

Penguatan kompetensi PLC-IOT bagi guru SMK untuk mendukung pembelajaran industri 4.0

Fitria Suryatini, Adhitya Sumardi Sunarya*, Suharyadi Pancono

Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, Indonesia

*email Koresponden Penulis: adhitya@polman-bandung.ac.id

Info Artikel

Riwayat Artikel

Diajukan: 2025-10-18

Diterima: 2025-12-06

Diterbitkan: 2025-12-21



Lisensi: cc-by-sa

Copyright © 2025 Penulis

ABSTRAK

Kesenjangan kompetensi guru SMK dalam penguasaan teknologi otomasi modern, khususnya pemrograman PLC dan integrasi IoT, masih menjadi tantangan dalam pemenuhan kebutuhan kompetensi era Industri 4.0. Di SMK Negeri 1 Cimahi, fasilitas laboratorium PLC berbasis IoT belum tersedia dan hanya 6 (25%) guru yang memiliki telah mendapatkan pelatihan PLC tanpa pengalaman pada integrasi IoT. Program pengabdian ini bertujuan meningkatkan kompetensi guru pada aspek pemrograman dasar PLC, konektivitas IoT, dan troubleshooting melalui pelatihan berbasis workshop dan problem-based training. Kegiatan melibatkan 14 guru dan dilaksanakan dalam tiga tahap: pengembangan trainer kit PLC-IoT; pelatihan intensif mencakup teori, praktik pemrograman, dan integrasi IoT menggunakan platform berbasis cloud; serta evaluasi melalui pre-post test dan kuesioner. Hasil menunjukkan peningkatan rata-rata skor dari 71,43 menjadi 92,86 dengan peningkatan 28,21% pada pemahaman konsep dan kemampuan pemrograman serta integrasi IoT. Selain itu, satu unit trainer kit PLC-IoT telah diimplementasikan sebagai fasilitas laboratorium baru dan mulai digunakan dalam pembelajaran. Program ini memberikan dampak keberlanjutan melalui peningkatan kapasitas guru dan penguatan kerja sama perguruan tinggi-SMK dalam pengembangan pembelajaran berbasis Industri 4.0.

Kata Kunci: PLC; IoT; kompetensi; pelatihan; industri 4.0

Cara mensitasi artikel:

Suryatini, F., Sunarya, A. S., & Pancono, S. (2026). Penguatan kompetensi PLC-IOT bagi guru SMK untuk mendukung pembelajaran industri 4.0. *Jurnal Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat (JP2M)*, 7(1), 267–285. <https://doi.org/10.33474/jp2m.v7i1.24564>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi dan sistem kendali cerdas dalam dua dekade terakhir telah menjadi penanda utama transformasi industri menuju era Industri 4.0. Integrasi perangkat fisik dengan konektivitas digital berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan proses industri berjalan secara lebih adaptif, efisien, dan berorientasi data. Sistem industri kini tidak hanya bergantung pada instruksi statis, tetapi mampu melakukan komunikasi antarmesin, menganalisis data secara real-time, dan mengambil keputusan otomatis untuk meningkatkan ketepatan operasional (Folgado et al., 2024). Dalam lanskap teknologi semacam ini, Programmable Logic Controller (PLC) mengalami perkembangan signifikan, dari perangkat kendali konvensional menjadi komponen integral dalam arsitektur

otomasi berbasis IoT, cloud computing, dan integrasi data industri (Mellado & Núñez, 2022; Yao et al., 2024).

Perubahan tersebut membawa implikasi langsung bagi dunia kerja yang menuntut sumber daya manusia dengan kompetensi yang jauh lebih luas daripada pemahaman dasar PLC. Operator, teknisi, dan perancang sistem otomasi kini dituntut untuk memahami integrasi sensor-aktuator, pemrograman tingkat lanjut, komunikasi industri, serta pengembangan panel monitoring berbasis web yang terhubung ke jaringan IoT (Muharam et al., 2025). Kemampuan teknis dalam merancang sekaligus mengintegrasikan sistem PLC-IoT menjadi salah satu kompetensi yang semakin penting dalam menghadapi kebutuhan industri modern.

Dalam konteks pendidikan vokasi, Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memegang peran strategis dalam menyiapkan lulusan yang siap memasuki dunia kerja berbasis teknologi mutakhir. Namun, temuan berbagai penelitian menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran otomasi di SMK masih menghadapi berbagai kendala, baik dari segi ketersediaan perangkat pembelajaran, keterbaruan materi praktik, maupun kompetensi guru dalam menguasai teknologi terkini (Anwar et al., 2024; Nurjanah et al., 2022). Guru sebagai fasilitator utama pembelajaran dituntut untuk terus memperbarui kompetensinya agar mampu mengikuti perkembangan teknologi yang bergerak cepat (Siliņa-Jasjukeviča et al., 2025).

Kondisi serupa ditemukan di SMK Negeri 1 Cimahi sebagai mitra kegiatan. Berdasarkan observasi dan wawancara, pembelajaran PLC di sekolah masih berfokus pada kendali konvensional dan belum terintegrasi dengan teknologi IoT. Sekolah belum memiliki fasilitas laboratorium PLC-IoT, sehingga pengalaman praktik peserta didik kurang mencerminkan realitas industri berbasis otomasi cerdas. Dari total 14 guru pada konsentrasi Teknik Otomasi dan Mekatronika, hanya 6 orang (25%) yang pernah mengikuti pelatihan PLC, dan pelatihan tersebut belum mencakup integrasi IoT. Guru juga menyampaikan bahwa kompetensi terkait pemrograman PLC tingkat lanjut, integrasi data sensor, pengembangan dashboard web, hingga troubleshooting sistem berbasis IoT masih belum sepenuhnya dikuasai. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan yang nyata antara kebutuhan industri dan kapasitas teknis guru dalam mengembangkan pembelajaran otomasi modern.

Idealnya, pembelajaran otomasi di SMK mencakup kemampuan pemrograman PLC, pengelolaan I/O analog-digital, komunikasi menggunakan protokol standar industri, serta pemanfaatan jaringan IoT untuk monitoring dan kendali jarak jauh (Folgado et al., 2024; Yao et al., 2024). Namun, keterbatasan fasilitas laboratorium di SMK Negeri 1 Cimahi membuat guru kesulitan menerapkan model pembelajaran berbasis proyek yang kini menjadi pendekatan penting dalam pendidikan vokasi. Akibatnya, kesiapan lulusan untuk memasuki industri berbasis otomasi cerdas menjadi kurang optimal.

Situasi tersebut menegaskan kebutuhan mendesak akan sebuah intervensi yang bersifat komprehensif dan berorientasi pemberdayaan guru. Program pengabdian kepada masyarakat dipandang relevan sebagai upaya menjembatani kesenjangan tersebut melalui peningkatan kompetensi guru serta penyediaan

media pembelajaran yang sesuai perkembangan teknologi. Intervensi ini perlu meliputi pelatihan teknis yang aplikatif—mulai dari pemrograman dasar PLC, integrasi IoT berbasis platform cloud, hingga troubleshooting sistem—serta pengembangan perangkat trainer kit PLC-IoT yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan di lingkungan sekolah.

Berangkat dari kebutuhan tersebut, program ini dirancang untuk mencapai dua tujuan utama, yakni (1) mengembangkan trainer kit PLC-IoT yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran otomasi industri di SMK, dan (2) menyelenggarakan pelatihan intensif bagi guru untuk meningkatkan kemampuan pemrograman PLC, integrasi sensor-aktuator, dan penerapan sistem IoT. Rumusan masalah yang diangkat dalam kegiatan ini mencakup: bagaimana meningkatkan kompetensi guru dalam pengoperasian dan integrasi sistem PLC-IoT, serta bagaimana menyediakan media pembelajaran praktik yang relevan, mutakhir, dan berkelanjutan bagi pembelajaran otomasi di SMK.

Melalui tujuan tersebut, program ini diharapkan mampu memperkuat kesiapan SMK Negeri 1 Cimahi dalam mengimplementasikan pembelajaran otomasi industri yang lebih adaptif, responsif, dan selaras dengan kebutuhan dunia kerja pada era Industri 4.0.

METODE

Pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat ini menggunakan desain *Participatory Action Research* (PAR) yang menempatkan guru sebagai mitra sekaligus pelaku aktif dalam keseluruhan proses kegiatan. Pendekatan ini dipilih untuk menjawab kesenjangan kompetensi guru yang teridentifikasi pada tahap pendahuluan, khususnya terkait pemrograman PLC dan integrasi IoT yang belum terakomodasi oleh fasilitas laboratorium sekolah. Melalui PAR, setiap tahap—mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan solusi, pengembangan perangkat, hingga pelatihan dan evaluasi—dilaksanakan secara kolaboratif sehingga teknologi dan model pelatihan yang dikembangkan benar-benar berangkat dari konteks pembelajaran di SMK Negeri 1 Cimahi.

Kegiatan berlangsung selama lima bulan dan melibatkan empat belas guru dari program keahlian Teknik Otomasi Industri dan Mekatronika. Pemilihan peserta didasarkan pada keterlibatan mereka dalam pengajaran mata pelajaran terkait otomasi, kendali, instrumentasi, dan pemrograman PLC. Para peserta memberikan persetujuan melalui informed consent, sedangkan pihak sekolah menandatangani izin pemanfaatan data sesuai standar etika akademik.

Tahapan pelaksanaan mengikuti skema metodologis yang ditunjukkan pada Gambar 1, yang berfungsi sebagai kerangka kerja terstruktur dalam mengintegrasikan siklus aksi-refleksi sebagaimana esensi pendekatan PAR. Tahap persiapan diawali dengan needs assessment melalui observasi lapangan, telaah dokumen kurikulum, dan wawancara dengan kepala program serta guru. Survei kebutuhan dengan 20 item skala Likert lima poin digunakan untuk memperoleh gambaran mengenai tingkat penguasaan guru terhadap dasar-dasar PLC, kesiapan implementasi IoT, serta kebutuhan kompetensi lanjutan. Validitas isi instrumen dinilai oleh ahli otomasi industri dan pendidikan vokasi.



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan kegiatan

Temuan pada tahap persiapan menjadi dasar perencanaan kegiatan yang diformulasikan melalui workshop bersama mitra. Dalam forum ini, dua fokus utama ditetapkan, yaitu penguatan kapasitas guru melalui pelatihan intensif dan penyediaan media pembelajaran baru berupa trainer kit PLC-IoT. Perancangan trainer kit kemudian divalidasi secara langsung oleh guru untuk memastikan kesesuaiannya dengan kebutuhan pedagogis, standar keselamatan, serta kompatibilitas dengan fasilitas praktik yang tersedia di sekolah. Umpan balik pada sesi validasi digunakan untuk menyempurnakan rancangan sebelum proses produksi.

Tahap sosialisasi dilakukan untuk menyampaikan tujuan, ruang lingkup, jadwal, dan mekanisme pelaksanaan kegiatan kepada seluruh pemangku kepentingan sekolah. Tahap ini memastikan adanya keselarasan persepsi dan komitmen bersama antara tim pelaksana dan mitra terhadap implementasi program.

Tahap penerapan teknologi meliputi proses konstruksi trainer kit PLC-IoT beserta modul pembelajarannya. Perangkat yang dikembangkan berupa water level and temperature plant yang memadukan PLC sebagai unit kendali, sensor suhu dan level, aktuator motor dan proportional valve, serta konektivitas IoT melalui jaringan Wi-Fi yang diintegrasikan dengan antarmuka HMI dan dashboard web. Kualitas dan keandalan sistem diuji melalui joint testing antara tim dosen, mahasiswa, dan guru untuk memastikan akurasi sensor, respons sistem kendali, dan stabilitas komunikasi IoT. Evaluasi dari guru turut menentukan kesesuaian perangkat untuk digunakan dalam praktik pembelajaran.

Pelatihan dilaksanakan selama tiga hari dan dirancang berbasis praktik dengan pendekatan student-centered learning. Materi mencakup pemrograman dasar PLC, pemanfaatan trainer kit dalam skenario praktik, dan integrasi IoT melalui platform berbasis cloud. Untuk mengukur capaian pembelajaran, digunakan instrumen pre-test dan post-test yang terdiri atas 25 butir soal pilihan ganda.

Tahap pendampingan berlangsung selama dua minggu setelah pelatihan melalui sesi mentoring daring dan observasi langsung terhadap praktik lanjutan guru dalam mengoperasikan trainer kit. Evaluasi kegiatan menggunakan tiga sumber data, yaitu perbandingan skor pre-post test, kuesioner evaluasi pelatihan,

dan hasil refleksi guru mengenai kebutuhan pengembangan lanjutan. Kuesioner mencakup penilaian terhadap materi, pelaksanaan, peningkatan kompetensi, serta dampak keberlanjutan program. Parameter keberhasilan ditetapkan sejak awal, antara lain peningkatan skor post-test minimal 20%, tingkat kepuasan rata-rata $\geq 4,0$, dan performa teknis trainer kit yang memenuhi standar uji fungsional.

Melalui desain metodologis yang sistematis dan partisipatif ini, program tidak hanya menghasilkan trainer kit PLC-IoT sebagai media pembelajaran baru, tetapi juga memberikan peningkatan signifikan pada kompetensi guru sebagaimana ditunjukkan dalam hasil evaluasi. Pendekatan PAR yang diterapkan memungkinkan terjadinya transfer pengetahuan yang lebih mendalam sekaligus memperkuat kapasitas institusi dalam mengimplementasikan pembelajaran otomasi berbasis Industri 4.0 secara berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Program pengabdian dilaksanakan selama lima bulan. Mitra program pengabdian ini adalah SMK Negeri 1 Cimahi dengan melibatkan 14 guru dari program keahlian Teknik Otomasi dan Mekatronika. Kegiatan diawali dengan analisis kebutuhan untuk mengidentifikasi kesenjangan kompetensi dan fasilitas pembelajaran. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar guru belum familiar dengan integrasi Programmable Logic Controller (PLC) dan Internet of Things (IoT), serta sekolah belum memiliki perangkat praktik PLC yang mendukung pembelajaran berbasis IoT.

Tahap selanjutnya adalah sosialisasi program yang bertujuan memperkenalkan tujuan, manfaat, dan rencana kegiatan kepada pihak sekolah serta para peserta. Sosialisasi dilakukan melalui pertemuan tatap muka antara tim pengabdian, kepala sekolah, dan guru-guru mitra. Dalam sesi ini juga dibahas kebutuhan spesifik sekolah terhadap teknologi otomasi dan peluang penerapan Internet of Things (IoT) dalam pembelajaran vokasi.



Gambar 2. Kegiatan sosialisasi program

Tahapan kegiatan berikutnya adalah penerapan teknologi berupa pembuatan trainer kit PLC berbasis IoT. Trainer Kit yang telah dikembangkan dalam kegiatan pengabdian masyarakat ini telah diserahkan secara resmi kepada pihak SMK Negeri 1 Cimahi sebagai mitra kegiatan. Serah terima dilakukan setelah

seluruh rangkaian pelatihan dan uji fungsi trainer kit selesai dilaksanakan. Proses penyerahan disertai dengan penjelasan teknis penggunaan alat, dokumentasi kegiatan, serta berita acara serah terima yang ditandatangani oleh kedua belah pihak.



Gambar 3. Serah terima trainer kit PLC-IoT

Sebagai tindak lanjut, dilakukan pelatihan intensif selama tiga hari yang mencakup materi dasar PLC, komunikasi IoT, dan implementasi sistem kendali berbasis web. Pelatihan difokuskan pada *hands-on practice*, sehingga peserta dapat langsung melakukan pemrograman dan pengujian alat. Selain pelatihan, dilakukan pula sesi pendampingan daring pasca-kegiatan untuk memastikan keberlanjutan penerapan pengetahuan yang diperoleh. Kegiatan pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kegiatan pelatihan plc-IoT

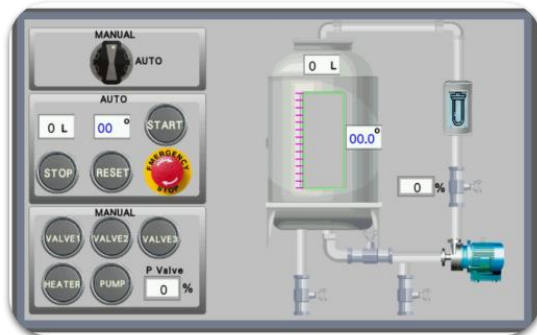
Produk utama dari kegiatan ini adalah trainer kit PLC berbasis IoT yang dirancang secara kolaboratif antara tim dosen dan guru. Teknologi yang digunakan pada trainer kit ini merupakan teknologi yang dikembangkan pada penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh tim mengenai kendali ketinggian dan suhu air pada *water level plant* menggunakan PLC (Suryatini et al., 2024; Sholeh et al., 2025; Supriyanto et al., 2022; Suryatini et al., 2023).

Trainer kit terdiri dari komponen PLC, sensor suhu dan level, aktuatur (motor dan valve), HMI, serta modul komunikasi berbasis Wi-Fi untuk konektivitas IoT, yang dibuat dalam bentuk *water level and temperature plant*. Trainer kit yang telah dibangun ditunjukkan pada Gambar 5.



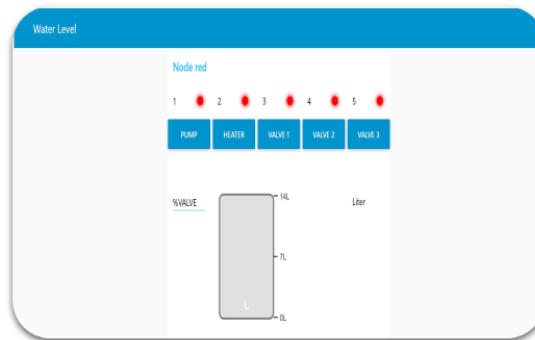
Gambar 5. Hasil penerapan teknologi tranizer kit PLC-IoT

Trainer kit dilengkapi dengan HMI atau antarmuka yang dapat digunakan oleh pengguna untuk mangatur parameter masukan, memonitoring parameter ketinggian air dan suhu air, serta untuk mengendalikan pompa, valve, dan heater baik. Tampilan HMI ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil penerapan teknologi interface HMI

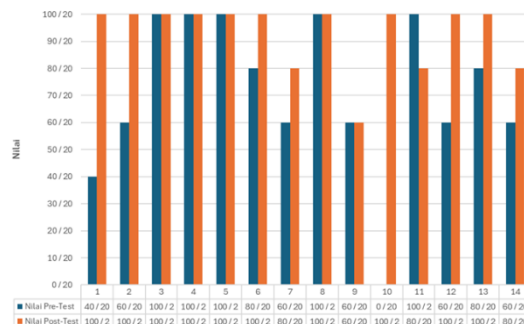
Sistem ini juga dikembangkan agar kompatibel dengan dashboard berbasis web yang menampilkan data sensor dan status aktuatur secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan alat bekerja dengan baik, mampu mengirimkan data sensor ke dashboard IoT menggunakan Node-RED, serta dapat dioperasikan sebagai media pembelajaran interaktif di laboratorium. Gambar 7 menunjukkan tampilan dashboard IoT.



Gambar 7. Interface web-based trainer kit PLC-IoT menggunakan node-RED

Penguatan kompetensi guru pada pemrograman PLC berbasis IoT dilakukan melalui kegiatan pelatihan yang diikuti oleh 14 peserta guru. Materi pelatihan terdiri dari: konsep dasar PLC dan IoT, penggunaan trainer kit PLC berbasis IoT pada *water level and temperature plant*, pengolahan data dari sensor dan integrasi dengan IoT menggunakan aplikasi Node-RED. Metode pelatihan yang digunakan adalah berbasis praktik dan teknologi digital dengan pendekatan *student-centered learning* yang mendorong keterlibatan aktif peserta.

Peningkatan kompetensi guru diukur menggunakan metode pre-test dan post-test yang terdiri dari 30 soal pilihan ganda dengan tingkat kesulitan soal mulai dari *basic*, *intermediate*, dan *edvance*. Soal mencakup materi dasar PLC, I/O digital dan analog PLC, instruksi pemrograman PLC, komunikasi data pada PLC berbasis IoT, dan aplikasi IoT menggunakan Node-RED. Hasil pre-test dan post-test ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil nilai pre-test dan post-test

Berdasarkan hasil perbandingan antara nilai Pre-Test dan Post-Test dari 14 peserta, dapat disimpulkan bahwa pelatihan yang telah dilaksanakan memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan kompetensi guru dalam bidang PLC berbasis IoT. Nilai rata-rata Pre-Test sebesar 71,43 menunjukkan bahwa sebagian peserta telah memiliki pemahaman dasar terhadap materi sebelum pelatihan. Namun, setelah mengikuti kegiatan pelatihan, nilai rata-rata Post-Test meningkat menjadi 92,86, dengan rata-rata peningkatan sebesar 21,43 poin atau sekitar 28,21%. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa kegiatan pelatihan yang

dilaksanakan tidak hanya memperkuat pemahaman yang sudah ada, tetapi juga berhasil memperluas pengetahuan peserta secara menyeluruh.

Peningkatan capaian tersebut mencerminkan efektivitas pendekatan pembelajaran berbasis praktik dan teknologi digital yang digunakan dalam kegiatan pelatihan, khususnya pada topik: Pemrograman dan Software PLC, Sensor dan Sistem Kendali, serta Node-RED dan Integrasi Sistem Otomasi berbasis IoT. Melalui kombinasi antara teori dan praktik langsung, peserta mampu memahami hubungan antara sistem kendali, perangkat keras sensorik, serta pemrograman logika yang mendasari otomasi industri modern berbasis IoT. Implementasi Node-RED sebagai platform integrasi data dan sistem kontrol berbasis IoT turut memperkuat kompetensi peserta dalam memahami konsep *smart automation* dan *industrial connectivity*.

Dari sudut pandang pedagogis, peningkatan signifikan ini menegaskan bahwa pendekatan *student-centered learning* yang diterapkan dalam proses pelatihan ini mampu mendorong keterlibatan aktif peserta dan mempercepat penguasaan konsep kompleks seperti pemrograman PLC dan sistem otomasi terintegrasi. Peserta dengan kemampuan awal rendah mengalami lonjakan capaian yang substansial, sedangkan peserta dengan nilai awal tinggi tetap mampu mempertahankan performa optimalnya. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Kerimbayev et al. (2023) dalam Smart Learning Environments, yang menegaskan bahwa pembelajaran dengan pendekatan student-centred learning berbasis teknologi modern dapat meningkatkan motivasi dan hasil belajar secara signifikan melalui interaksi aktif dan pengalaman praktis yang terintegrasi (Kerimbayev et al., 2023).

Dalam konteks pembelajaran PLC, strategi berbasis praktik memungkinkan peserta untuk tidak hanya memahami logika pemrograman dasar, tetapi juga mampu menerapkan fungsi kendali digital dan analog secara langsung menggunakan ladder diagram. Materi tentang Sensor dan Sistem Kendali memperkuat kemampuan peserta dalam memahami interaksi antara perangkat input-output serta cara kerja sistem otomatisasi yang responsif terhadap kondisi lingkungan. Sedangkan integrasi Node-RED dan Sistem Otomasi memperkenalkan paradigma baru pembelajaran berbasis IoT, di mana peserta memahami bagaimana data sensor, sistem kendali, dan aplikasi visualisasi dapat dihubungkan dalam satu ekosistem otomasi yang efisien dan cerdas.

Secara keseluruhan, peningkatan nilai Post-Test tidak hanya mencerminkan kemajuan pada aspek kognitif, tetapi juga mencakup peningkatan kemampuan afektif dan psikomotorik. Peserta tidak hanya menguasai konsep, tetapi juga menunjukkan kemampuan dalam mengimplementasikan sistem otomasi yang fungsional. Hal ini sejalan dengan semangat Education 4.0, yang menuntut proses pembelajaran bersifat adaptif, reflektif, dan relevan terhadap perkembangan teknologi industri terkini.

Dengan demikian, hasil analisis menunjukkan bahwa kegiatan pelatihan yang dilaksanakan tergolong sangat efektif. Peningkatan signifikan antara nilai Pre-Test dan Post-Test menegaskan bahwa pendekatan yang diterapkan telah sejalan dengan prinsip pedagogi modern berbasis teknologi, personalisasi, dan

praktik langsung. Oleh karena itu, model pembelajaran integratif berbasis otomasi dan IoT seperti ini layak untuk direkomendasikan secara berkelanjutan, baik pada konteks pendidikan vokasi, pelatihan industri, maupun program sertifikasi profesional di bidang mekatronika dan otomasi.

Akhir rangkaian kegiatan ditutup melalui evaluasi program, dengan cara penyebaran kuesioner kepada para peserta pelatihan, yang bertujuan untuk memperoleh data kualitatif mengenai persepsi peserta terhadap aspek materi pelatihan, aspek pelaksanaan pelatihan, aspek peningkatan kompetensi, dan aspek dampak dan keberlanjutan implementasi hasil pelatihan dalam pembelajaran.

Aspek materi pelatihan berfokus pada kualitas dan relevansi isi pelatihan terhadap kebutuhan peserta dan dunia industri. Penilaian meliputi kesesuaian materi dengan kebutuhan pembelajaran, yaitu sejauh mana materi yang disampaikan sesuai dengan kompetensi guru SMK dalam bidang otomasi dan IoT. Aspek keteraturan dan kejelasan penyajian materi menilai bagaimana materi diorganisir secara sistematis dan mudah dipahami, mulai dari konsep dasar hingga penerapan praktis. Selanjutnya, kelengkapan dan kedalaman materi teknis mencakup sejauh mana pelatihan memberikan pemahaman komprehensif, termasuk praktik langsung menggunakan trainer kit PLC berbasis IoT. Pelatihan ini juga menerapkan pendekatan STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) untuk menumbuhkan kreativitas, berpikir kritis, dan kemampuan problem solving peserta. Terakhir, relevansi materi dengan dunia industri memastikan bahwa seluruh topik pelatihan selaras dengan perkembangan teknologi otomasi dan kebutuhan industri 4.0, sehingga hasil pelatihan dapat langsung diterapkan dalam pembelajaran di SMK maupun di lingkungan kerja industri. Hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 9.

Tabel 1. Hasil evaluasi aspek materi pelatihan

No.	Aspek Materi Pelatihan	Nilai Rata-rata	Keterangan
1	Kesesuaian Materi dengan Kebutuhan Pembelajaran	4.64	1 = Sangat Tidak Setuju
2	Keteraturan dan Kejelasan Penyajian Materi	4.71	2 = Tidak Setuju
3	Kelengkapan dan Kedalaman Materi Teknis	4.50	3 = Cukup Setuju
4	Integrasi Pendekatan STEAM	4.71	4 = Setuju
5	Relevansi Materi dengan Dunia Industri	4.86	5 = Sangat Setuju



Gambar 9. Grafik radar terkait penilaian aspek materi pelatihan

Berdasarkan hasil penilaian terhadap aspek materi pelatihan yang disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 9, dapat disimpulkan bahwa persepsi peserta terhadap kualitas materi pelatihan menunjukkan kecenderungan yang sangat positif.

Seluruh indikator memperoleh nilai rata-rata di atas 4,5 dalam skala lima poin, yang menunjukkan tingkat persetujuan tinggi hingga sangat tinggi terhadap kesesuaian, kejelasan, dan relevansi materi yang diberikan.

Secara rinci, aspek relevansi materi dengan dunia industri memperoleh skor tertinggi yaitu 4,86, menandakan bahwa materi pelatihan dinilai sangat relevan dengan kebutuhan dan perkembangan industri terkini. Aspek keteraturan dan kejelasan penyajian materi serta integrasi pendekatan STEAM masing-masing memperoleh nilai 4,71, menunjukkan bahwa materi tersusun secara sistematis dan telah mengadopsi pendekatan pembelajaran interdisipliner yang efektif.

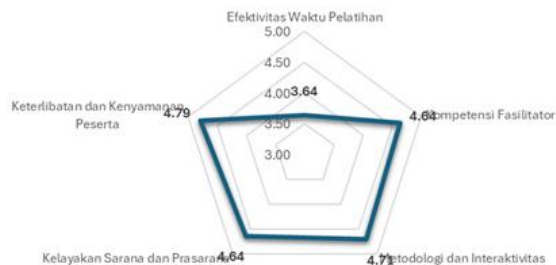
Sementara itu, kesesuaian materi dengan kebutuhan pembelajaran memperoleh nilai 4,64, mengindikasikan bahwa konten pelatihan telah dirancang sesuai dengan kebutuhan peserta dalam konteks pembelajaran vokasional maupun profesional. Aspek dengan nilai relatif paling rendah, meskipun tetap dalam kategori tinggi, adalah kelengkapan dan kedalaman materi teknis dengan skor 4,50. Hal ini mencerminkan adanya ruang untuk penyempurnaan pada bagian teknis agar materi lebih komprehensif dan mendalam.

Secara keseluruhan, pola data pada grafik radar menunjukkan distribusi nilai yang konsisten dan merata, dengan kecenderungan skor mendekati nilai maksimum. Temuan ini menegaskan bahwa materi pelatihan telah memenuhi standar kualitas yang baik dalam hal relevansi, kejelasan, serta penerapan pendekatan pembelajaran yang mendukung keterhubungan antara dunia pendidikan dan industri.

Aspek pelaksanaan pelatihan berfokus pada bagaimana kegiatan berjalan secara efektif dan memberikan pengalaman belajar yang optimal bagi peserta. Penilaian dimulai dari efektivitas waktu pelatihan, yaitu sejauh mana alokasi waktu digunakan secara efisien untuk penyampaian materi teori dan praktik tanpa mengurangi kedalaman pemahaman. Selanjutnya, kompetensi fasilitator dievaluasi berdasarkan kemampuan dalam menguasai materi teknis, menjelaskan konsep secara jelas, serta membimbing peserta selama kegiatan praktik. Aspek metodologi dan interaktivitas mencerminkan pendekatan pembelajaran yang digunakan—apakah bersifat partisipatif, mendorong diskusi, dan memberikan kesempatan bagi peserta untuk langsung mencoba serta memecahkan permasalahan nyata. Kelayakan sarana dan prasarana juga menjadi faktor penting, termasuk kesiapan perangkat trainer kit PLC berbasis IoT, ruang pelatihan, dan ketersediaan jaringan internet yang mendukung. Terakhir, keterlibatan dan kenyamanan peserta mencerminkan tingkat antusiasme, partisipasi aktif, serta suasana pelatihan yang mendukung proses belajar secara efektif dan menyenangkan. Hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 10.

Tabel 2. Hasil evaluasi aspek pelaksanaan pelatihan

No.	Aspek Pelaksanaan Pelatihan	Nilai Rata-rata	Keterangan
1	Efektivitas Waktu Pelatihan	3.64	1 = Sangat Tidak Setuju
2	Kompetensi Fasilitator	4.64	2 = Tidak Setuju
3	Metodologi dan Interaktivitas	4.71	3 = Cukup Setuju
4	Kelayakan Sarana dan Prasarana	4.64	4 = Setuju
5	Keterlibatan dan Kenyamanan Peserta	4.79	5 = Sangat Setuju



Gambar 10. Grafik radar terkait penilaian aspek pelaksanaan pelatihan

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan Gambar 10 mengenai penilaian terhadap aspek pelaksanaan pelatihan, diperoleh gambaran umum bahwa pelaksanaan pelatihan telah berlangsung dengan baik dan memperoleh tingkat kepuasan yang tinggi dari peserta. Nilai rata-rata dari kelima aspek yang diukur menunjukkan persepsi positif dengan rentang skor antara 3,64 hingga 4,79 pada skala Likert 1–5.

Secara rinci, aspek Efektivitas Waktu Pelatihan memperoleh nilai rata-rata 3,64 yang termasuk kategori cukup setuju, menunjukkan bahwa sebagian peserta menilai durasi dan alokasi waktu pelatihan sudah cukup memadai, meskipun masih terdapat ruang untuk optimalisasi dalam pengelolaan waktu.

Aspek Kompetensi Fasilitator memperoleh skor rata-rata 4,64, menunjukkan bahwa peserta memiliki tingkat kepercayaan dan apresiasi yang tinggi terhadap kemampuan serta penguasaan materi oleh fasilitator. Demikian pula, aspek Metodologi dan Interaktivitas mendapatkan skor 4,71 yang mengindikasikan bahwa pendekatan pembelajaran dan interaksi yang diterapkan sangat efektif dalam mendukung pemahaman peserta.

Selanjutnya, aspek Kelayakan Sarana dan Prasarana juga memperoleh nilai rata-rata 4,64, mencerminkan bahwa fasilitas dan lingkungan pelatihan dinilai layak dan mendukung proses pembelajaran. Adapun aspek Keterlibatan dan Kenyamanan Peserta menempati posisi tertinggi dengan skor rata-rata 4,79, menunjukkan bahwa peserta merasa sangat terlibat, nyaman, dan puas selama mengikuti kegiatan pelatihan.

Secara keseluruhan, hasil penilaian ini menggambarkan bahwa pelaksanaan pelatihan telah berjalan dengan efektif, baik dari segi fasilitator, metode, maupun dukungan sarana dan prasarana. Namun demikian, aspek efektivitas waktu perlu menjadi perhatian untuk peningkatan kualitas pelatihan pada periode berikutnya agar seluruh aspek dapat mencapai tingkat kepuasan maksimal.

Aspek peningkatan kompetensi menilai sejauh mana pelatihan berkontribusi terhadap pengembangan kemampuan guru secara menyeluruh. Peningkatan pemahaman konseptual mencakup kemampuan peserta dalam memahami prinsip dasar PLC, IoT, dan sistem kendali modern. Kemampuan integrasi teknologi menilai sejauh mana guru dapat menggabungkan konsep otomasi dan IoT dalam kegiatan pembelajaran maupun proyek praktik. Aspek peningkatan kepercayaan diri profesional terlihat dari kemampuan guru untuk mengajar dan mengimplementasikan teknologi baru dengan lebih yakin.

Sementara itu, kemampuan aplikatif dan proyek inovatif menyoroti penerapan langsung materi pelatihan dalam bentuk proyek atau simulasi nyata di sekolah. Terakhir, penerapan pedagogis berbasis STEAM-IoT menilai kemampuan guru dalam merancang pembelajaran kreatif yang menggabungkan aspek sains, teknologi, rekayasa, seni, dan matematika dengan konteks IoT secara integratif.

Tabel 3. Hasil evaluasi aspek pelaksanaan pelatihan

No.	Aspek Peningkatan Kompetensi	Nilai Rata-rata	Keterangan
1	Peningkatan Pemahaman Konseptual	4.86	1 = Sangat Tidak Setuju
2	Kemampuan Integrasi Teknologi	4.57	2 = Tidak Setuju
3	Peningkatan Kepercayaan Diri Profesional	4.50	3 = Cukup Setuju
4	Kemampuan Aplikatif dan Proyek Inovatif	4.50	4 = Setuju
5	Penerapan Pedagogis Berbasis STEAM-IoT	4.50	5 = Sangat Setuju



Gambar 11. Grafik radar terkait penilaian aspek peningkatan kompetensi

Berdasarkan data Tabel 3 dan Grafik 11 terkait penilaian aspek peningkatan kompetensi, diperoleh gambaran bahwa seluruh indikator menunjukkan tingkat persepsi peserta yang sangat positif. Secara umum, nilai rata-rata seluruh aspek berada di atas skor 4,50 pada skala lima poin, yang berarti berada pada kategori “Sangat Setuju”. Hal ini mengindikasikan bahwa pelatihan yang dilaksanakan memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan kompetensi peserta.

Secara rinci, aspek Peningkatan Pemahaman Konseptual memperoleh skor tertinggi sebesar 4,86, menunjukkan bahwa peserta merasa pelatihan ini sangat efektif dalam memperdalam pemahaman teoritis dan konseptual terhadap materi yang diberikan. Aspek Kemampuan Integrasi Teknologi menempati posisi kedua dengan nilai 4,57, menandakan bahwa pelatihan ini mampu memperkuat kemampuan peserta dalam mengintegrasikan teknologi, khususnya dalam konteks sistem otomasi dan IoT.

Selanjutnya, tiga aspek lainnya—Peningkatan Kepercayaan Diri Profesional, Kemampuan Aplikatif dan Proyek Inovatif, serta Penerapan Pedagogis Berbasis STEAM-IoT—masing-masing memperoleh nilai rata-rata 4,50. Hal ini menunjukkan bahwa pelatihan tidak hanya memperkaya aspek pengetahuan dan keterampilan teknis, tetapi juga mendorong peningkatan kepercayaan diri serta kemampuan peserta dalam mengaplikasikan konsep yang diperoleh ke dalam pembelajaran dan proyek inovatif.

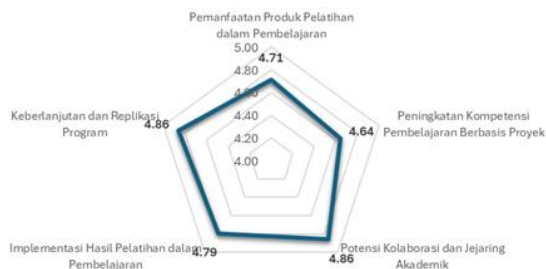
Secara keseluruhan, profil data menunjukkan bahwa pelatihan ini telah memberikan pengaruh positif dan merata terhadap berbagai dimensi peningkatan

kompetensi peserta, baik dari sisi konseptual, teknologis, maupun pedagogis. Temuan ini menegaskan bahwa kegiatan pelatihan memiliki relevansi dan efektivitas yang tinggi dalam mendukung pengembangan profesional berbasis pendekatan STEAM dan teknologi IoT.

Aspek dampak dan keberlanjutan menilai sejauh mana hasil pelatihan memberikan manfaat jangka panjang bagi peserta dan lembaga. Pemanfaatan produk pelatihan dalam pembelajaran mencakup penggunaan langsung trainer kit PLC berbasis IoT sebagai media ajar di kelas. Peningkatan kompetensi pembelajaran berbasis proyek menilai kemampuan guru mengembangkan kegiatan belajar yang mendorong siswa untuk berpikir kritis dan berinovasi. Aspek potensi kolaborasi dan jejaring akademik melihat peluang kerja sama antara SMK, perguruan tinggi, dan industri dalam pengembangan teknologi otomasi. Implementasi hasil pelatihan dalam pembelajaran menunjukkan sejauh mana materi dan keterampilan yang diperoleh diterapkan secara nyata di sekolah. Terakhir, keberlanjutan dan replikasi program menilai kemampuan mitra untuk melanjutkan kegiatan pelatihan serupa secara mandiri serta mengadaptasinya di lingkungan SMK lain.

Tabel 4. Hasil evaluasi aspek dampak dan keberlanjutan

No.	Aspek Dampak dan Keberlanjutan	Nilai Rata-rata	Keterangan
1	Pemanfaatan Produk Pelatihan dalam Pembelajaran	4.71	1 = Sangat Tidak Setuju
2	Peningkatan Kompetensi Pembelajaran Berbasis Proyek	4.64	2 = Tidak Setuju
3	Potensi Kolaborasi dan Jejaring Akademik	4.86	3 = Cukup Setuju
4	Implementasi Hasil Pelatihan dalam Pembelajaran	4.79	4 = Setuju
5	Keberlanjutan dan Replikasi Program	4.86	5 = Sangat Setuju



Gambar 12. Grafik radar terkait penilaian aspek dampak dan keberlanjutan

Berdasarkan hasil penilaian terhadap aspek dampak dan keberlanjutan pelatihan yang ditampilkan pada tabel dan grafik radar, diperoleh gambaran umum bahwa seluruh indikator memperoleh skor rata-rata yang sangat tinggi, yaitu berada pada rentang nilai 4,64 hingga 4,86. Hal ini menunjukkan bahwa peserta pelatihan memberikan penilaian sangat setuju terhadap efektivitas dan keberlanjutan hasil pelatihan dalam konteks pembelajaran dan pengembangan akademik.

Secara rinci, aspek keberlanjutan dan replikasi program serta potensi kolaborasi dan jejaring akademik menempati nilai tertinggi, masing-masing sebesar 4,86. Nilai ini mengindikasikan bahwa pelatihan tidak hanya berdampak

positif pada individu peserta, tetapi juga membuka peluang pengembangan kerja sama akademik yang lebih luas serta potensi replikasi kegiatan di lingkungan institusi lain.

Aspek implementasi hasil pelatihan dalam pembelajaran memperoleh skor 4,79, yang mencerminkan bahwa hasil pelatihan telah diterapkan dengan baik dalam kegiatan pembelajaran, baik melalui penerapan teknologi, metode baru, maupun integrasi hasil proyek ke dalam kegiatan belajar-mengajar.

Selanjutnya, aspek pemanfaatan produk pelatihan dalam pembelajaran memperoleh skor 4,71, menunjukkan bahwa produk atau keluaran dari pelatihan telah dimanfaatkan secara optimal dalam mendukung kegiatan belajar. Sementara itu, aspek peningkatan kompetensi pembelajaran berbasis proyek memperoleh skor 4,64, yang meskipun menjadi nilai terendah di antara indikator lainnya, tetap berada pada kategori sangat setuju dan menegaskan efektivitas pelatihan dalam meningkatkan kemampuan peserta dalam pembelajaran berbasis proyek.

Secara keseluruhan, hasil ini memperlihatkan bahwa pelatihan memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan kualitas pembelajaran, kolaborasi akademik, serta keberlanjutan program, yang menjadi indikator kuat keberhasilan implementasi pelatihan dalam jangka panjang.

Pada evaluasi program, peserta diminta juga untuk memberikan masukan terhadap pelaksanaan program pengabdian ini. Berdasarkan masukan yang diberikan, pelatihan ini dinilai sangat bermanfaat dalam meningkatkan kompetensi peserta, khususnya guru dan dosen di bidang IoT dan sistem kendali berbasis PLC. Peserta menyatakan bahwa materi yang disampaikan bersifat baru, relevan dengan bidang Instrumentasi, serta memberikan pemahaman mendalam mengenai konfigurasi dan integrasi antara PLC dengan sistem IoT. Hal ini menunjukkan bahwa pelatihan mampu menjembatani kebutuhan dunia pendidikan dengan perkembangan teknologi industri 4.0.

Selain memberikan pemahaman konseptual, pelatihan juga menekankan pendekatan praktis melalui kegiatan langsung seperti pemrograman ladder pada CX-Programmer, penggunaan Node-RED untuk visualisasi data, serta implementasi sensor dan aktuator pada trainer. Pendekatan ini dinilai efektif karena peserta dapat langsung mencoba dan memahami proses integrasi sistem secara nyata.

Secara keseluruhan, pelatihan ini berhasil menambah wawasan, memperkuat pemahaman teknis, serta memperkaya referensi peserta dalam bidang otomasi dan IoT. Kegiatan ini berkontribusi positif dalam meningkatkan profesionalisme pendidik, sekaligus mendukung pengembangan pembelajaran berbasis smart automation system yang sesuai dengan tuntutan era digital dan industri modern.

Berdasarkan hasil pengumpulan masukan dari peserta pelatihan, terdapat sejumlah saran yang konstruktif dan bernilai strategis untuk peningkatan kualitas kegiatan serupa di masa mendatang. Secara umum, saran tersebut dapat dikategorikan ke dalam tiga aspek utama, yaitu (1) keberlanjutan dan kemitraan program, (2) pengembangan materi dan perangkat pelatihan, serta (3) optimalisasi waktu dan metode pembelajaran.

Saran pada keberlanjutan program dan penguatan kolaborasi, sebagian besar peserta mengharapkan agar program pelatihan dapat berlanjut secara periodik dan diiringi dengan kerja sama yang berkesinambungan antara pihak penyelenggara, perguruan tinggi, dan sekolah mitra. Harapan ini menunjukkan adanya dampak positif dan relevansi tinggi dari kegiatan pelatihan terhadap kebutuhan pengembangan kompetensi guru dan dosen di bidang otomasi industri dan Internet of Things (IoT).

Selain itu, usulan untuk menyelenggarakan kembali kegiatan serupa dalam bentuk Focus Group Discussion (FGD) juga menandakan pentingnya menjaga *link and match* antara dunia pendidikan vokasi dan kebutuhan industri. Kegiatan lanjutan seperti FGD dapat menjadi wadah reflektif untuk mengevaluasi implementasi hasil pelatihan di lapangan sekaligus menyusun rencana pengembangan yang lebih adaptif.

Saran pada pengembangan sistem, materi, dan alat praktik, beberapa peserta memberikan saran untuk mengembangkan sistem aplikasi pengendalian yang lebih interaktif dan memperluas cakupan penerapan IoT serta Industrial IoT (IIoT) pada berbagai jenis peralatan, seperti shorting machine atau sistem berbasis industri lainnya. Hal ini mencerminkan antusiasme peserta terhadap eksplorasi teknologi yang lebih kompleks dan aplikatif.

Selain itu, saran terkait peningkatan jumlah trainer PLC berbasis IoT, penambahan jenis sensor dan aktuator, serta pengintegrasian teknologi kecerdasan buatan (AI) menunjukkan arah pengembangan pelatihan menuju konsep otomasi cerdas (smart automation) yang selaras dengan kebutuhan industri 4.0. Pengayaan alat dan materi praktik tersebut akan sangat mendukung pembelajaran yang lebih kontekstual dan berbasis proyek (project-based learning).

Saran pada optimalisasi durasi dan pendampingan praktik: aspek waktu menjadi salah satu perhatian utama peserta. Banyak yang menyarankan agar durasi pelatihan ditambah, baik dalam bentuk jam pertemuan yang lebih panjang maupun alokasi waktu praktik yang lebih luas. Hal ini penting terutama bagi peserta yang baru pertama kali mengenal sistem PLC dan integrasinya dengan IoT. Pendekatan pendampingan individual dan praktik langkah demi langkah juga disarankan agar proses pembelajaran menjadi lebih inklusif dan efektif bagi semua peserta, tanpa terkendala oleh perbedaan tingkat pemahaman awal. Penyesuaian durasi dan pola pendampingan ini dapat meningkatkan learning outcomes sekaligus memperkuat transfer pengetahuan dari pelatih kepada peserta.

Secara keseluruhan, saran yang diberikan peserta menunjukkan tingginya tingkat kepedulian dan apresiasi terhadap pelatihan yang telah dilaksanakan. Masukan-masukan tersebut berpotensi besar untuk dijadikan dasar penyusunan strategi pengembangan pelatihan berikutnya yang lebih komprehensif, interaktif, dan berkelanjutan. Dengan menindaklanjuti rekomendasi ini, diharapkan program pelatihan ke depan tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis peserta dalam bidang PLC dan IoT, tetapi juga memperkuat ekosistem kolaboratif antara dunia pendidikan vokasi dan industri manufaktur cerdas.

SIMPULAN

Program pengabdian kepada masyarakat ini secara keseluruhan berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan sejak awal, yaitu meningkatkan kompetensi guru SMK Negeri 1 Cimahi dalam menerapkan teknologi otomasi industri berbasis PLC dan IoT serta menyediakan media pembelajaran yang relevan melalui pengembangan satu unit trainer kit PLC-IoT. Peningkatan kompetensi guru dapat ditunjukkan melalui bukti empiris berupa kenaikan nilai rata-rata dari pre-test sebesar 71,43 menjadi 92,86 pada post-test, yang mengindikasikan peningkatan yang signifikan dalam penguasaan konsep dasar PLC, integrasi IoT, dan aplikasi sistem kendali. Hasil ini memperlihatkan bahwa kesenjangan kompetensi yang sebelumnya diidentifikasi pada tahap analisis kebutuhan telah dapat diperkecil melalui pelatihan berbasis praktik intensif.

Trainer kit PLC-IoT yang dikembangkan juga telah melalui uji fungsi dan digunakan secara langsung dalam praktik pembelajaran, sehingga mampu menjawab permasalahan mitra terkait keterbatasan media praktik otomasi berbasis IoT. Kehadiran trainer kit tersebut tidak hanya memperkuat aspek teknis pembelajaran, tetapi juga mendorong guru untuk mengembangkan aktivitas belajar berbasis proyek yang lebih inovatif dan relevan dengan ekosistem Industri 4.0. Selain memberikan manfaat jangka pendek berupa peningkatan kemampuan teknis, kegiatan PkM ini turut menghasilkan dampak jangka panjang melalui terbentuknya keterhubungan yang lebih kuat antara perguruan tinggi dan sekolah vokasi, serta meningkatnya kesiapan guru dalam mengintegrasikan teknologi otomasi cerdas ke dalam proses pembelajaran.

Meskipun menunjukkan hasil positif, pelaksanaan program ini masih menghadapi beberapa keterbatasan, khususnya terkait alokasi waktu pelatihan yang dinilai belum cukup untuk mendalami seluruh aspek teknis, serta jumlah trainer kit yang masih terbatas sehingga belum sepenuhnya mengakomodasi kebutuhan seluruh peserta. Keterbatasan ini membuka peluang perbaikan pada kegiatan berikutnya, termasuk penambahan sarana praktik, perluasan cakupan materi, dan pengembangan modul digital berbasis IoT yang lebih komprehensif. Keberlanjutan program sangat mungkin diwujudkan melalui pendampingan lanjutan, replikasi kegiatan di SMK lain, serta pembentukan jejaring kolaboratif yang lebih luas antara perguruan tinggi, sekolah vokasi, dan mitra industri.

Secara ilmiah, program ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan model pelatihan berbasis proyek yang mengintegrasikan PLC, IoT, dan pendekatan pedagogis STEAM dalam konteks pendidikan vokasi Indonesia. Pendekatan tersebut terbukti efektif meningkatkan kompetensi teknis sekaligus mendorong kemampuan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif pada guru. Dengan demikian, kegiatan ini dapat menjadi rujukan bagi institusi pendidikan vokasi lainnya dalam merancang intervensi peningkatan kompetensi guru yang adaptif terhadap kebutuhan industri modern serta mendukung penguatan kualitas lulusan SMK menuju kesiapan implementasi Industri 4.0.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas pendanaan melalui Program BIMA Kemdiktisaintek Pengabdian kepada Masyarakat Nomor: 017/C3/DT.05.00/PM/2025, sehingga kegiatan ini dapat terlaksana dengan baik dan lancar. Terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Sekolah SMK Negeri 1 Cimahi Bapak Agus Priyatmono Nugroho, S.Pd., M.Si., Waka. Bid. Hubungan Industri Bapak Tresna Yogaswara, S.Pd., M.T., serta Ketua Konsentrasi Keahlian Teknik Otomasi Industri Bapak Adi Supriyadi, S.Pd., beserta seluruh guru dan staf SMK Negeri 1 Cimahi yang telah memberikan dukungan penuh selama proses pelaksanaan kegiatan. Dukungan dan kerja sama yang baik dari seluruh pihak telah berkontribusi besar terhadap keberhasilan program pengabdian kepada masyarakat ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Anwar, C., Sofyan, H., Ratnaningsih, N., & Muh. Asriadi, A. M. (2024). Digital technology practices for vocational teachers in the industrial revolution 4.0: Mediating technology self-efficacy. *Journal of Pedagogical Research*, 8(1), 172–190. <https://doi.org/10.33902/JPR.202424585>
- Folgado, F. J., Calderón, D., González, I., & Calderón, A. J. (2024). Review of Industry 4.0 from the Perspective of Automation and Supervision Systems: Definitions, Architectures and Recent Trends. In *Electronics (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/electronics13040782>
- Hariyono. (2023). Industry-based economic education curriculum 4.0 in vocational high schools. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 4(9), 1327–1334. <https://doi.org/10.59141/jist.v4i10.708>
- Hastutiningsih, A. D., Sugiyono, S., Suyanto, S., & Ashyrynepesov, V. (2024). Evaluation of vocational education management in the era of the fourth industrial revolution and society 5.0 at SMKN 2 Pengasih. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 30(1), 51–61. <https://doi.org/10.21831/jptk.v30i1.70013>
- Kerimbayev, N., Umirzakova, Z., Shadiev, R., & Jotsov, V. (2023). A student-centered approach using modern technologies in distance learning: a systematic review of the literature. *Smart Learning Environments*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00280-8>
- Mellado, J., & Núñez, F. (2022). Design of an IoT-PLC: A containerized programmable logical controller for the industry 4.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 25, 100250. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2021.100250>
- Muharam, R. S., Anita Afrilia, U., & Sudarma, S. (2025). Integrating vocational education and industry through public policy: Towards excellent and competitive human capital. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Arts*, 4(2), 65–74. <https://doi.org/10.47709/ijmdsa.v4i2.6097>
- Nurjanah, I., Ana, A., & Masek, A. (2022). Systematic literature review: Work readiness of vocational high school graduates in facing the industrial 4.0 era.

- Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 28(2), 139–153.
<https://doi.org/10.21831/jptk.v28i1.48522>
- Sholeh, F. dilla, Suryatini, F., Wisma Nugraha, N., & Lilansa, N. (2025). Water temperature control system with PID control method and fuzzy logic based on SCADA. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 177–183.
<https://doi.org/10.23917/emitor.v25i2.11064>
- Siliņa-Jasjukeviča, G., Lūsēna-Ezera, I., Iliško, D., & Surikova, S. (2025). Promoting effective vocational education and training teacher's professional development and its transfer to practice: A systematic review. *Education Sciences*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/educsci15050596>
- Supriyanto, H., Suryatini, F., Rohman, A., Martawireja, H., Rudiansyah, H., Teknik, J., Manufaktur, O., Mekatronika, D., & Manufaktur Bandung, P. (2022). Implementasi kontroler PID dengan metode tuning ziegler-nichols dan cohen-coon pada sistem scada kendali level air. *Jurnal Teknologi Terapan* |, 8(2). 149-157. <https://doi.org/10.31884/jtt.v8i2.410>
- Suryatini, F., Supriyanto, H., Rokhim, I., Martawireja, A. R. H., & Husen, A. (2023). Optimasi kendali ketinggian air dengan kontroler fuzzy PID dalam menghadapi variabel gangguan. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(4), 998.
<https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i4.998>
- Suryatini, F., Salam, A., & Natasha, S. (2024). Water level control in coupled tank system with PLC and IoT-Based PID method. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 13(4). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i4.4127>
- Yao, K. C., Lin, C. L., & Pan, C. H. (2024). Industrial sustainable development: The development trend of programmable logic controller technology. *Sustainability (Switzerland)*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/su16146230>