upaya mengintegrasikan tiga dimensi kompetensi sekaligus, yaitu pemrograman, konektivitas nirkabel, dan layanan cloud, dalam satu kerangka pembelajaran berbasis ESP32. Permasalahan ini menjadi semakin penting ketika dikaitkan dengan tuntutan kompetensi siswa vokasi pada era industri digital. Penguasaan keterampilan digital merupakan faktor penting dalam meningkatkan kesiapan kerja lulusan pendidikan vokasi (Kholifah dkk., 2025). Pendidikan vokasi di Indonesia masih menghadapi tantangan dalam menyesuaikan isi pembelajaran dengan perkembangan teknologi di dunia kerja (Suharno dkk., 2020). Dalam situasi tersebut, penggunaan ESP32 sebagai media pelatihan dapat menjadi solusi yang relevan karena perangkat ini memungkinkan siswa mempelajari keterampilan coding, komunikasi perangkat, dan integrasi data digital dalam satu ekosistem pembelajaran. Dengan demikian, urgensi kegiatan ini terletak pada kebutuhan akan kegiatan pembelajaran yang tidak hanya mengenalkan komponen teknologi, tetapi juga membekali siswa dengan kemampuan membangun sistem IoT yang fungsional dan aplikatif.

Meskipun potensinya besar, penerapan pembelajaran berbasis IoT juga tidak terlepas dari berbagai tantangan. Kendala implementasi IoT dalam pendidikan meliputi kesiapan infrastruktur, keamanan data, dan kapasitas pengguna dalam mengelola teknologi (Ghashim & Arshad, 2023). Keberhasilan PjBL sangat bergantung pada kesiapan pendidik, kualitas desain proyek, dan ketepatan evaluasi hasil belajar (Chen dkk., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan ESP32 dalam pembelajaran tidak dapat dipandang semata-mata sebagai solusi teknis, tetapi harus diintegrasikan dengan strategi pembelajaran yang sistematis dan instrumen evaluasi yang memadai. Kegiatan ini memandang bahwa penguatan keterampilan siswa tidak hanya bergantung pada penggunaan perangkat ESP32, melainkan juga pada rancangan pelatihan yang terstruktur dan berorientasi pada capaian kompetensi yang jelas. Berdasarkan uraian tersebut, kegiatan ini bertujuan untuk mendukung penguatan keterampilan pemrograman, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan pemanfaatan IoT cloud pada siswa SMK Ketintang Surabaya melalui penggunaan ESP32. Kajian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis dalam memperkaya diskursus tentang penerapan experiential learning dan PjBL pada pembelajaran IoT di lingkungan pendidikan teknik dan vokasi. Dari sisi praktis, hasil kegiatan ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan model pelatihan, bahan ajar, dan strategi evaluasi pembelajaran yang lebih relevan dengan kebutuhan industri digital. Dengan demikian, penggunaan ESP32 tidak hanya diposisikan sebagai alat praktik, tetapi juga sebagai medium strategis untuk mengembangkan kompetensi digital-teknis siswa secara integratif. Sehingga diharapkan mampu memberikan landasan empiris bagi penguatan pembelajaran berbasis IoT pada pendidikan vokasi di Indonesia.

II. MASALAH

SMK Ketintang Surabaya sebagai sekolah vokasi menghadapi kebutuhan yang semakin besar untuk menyiapkan siswa agar memiliki kompetensi yang selaras dengan perkembangan teknologi digital, khususnya pada bidang pemrograman mikrokontroler, komunikasi nirkabel, dan integrasi sistem berbasis Internet of Things. Pada kondisi nyata, kemampuan siswa dalam pemrograman masih belum merata, baik dalam memahami logika program, menulis kode, maupun menerapkannya untuk mengendalikan perangkat secara fungsional, sehingga pembelajaran praktik belum sepenuhnya menghasilkan keterampilan yang aplikatif. Penguasaan siswa terhadap konektivitas WiFi dan Bluetooth juga masih perlu diperkuat, karena pembelajaran yang diperoleh umumnya masih berfokus pada pengoperasian perangkat secara lokal dan

belum banyak mengarah pada pengembangan komunikasi data antarpiranti maupun pengendalian sistem secara nirkabel. Hal tersebut diperkuat oleh minimnya pengalaman siswa dalam memanfaatkan IoT Cloud sebagai sarana penyimpanan, pemantauan, dan pengolahan data berbasis internet, sehingga pemahaman mereka terhadap sistem cerdas yang terintegrasi dari perangkat, jaringan, hingga layanan digital belum terbentuk secara optimal. Kondisi ini berdampak pada belum maksimalnya kesiapan siswa dalam mengembangkan prototipe simulator yang tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga memiliki nilai inovatif dan relevansi dengan kebutuhan pembelajaran vokasi saat ini. Situasi tersebut menunjukkan bahwa SMK Ketintang Surabaya memerlukan pelatihan yang terstruktur dan aplikatif untuk meningkatkan keterampilan pemrograman, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan pemanfaatan IoT Cloud menggunakan ESP32 sebagai upaya penguatan kompetensi digital-teknis siswa dalam kerangka program pengabdian kepada masyarakat.



Gambar 1. Lokasi Kegiatan Pengabdian Masyarakat
(Sumber: <http://smkktintang.sch.id>)

III. METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bekerja sama dengan mitra industri dari PT. Teknolab Caraka Internasional dan dilaksanakan di SMK Ketintang Surabaya. Kegiatan dilakukan dalam empat tahap dengan sasaran siswa Kompetensi Keahlian Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ). Tahap pertama berupa persiapan kegiatan dan materi yang diawali dengan identifikasi kebutuhan mitra terkait penguatan keterampilan pemrograman mikrokontroler, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan pemanfaatan IoT Cloud dalam pembelajaran vokasional. Berdasarkan kebutuhan tersebut, tim menyusun materi pelatihan, menyiapkan perangkat praktik, dan merancang alur kegiatan agar pelaksanaan berjalan sistematis dan aplikatif. Materi yang disiapkan mencakup tinjauan singkat tentang Arduino dan Internet of Things, konsep lanjutan Arduino dan IoT, pengenalan protokol IoT seperti MQTT, pendalaman fitur ESP32, integrasi ESP32 dengan layanan cloud/hosting/server, pengiriman data, pengenalan penyimpanan data, serta pengembangan proyek IoT. Alat dan bahan yang digunakan meliputi laptop, ESP32 Development Board 30 pin, breadboard, sensor ultrasonik, LED, set kabel jumper, kabel USB untuk ESP32, access point/router, dan kabel roll secukupnya. Tahap kedua adalah pelaksanaan pelatihan ESP32 yang dilakukan melalui kombinasi metode ceramah, demonstrasi, praktik langsung, pendampingan, dan tugas proyek. Kegiatan diawali dengan sesi pembukaan dan pengantar materi mengenai Arduino, IoT, serta pengenalan konsep lanjutan yang menitikberatkan pada protokol komunikasi dan fitur ESP32. Setelah itu peserta mengikuti sesi hands-on pertama yang berfokus pada integrasi ESP32 dengan layanan cloud/hosting/server, pengiriman data, serta pemahaman dasar basis data dan penyimpanan data. Sesi berikutnya diarahkan pada pengembangan proyek IoT melalui integrasi cloud, implementasi real-time data streaming dan pemrosesan data, dilanjutkan dengan troubleshooting serta optimasi proyek sederhana. Seluruh tahapan praktik didampingi oleh tim pelaksana agar peserta memperoleh bimbingan teknis secara langsung selama proses pelatihan berlangsung.

Tahap ketiga berupa evaluasi kepuasan peserta dan keterlaksanaan pelatihan. Evaluasi kepuasan dilakukan menggunakan angket skala Likert 1-5 yang diberikan kepada seluruh peserta pada akhir kegiatan untuk menilai aspek kesesuaian materi, kejelasan penyampaian, kualitas pendampingan, kecukupan sarana,

dan manfaat pelatihan. Keterlaksanaan pelatihan diamati menggunakan lembar observasi yang mencakup kesesuaian pelaksanaan dengan jadwal, kelancaran penyampaian materi, keterlibatan peserta dalam praktik, efektivitas pendampingan, serta kelengkapan alat dan bahan. Data dari angket kepuasan dan lembar observasi kemudian diolah secara deskriptif menggunakan Microsoft Excel melalui tabulasi skor, perhitungan persentase, dan penafsiran kategori hasil. Analisis ini digunakan untuk menggambarkan tingkat penerimaan peserta terhadap kegiatan sekaligus menilai sejauh mana pelatihan terlaksana sesuai rencana. Tahap keempat adalah implikasi dan keberlanjutan program yang dirumuskan berdasarkan hasil evaluasi kegiatan. Implikasi program diarahkan pada penguatan kompetensi siswa dalam bidang pemrograman ESP32, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan pemanfaatan IoT Cloud sebagai bagian dari keterampilan digital-teknis yang relevan dengan pembelajaran vokasi. Keberlanjutan program dirancang melalui rekomendasi pemanfaatan perangkat dan modul pelatihan sebagai media praktik lanjutan di sekolah, sehingga kegiatan tidak berhenti pada satu kali pelaksanaan. Hasil evaluasi juga menjadi dasar bagi sekolah dan tim pelaksana untuk menyusun pengembangan materi atau pelatihan lanjutan dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi. Dengan demikian, metode pelaksanaan pengabdian ini tidak hanya berorientasi pada pelaksanaan kegiatan sesaat, tetapi juga pada kebermanfaatan program secara berkelanjutan bagi mitra sekolah.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pelatihan diikuti oleh 20 siswa Kompetensi Keahlian Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ) SMK Ketintang Surabaya. Data hasil evaluasi menunjukkan bahwa kegiatan pelatihan memperoleh respons positif dari peserta, baik dari aspek kepuasan maupun keterlaksanaan program. Rata-rata skor angket kepuasan mencapai 86,4%, sedangkan rata-rata skor observasi keterlaksanaan mencapai 86,1%, sehingga keduanya berada pada kategori sangat baik. Capaian ini menunjukkan bahwa pelatihan telah terlaksana secara efektif dan diterima secara positif oleh peserta. Dalam konteks pendidikan teknik dan vokasi, temuan ini menunjukkan bahwa pengalaman belajar yang memadukan perangkat nyata, pemrograman, dan konektivitas digital mampu membangun persepsi positif terhadap proses belajar sekaligus terhadap substansi yang dipelajari. ESP32 merupakan platform yang relevan untuk mendukung integrasi perangkat dan komunikasi data dalam sistem yang bekerja secara nyata (Espinosa-Gavira dkk., 2024). Pembelajaran berbasis IoT menjadi lebih bermakna ketika peserta didik berinteraksi langsung dengan perangkat, jaringan, dan data dalam satu pengalaman belajar yang kontekstual (Ghashim & Arshad, 2023). Penggunaan ESP32 dalam pembelajaran juga memiliki kekuatan karena mampu menjembatani praktik embedded system dengan ekosistem IoT yang lebih luas (Hercog dkk., 2023).

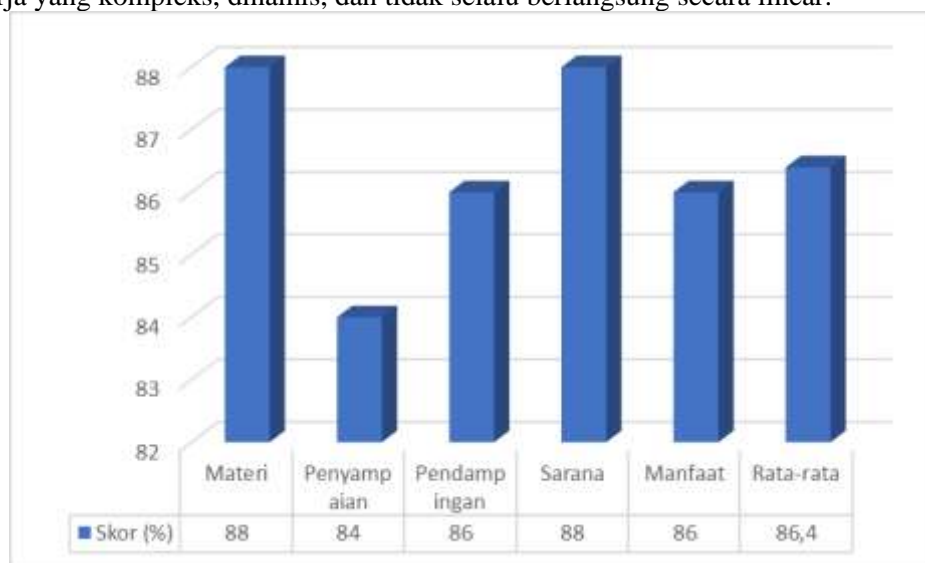


Gambar 2. Pelaksanaan Kegiatan Pengabdian Masyarakat

Hasil angket kepuasan peserta memperlihatkan bahwa aspek materi dan sarana memperoleh skor tertinggi, masing-masing sebesar 88%, diikuti aspek pendampingan dan manfaat sebesar 86%, serta aspek penyampaian sebesar 84%. Pola ini menunjukkan bahwa peserta menilai isi pelatihan relevan dengan kebutuhan mereka, didukung fasilitas yang memadai, dan memberikan manfaat nyata terhadap pemahaman teknologi IoT berbasis ESP32. Nilai tinggi pada aspek materi mengindikasikan bahwa konten pelatihan telah sesuai dengan karakteristik siswa TKJ yang membutuhkan penguatan kompetensi pada pemrograman,

komunikasi data, dan sistem berbasis jaringan. Nilai tinggi pada aspek sarana juga menunjukkan bahwa ketersediaan alat dan bahan telah mendukung proses belajar secara optimal. Kualitas materi merupakan komponen penting dalam pembelajaran IoT karena siswa perlu memahami keterkaitan antara perangkat, jaringan, dan data secara utuh (Martin, 2021). Literasi digital dan dukungan pembelajaran vokasional berkontribusi terhadap kualitas pengalaman belajar siswa (Setiyawan dkk., 2023). Perangkat IoT dalam pendidikan cenderung menghasilkan pengalaman belajar yang lebih bermakna ketika peserta memperoleh kesempatan untuk berinteraksi langsung dengan sistem yang digunakan (Tsiopianitis dkk., 2025). Sehingga temuan pada aspek kepuasan tidak hanya memperlihatkan bahwa peserta merasa nyaman mengikuti pelatihan, tetapi juga menegaskan bahwa rancangan materi dan fasilitas telah cukup tepat untuk menopang pembelajaran IoT yang kontekstual.

Hasil observasi keterlaksanaan memperlihatkan bahwa aspek penyampaian materi, pendampingan, sarana, dan penutup memperoleh skor tertinggi sebesar 88%, sedangkan aspek demonstrasi memperoleh 86%, pembukaan memperoleh 83%, dan praktik memperoleh 82%. Temuan ini menunjukkan bahwa secara umum pelatihan telah berlangsung sesuai dengan rancangan, terutama pada aspek penyampaian substansi, kesiapan sarana, dan kualitas fasilitasi. Nilai pada aspek praktik yang sedikit lebih rendah dibandingkan aspek lain menunjukkan bahwa tahap implementasi langsung merupakan bagian yang paling menantang dalam keseluruhan kegiatan. Kondisi ini terjadi karena peserta tidak hanya diminta memahami konsep, tetapi juga harus menerapkannya dalam bentuk pemrograman, integrasi koneksi, dan sinkronisasi data secara bersamaan. Pembelajaran berbasis proyek dalam pendidikan teknik menempatkan peserta didik pada situasi pemecahan masalah autentik yang kompleks (Chen dkk., 2021). Perkembangan hasil belajar dalam PjBL sangat dipengaruhi oleh keterlibatan aktif peserta dalam menyelesaikan tugas yang bersifat sistemik (Kolmos dkk., 2021). Kegiatan praktik dalam PjBL efektif untuk memperkuat keterampilan teknis, tetapi memerlukan waktu, pendampingan, dan desain tugas yang terstruktur (Lavado-Anguera dkk., 2024). Pembelajaran proyek juga menuntut kemampuan adaptasi peserta terhadap lingkungan belajar yang dinamis dan sarat problem solving (O'Connor dkk., 2024). Oleh karena itu, skor praktik yang relatif lebih rendah tidak semata-mata menunjukkan kelemahan program, melainkan memperlihatkan bahwa inti pembelajaran teknik justru terletak pada ruang kerja yang kompleks, dinamis, dan tidak selalu berlangsung secara linear.

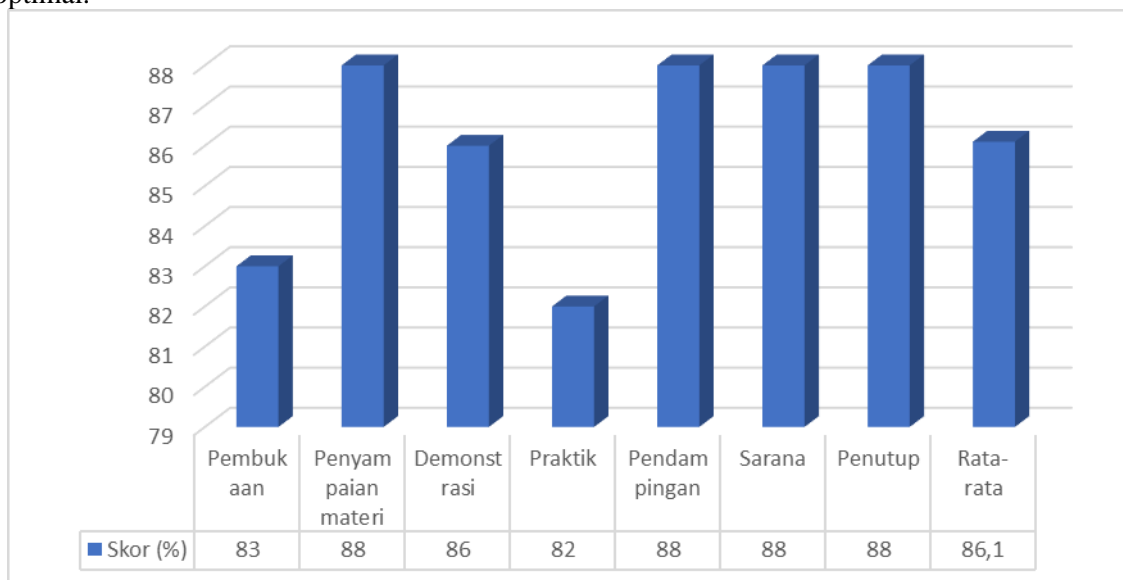


Gambar 3. Rekap Angket Kepuasan Peserta

Kesesuaian antara skor kepuasan peserta dan skor keterlaksanaan menunjukkan bahwa program tidak hanya terlaksana dengan baik secara teknis, tetapi juga diterima secara positif oleh sasaran kegiatan. Kedekatan nilai rata-rata antara angket kepuasan dan observasi keterlaksanaan memperlihatkan bahwa persepsi peserta dan pengamatan terhadap proses pelaksanaan saling menguatkan. Temuan ini dapat diartikan bahwa desain pelatihan telah cukup tepat dalam menjawab kebutuhan mitra sekolah, terutama karena keberhasilan program lebih banyak ditopang oleh relevansi isi kegiatan, kualitas fasilitasi, dan pengalaman praktik yang nyata. Studi kasus berupa proyek tandon otomatis semakin memperjelas bahwa pelatihan tidak berhenti pada pengenalan komponen atau latihan kode secara terpisah, melainkan membawa

peserta pada integrasi sensor, logika program, konektivitas perangkat, dan kendali sistem dalam satu produk sederhana yang berfungsi. Pendidikan vokasi menuntut pembelajaran yang mampu menjembatani teori dengan kebutuhan nyata dunia kerja (Suharno dkk., 2020). Penguatan keterampilan digital-teknis berkontribusi penting terhadap kesiapan kerja lulusan pendidikan vokasi (Kholifah dkk., 2025). Transformasi pendidikan kejuruan juga sangat dipengaruhi oleh kapasitas digital pendidik dan lingkungan sekolah (Widaningsih dkk., 2024). Pengembangan keterampilan vokasional di era ekonomi baru memerlukan keselarasan antara pembelajaran, teknologi, dan kebutuhan pasar kerja (Isbah dkk., 2026). Kekuatan utama kegiatan pelatihan ini tidak hanya terletak pada tingginya skor evaluasi, tetapi juga pada keberhasilannya membangun jembatan antara pembelajaran di sekolah, sistem IoT, dan orientasi kerja vokasional yang semakin terdigitalisasi.

Aspek praktik yang memperoleh skor 82% memperlihatkan bahwa fase tersebut masih menjadi titik dengan tingkat kesulitan tertinggi. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti perbedaan kemampuan awal siswa dalam pemrograman, keterbatasan waktu praktik dalam satu hari, kebutuhan troubleshooting yang cukup intensif, dan stabilitas koneksi saat integrasi dengan IoT cloud. Proses praktik pada sistem berbasis ESP32 memang menuntut peserta untuk menguasai beberapa lapisan keterampilan sekaligus, yaitu logika kode, koneksi perangkat, komunikasi nirkabel, dan pengiriman data ke platform digital. Keadaan tersebut menyebabkan sebagian peserta membutuhkan waktu lebih panjang untuk mencapai hasil yang optimal. Implementasi teknologi digital di sekolah vokasi sangat dipengaruhi oleh tingkat kematangan digital ekosistem pembelajaran. Integrasi IoT dalam pembelajaran akan lebih efektif apabila didukung oleh lingkungan teknologi yang memadai dan desain belajar yang terarah (Spaho dkk., 2025). Pembelajaran IoT juga memerlukan perhatian pada stabilitas ekosistem teknologi dan aspek keamanan agar pengalaman belajar dapat berlangsung secara efektif (Terzieva dkk., 2025). Dari sudut pandang tersebut, keterbatasan durasi pelatihan dan gangguan konektivitas yang muncul dalam kegiatan ini dapat dipahami sebagai indikator bahwa pembelajaran IoT di sekolah vokasi memerlukan desain bertahap, penjadwalan yang lebih longgar, dan dukungan lingkungan digital yang lebih stabil. Oleh sebab itu, hasil program ini lebih tepat dibaca sebagai keberhasilan pada tahap pengenalan dan penerapan dasar yang menjanjikan, tetapi masih membutuhkan penguatan agar pemerataan penguasaan kompetensi antarpeserta dapat dicapai secara lebih optimal.



Tabel 4. Rekap Observasi Keterlaksanaan Pelatihan

Peluang pengembangan program ke depan sangat terbuka, baik dari sisi kedalaman materi maupun variasi proyek yang dihasilkan. Kegiatan serupa dapat dikembangkan menjadi pelatihan bertingkat, dimulai dari dasar pemrograman ESP32, integrasi sensor dan aktuator, komunikasi WiFi-Bluetooth, hingga pengembangan dashboard monitoring berbasis cloud yang lebih kompleks. Simulator tandon otomatis juga dapat disempurnakan menjadi sistem pemantauan level air secara real-time atau dikombinasikan dengan notifikasi ke perangkat seluler, sehingga siswa tidak hanya belajar membuat sistem bekerja, tetapi juga

memahami bagaimana data dipantau, divisualisasikan, dan dimanfaatkan untuk pengambilan keputusan. Pengembangan lanjutan tersebut berpotensi memperkuat keberlanjutan program di sekolah karena perangkat dan modul yang telah digunakan dapat dimanfaatkan kembali dalam pembelajaran praktik berikutnya. Penguatan pendidikan vokasi perlu diarahkan pada pembentukan human capital yang adaptif terhadap transformasi digital (Indrawati & Kuncoro, 2021). Model Project-Based Learning relevan untuk mendukung pembelajaran abad ke-21 di sekolah kejuruan karena memperkuat keterlibatan, kreativitas, dan pemecahan masalah (Roemintoyo & Budiarto, 2023). Penguatan kompetensi digital dalam pendidikan vokasi juga perlu ditopang oleh pengembangan media dan kapasitas pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan abad ke-21. Dalam perspektif yang lebih luas, hasil kegiatan ini menunjukkan bahwa pelatihan ESP32 telah mampu memberikan pengalaman belajar yang relevan, aplikatif, dan bermanfaat bagi siswa TKJ SMK Ketintang Surabaya. Tingginya skor kepuasan dan keterlaksanaan, ditambah keberhasilan menghasilkan simulator tandon otomatis, menegaskan bahwa pelatihan berbasis IoT memiliki potensi besar sebagai model penguatan kompetensi digital-teknis pada pendidikan vokasi apabila dirancang secara kontekstual, berjenjang, dan berkelanjutan.

V. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat yang sudah dilaksanakan menunjukkan bahwa pelatihan berbasis ESP32 yang dirancang melalui pendekatan ceramah, demonstrasi, praktik langsung, pendampingan, dan tugas proyek mampu mendukung penguatan keterampilan pemrograman, konektivitas WiFi-Bluetooth, dan pemanfaatan IoT cloud pada siswa SMK Ketintang Surabaya. Temuan ini tercermin dari tingginya tingkat kepuasan peserta dan keterlaksanaan program yang sama-sama berada pada kategori sangat baik, serta keberhasilan peserta menghasilkan simulator tandon otomatis. Hasil tersebut menegaskan bahwa penggunaan ESP32 bukan hanya efektif sebagai media praktik teknis, tetapi juga relevan sebagai sarana pembelajaran integratif yang menghubungkan logika pemrograman, komunikasi nirkabel, dan pengolahan data digital dalam konteks pendidikan vokasi. Makna penting dari temuan ini terletak pada terbuktinya bahwa pelatihan yang terstruktur, kontekstual, dan berbasis proyek dapat menjawab kebutuhan sekolah vokasi dalam memperkuat kompetensi digital-teknis siswa yang sesuai dengan tuntutan transformasi industri. Kendala pada aspek praktik, terutama yang berkaitan dengan variasi kemampuan awal peserta, keterbatasan waktu, dan proses troubleshooting sistem, menunjukkan bahwa efektivitas pelatihan masih dapat ditingkatkan melalui durasi praktik yang lebih panjang, pendampingan yang lebih intensif, dan desain pelatihan bertahap. Dengan demikian, kegiatan ini memberikan kontribusi praktis berupa model pengabdian yang aplikatif untuk penguatan pembelajaran IoT di sekolah vokasi, sekaligus kontribusi konseptual bahwa integrasi pemrograman, konektivitas, dan cloud dalam satu ekosistem pelatihan dapat menjadi strategi yang efektif dalam pengembangan kompetensi abad ke-21. Pengembangan lanjutan disarankan diarahkan pada perluasan jenis proyek, pendalaman integrasi cloud dan dashboard monitoring, serta pengujian keberlanjutan dampak pelatihan terhadap kesiapan siswa dalam pembelajaran vokasi dan pengembangan inovasi berbasis IoT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Surabaya, Fakultas Teknik (FT) Universitas Negeri Surabaya, dan PT. Teknolab Caraka Internasional atas dukungan dan kerja sama yang telah diberikan sehingga kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dapat terlaksana dengan baik. Terima kasih juga disampaikan kepada SMK Ketintang Surabaya atas partisipasi dan dukungan selama pelaksanaan kegiatan. Dukungan dari seluruh pihak tersebut sangat berarti dalam mewujudkan kegiatan pelatihan yang bermanfaat bagi siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, J., Kolmos, A., & Du, X. (2021). Forms of implementation and challenges of PBL in engineering education: A review of literature. *European Journal of Engineering Education*, 46(1), 90–115. <https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1718615>
- Espinosa-Gavira, M. J., Agüera-Pérez, A., Palomares-Salas, J. C., Sierra-Fernandez, J. M., Remigio-Carmona, P., & González de-la-Rosa, J. J. (2024). Characterization and Performance Evaluation of ESP32 for Real-time Synchronized Sensor Networks. *Procedia Computer Science*, 237, 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.104>

- Ghashim, I. A., & Arshad, M. (2023). Internet of Things (IoT)-Based Teaching and Learning: Modern Trends and Open Challenges. *Sustainability*, *15*(21), 15656. <https://doi.org/10.3390/su152115656>
- Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors*, *23*(15), 6739. <https://doi.org/10.3390/s23156739>
- Indrawati, S. M., & Kuncoro, A. (2021). Improving Competitiveness Through Vocational and Higher Education: Indonesia's Vision For Human Capital Development In 2019–2024. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, *57*(1), 29–59. <https://doi.org/10.1080/00074918.2021.1909692>
- Isbah, M. F., Indonesia, A. B. P. E. N., Suwandi, M. A., Rahmawati, D., Fitriamadhana, R., Savitri, R., Ariansyah, K., Cahyarini, B. R., Ahad, M. P. Y., Aswin, A., & Listanto, V. (2026). Vocational education and skills development for new economies in Indonesia: Uneasy parallel challenges. *Asian Education and Development Studies*, *15*(2), 274–287. <https://doi.org/10.1108/AEDS-09-2025-0461>
- Kholifah, N., Nurtanto, M., Sutrisno, V. L. P., Majid, N. W. A., Subakti, H., Daryono, R. W., & Achmadi, A. (2025). Unlocking workforce readiness through digital employability skills in vocational education Graduates: A PLS-SEM analysis based on human capital Theory. *Social Sciences & Humanities Open*, *11*, 101625. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101625>
- Kolmos, A., Holgaard, J. E., & Clausen, N. R. (2021). Progression of student self-assessed learning outcomes in systemic PBL. *European Journal of Engineering Education*, *46*(1), 67–89. <https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1789070>
- Lavado-Anguera, S., Velasco-Quintana, P.-J., & Terrón-López, M.-J. (2024). Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature. *Education Sciences*, *14*(6), 617. <https://doi.org/10.3390/educsci14060617>
- Martin, S. (2021). Internet of Things Learning and Teaching. *Technologies*, *9*(1), 7. <https://doi.org/10.3390/technologies9010007>
- O'Connor, S., Power, J., Blom, N., & Tanner, D. (2024). Engineering students' perceptions of problem and project-based learning (PBL) in an online learning environment. *Australasian Journal of Engineering Education*, *29*(2), 88–101. <https://doi.org/10.1080/22054952.2024.2357404>
- Roemintoyo, & Budiarto, M. K. (2023). Project-based Learning Model to Support 21st Century Learning: Case Studies in Vocational High Schools. *Journal of Education Research and Evaluation*, *7*(4), 662–670. <https://doi.org/10.23887/jere.v7i4.63806>
- Setiyawan, H., Suharno, S., & Pambudi, N. A. (2023). The influence of digital and vocational information literacy on student learning outcomes. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, *13*(2), 192–204. <https://doi.org/10.21831/jpv.v13i2.53999>
- Spaho, E., Çiço, B., & Shabani, I. (2025). IoT Integration Approaches into Personalized Online Learning: Systematic Review. *Computers*, *14*(2), 63. <https://doi.org/10.3390/computers14020063>
- Suharno, Pambudi, N. A., & Harjanto, B. (2020). Vocational education in Indonesia: History, development, opportunities, and challenges. *Children and Youth Services Review*, *115*, 105092. <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2020.105092>
- Terzieva, V., Ivanova, M., Djambazova, E., & Ilchev, S. (2025). The Role of Internet of Things and Security Aspects in STEM Education. *Information*, *16*(7), 533. <https://doi.org/10.3390/info16070533>
- Tsipianitis, D., Misirli, A., Lavidas, K., & Komis, V. (2025). IoT Devices and Their Impact on Learning: A Systematic Review of Technological and Educational Affordances. *IoT*, *6*(3), 45. <https://doi.org/10.3390/iot6030045>
- Widaningsih, L., Sari, A. R., Dwiyantri, V., Maknun, J., & Hayat, J. (2024). How digital competency for Indonesian TVET educators explored in the last decade: A systematic literature review based on the Australian qualification framework. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, *30*(2). <https://doi.org/10.21831/jptk.v30i2.71436>