

Penguatan kompetensi manufaktur berbasis robotik di SMK untuk kesiapan kerja industri 4.0

Sarosa Castrena Abadi*, Aris Budiarto, Sandy Bhawana Mulia

Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, Indonesia

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

Info Artikel

Riwayat Artikel

Diajukan: 2025-08-23

Diterima: 2025-10-16

Diterbitkan: 2025-11-02



Lisensi: cc-by-sa

Copyright © 2025 Penulis

ABSTRAK

Pendidikan vokasi SMK menghadapi kesenjangan kompetensi pada teknologi robotika manufaktur. Artikel ini bertujuan mengevaluasi intervensi pembelajaran berbasis collaborative robot (cobot) melalui pengenalan dan praktik terintegrasi. Program mengembangkan teaching aid cobot terintegrasi PLC dan HMI Berbasis IoT serta menerapkan pelatihan intensif dua hari (16 jam) kepada 34 peserta (guru dan siswa) di SMK mitra. Metode mencakup desain pengembangan perangkat, pelatihan berbasis proyek, pendampingan daring, serta evaluasi kuantitatif (pre-test dan post-test) dan umpan balik kuesioner; sebagian peserta mengikuti asesmen sertifikasi pihak ketiga. Hasil menunjukkan peningkatan kompetensi yang signifikan (rata-rata skor post-test melampaui pre-test), dengan sikap dan antusiasme peserta pada kategori tinggi, meski penguasaan teknis masih membutuhkan penguatan praktik. Kebaruan program terletak pada integrasi lowcost teaching aid cobot yang mereplikasi ekosistem otomasi industri (cobot, PLC, HMI) dan skema kemitraan antara SMK, perguruan tinggi, dan industri yang memungkinkan adopsi kurikulum praktik secara berkelanjutan. Disimpulkan bahwa pendekatan ini efektif meningkatkan kompetensi manufaktur berbasis robotik dan kesiapan kerja siswa, serta layak direplikasi dengan penyesuaian konteks dan alokasi waktu praktik tambahan pada aspek teknis.

Kata Kunci: collaborative robot; integrasi PLC-HMI; pendidikan vokasi SMK

Cara mensitasi artikel:

Abadi, S. C., Budiarto, A., & Mulia, S. B. (2025). Penguatan kompetensi manufaktur berbasis robotik di SMK untuk kesiapan kerja industri 4.0. *Jurnal Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat (JP2M)*, 6(4), 1400–1410. <https://doi.org/10.33474/jp2m.v6i4.24277>

PENDAHULUAN

Perkembangan otomasi manufaktur menuntut kompetensi robotika yang tidak hanya berfokus pada operasi alat, tetapi juga pada integrasi, pemrograman, dan troubleshooting sel kolaboratif yang aman. Collaborative robot (cobot) dirancang untuk bekerja berdampingan dengan manusia dengan batas gaya/tenaga sesuai pedoman keselamatan ISO/TS 15066, yang melengkapi standar robot industri konvensional (International Organization for Standardization [ISO], 2016; Chemweno et al., 2020). Secara global, instalasi cobot menunjukkan porsi yang relatif stabil di kisaran $\pm 10\%$ dari total instalasi robot industri dan berperan sebagai pintu masuk otomasi karena kemudahan implementasi dan biaya lebih terjangkau dibanding sel berpagar (International

Federation of Robotics [IFR], 2024a, 2024b). Dinamika ini berimplikasi langsung pada profil keterampilan yang dibutuhkan industri yaitu sekolah menengah kejuruan perlu mengakselerasi kemampuan integratif antara robot, sensor, PLC, dan HMI, bukan pembelajaran yang terfragmentasi per perangkat.

Pada tataran kebijakan nasional, penguatan pendidikan vokasi menekankan link and match melalui kurikulum bersama yang disinkronkan rutin, pembelajaran berbasis produksi (teaching factory), serta kemitraan berkelanjutan dengan industri. Namun, berbagai pemetaan menunjukkan masih terdapat kesenjangan keterampilan pada ranah otomasi terapan, terutama pada integrasi PLC-HMI dan penerapan keselamatan sel kolaboratif, yang berdampak pada transisi lulusan ke *shopfloor*. Riset terbaru di konteks Indonesia juga mengindikasikan efektivitas media praktik otomasi terintegrasi (PLC/VSD/HMI) dalam meningkatkan capaian kompetensi terapan siswa vokasi, menegaskan pentingnya paparan ekosistem yang menyerupai kondisi industri (Suginardha et al., 2025).

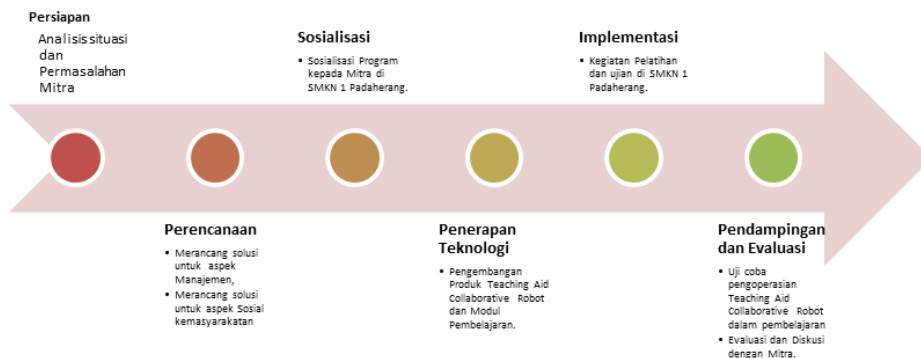
Pada konteks lokal, SMK Negeri 1 Padaherang telah memiliki paparan otomasi/robotika dasar, akan tetapi pemahaman tentang konsep kolaborasi manusia dan robot sesuai ISO/TS 15066 serta integrasi cobot dengan PLC-HMI untuk skenario manufaktur nyata masih terbatas. Pembelajaran cenderung prosedural (alat dipelajari terpisah), sehingga kemampuan penyusunan, konfigurasi, dan evaluasi sel kolaboratif belum terbentuk kuat. Kondisi pasar kerja di sekitar mitra masih didominasi industri manufaktur skala kecil atau menengah serta menuntut teknisi yang mampu menangani integrasi perangkat dan penjaminan keselamatan kerja secara menyeluruh. Kesenjangan ini, bila tidak diatasi, berpotensi menurunkan keterlacakan kompetensi lulusan dan memperlemah kesiapan kerja di sektor otomasi lokal.

Rumusan masalah dalam kajian ini menitikberatkan pada pemetaan sekaligus mengurangi kesenjangan keterampilan robotika manufaktur di mitra, khususnya pada integrasi cobot, PLC-HMI dan aspek keselamatannya agar selaras dengan praktik industri, serta pada perancangan pembelajaran berbasis tugas industri yang berfokus pada peningkatan kompetensi integratif guru dan siswa secara terukur. Sejalan dengan itu, tujuan kegiatan adalah mengidentifikasi profil kesenjangan kompetensi pada bidang cobot, PLC-HMI dan keselamatan, meningkatkan kompetensi integratif melalui pendekatan berbasis proyek yang relevan dengan kondisi *shopfloor*, dan mendokumentasikan capaian beserta implikasi praktisnya bagi penguatan kurikulum vokasi setempat. Kebaruan artikel ini terletak pada penekanan integrasi cobot, PLC-HMI sebagai satuan praktik manufaktur kolaboratif yang dirujuk pada pedoman keselamatan mutakhir, serta penautannya dengan kebutuhan nyata mitra di tingkat lokal (ISO, 2016; IFR, 2024a; Suginardha et al., 2025).

METODE

Pelaksanaan program pengabdian ini menggunakan pendekatan Partisipatif dan Berbasis Proyek (PBL), yang dirancang secara sistematis melalui lima tahapan utama. Metode ini melibatkan kolaborasi aktif antara SMK Negeri 1 Padaherang (mitra) dan tim pelaksana dari Politeknik Manufaktur Bandung. Secara

keseluruhan, metodologi mencakup Persiapan, Perencanaan, Sosialisasi, Penerapan Teknologi, Implementasi, serta Pendampingan dan Evaluasi.



Gambar 1. Diagram alir tahapan pelaksanaan program

Tahap awal program ini berfokus pada validasi kebutuhan dan perumusan solusi teknis. Kegiatan dimulai dengan analisis situasi dan permasalahan mitra melalui observasi lapangan dan wawancara mendalam dengan guru dan manajemen SMK Negeri 1 Padaherang. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengidentifikasi kebutuhan spesifik pembelajaran. Hasil dari analisis ini kemudian digunakan untuk merumuskan solusi teknis yang tepat, yaitu pengembangan perangkat dan penyediaan pelatihan yang sesuai.

Setelah masalah teridentifikasi, tahap berikutnya ini mencakup perancangan solusi teknis dan persiapan materi ajar. Tim pelaksana melakukan desain dan pengembangan teknologi yang terintegrasi secara spesifik untuk mengatasi kekurangan sarana praktik dan minimnya pengalaman guru di sekolah mitra. Selain aspek teknis, pada tahap ini juga dilakukan perancangan solusi sosial kemasyarakatan, di mana tim menyusun Modul Pembelajaran Praktik yang relevan dan dapat disesuaikan untuk kurikulum praktik di sekolah mitra.

Selanjutnya pada tahap sosialisasi akan dilakukan untuk menyamakan persepsi dan memastikan dukungan penuh dari pihak mitra. Sosialisasi program dilaksanakan dengan memaparkan secara rinci tujuan, manfaat, dan rencana kegiatan kepada Kepala Sekolah, guru, dan perwakilan siswa. Sebagai bentuk partisipasi aktif mitra, pihak sekolah tidak hanya memberikan masukan konstruktif terhadap draf modul yang disusun, tetapi juga memberikan rekomendasi terkait komponen yang diperlukan dalam pembelajaran serta berkomitmen menyediakan fasilitas ruang praktik yang memadai untuk pelaksanaan kegiatan inti.

Tahapan Implementasi ini merupakan tahap inti dari program pengabdian ini, dimana kegiatan diwujudkan dalam bentuk pelatihan intensif yang diselenggarakan langsung di tempat Mitra. Pelatihan memiliki durasi jam efektif yang dibagi selama dua hari (16 Jam), dan melibatkan total peserta yang terdiri dari 4 orang guru dan 30 orang siswa. Proses pembelajaran menggunakan kombinasi ceramah singkat, demonstrasi, diskusi, dan praktik kelompok dengan pendekatan *Project Based Learning* (PBL).

Tahap terakhir yaitu, pendampingan dan evaluasi ini berfokus pada penguatan keterampilan pasca-pelatihan dan pengukuran kinerja program. Pendampingan dilakukan secara daring selama tiga bulan setelah kegiatan inti untuk mendukung guru dan siswa dalam penggunaan perangkat dan pengembangan proyek tambahan. Selanjutnya, dilakukan evaluasi kuantitatif dan kualitatif. Pengukuran pengetahuan dilakukan melalui *pre-test* dan *post-test* sementara kuesioner umpan balik digunakan untuk menilai efektivitas dan kualitas pelatihan. Untuk memvalidasi kompetensi praktik, sebagian peserta diikutsertakan dalam asesmen sertifikasi pihak ketiga. Tahap ini ditutup dengan uji coba pengoperasian dan diskusi dengan mitra untuk mengumpulkan umpan balik akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil observasi awal menunjukkan bahwa Konsentrasi Keahlian Teknik Otomasi Industri di sekolah mitra telah dilengkapi dengan sarana praktik dasar yang memadai, meliputi Trainer Kit PLC Dasar (14 unit PLC Schneider), Trainer Sensor, dan Trainer Elektropneumatik. Kit PLC dasar tersebut sudah berfungsi untuk pembelajaran *wiring*, pemrograman dasar, dan *interface* ke HMI. Namun, evaluasi mendalam mengidentifikasi kesenjangan signifikan yang membatasi kesiapan lulusan menghadapi Industri 4.0. Penggunaan perangkat yang ada belum optimal karena belum mencakup I/O analog, integrasi IoT, serta belum tersedianya *trainer collaborative robot*. Ketiadaan *collaborative robot* ini secara langsung menghambat pencapaian Elemen Sistem Robotik Industri, di mana peserta didik harus mampu memprogram dan mengoperasikan robot industri. Lebih lanjut, dari aspek kompetensi guru, meskipun guru cukup memahami dasar pengendalian dan otomasi, hanya 3 dari 6 guru (50%) yang memiliki pelatihan dan sertifikasi. Kondisi ini menunjukkan kebutuhan mendesak untuk peningkatan kompetensi guru ke level *intermediate* hingga *expert* melalui pelatihan lanjutan dan pemagangan industri.

Pelaksanaan program menghasilkan dua keluaran utama: (1) peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta terkait ekosistem otomasi kolaboratif, serta (2) penguatan sikap dan kesiapan belajar pada konteks praktik vokasi. Secara konseptual, capaian ini koheren dengan tujuan awal intervensi, yakni mengecilkan kesenjangan antara pembelajaran berbasis perangkat terpisah dan kebutuhan integratif di *shopfloor*. Pada titik ini, penekanan penting diletakkan bukan pada urutan kegiatan harian, melainkan pada makna pendidikan dari penggunaan *teaching aid* cobot yang mereplikasi konfigurasi industri (cobot, PLC-HMI) dan implikasinya terhadap pembelajaran berbasis proyek.

Tahap pertama intervensi adalah sosialisasi, yang berfungsi membangun pemahaman awal yang kuat dan dukungan kemitraan. Kegiatan ini mencakup pemberian penjelasan komprehensif mengenai tujuan, manfaat, dan *roadmap* pelaksanaan program selama delapan bulan. Selain itu, dilakukan diskusi mendalam untuk menyepakati spesifikasi *Teaching Aid Collaborative Robot* (Cobot) dan relevansinya dengan kurikulum, disesuaikan dengan capaian pembelajaran sekolah. Diskusi juga menetapkan jadwal pelatihan, alokasi peserta,

serta komitmen sekolah dalam penyediaan sarana pendukung. Masukan awal dari guru sangat berharga, seperti saran untuk menambahkan HMI berbasis IoT dan membuat Port Komunikasi PLC menjadi fleksibel agar dapat diubah jenis PLC-nya dengan *plant* yang sama. Secara pedagogis, sesi ini berfungsi sebagai fondasi agar strategi praktik dan evaluasi dipahami dengan cara yang sama oleh semua pihak



Gambar 2. Kegiatan sosialisasi ke tempat mitra

Perangkat pembelajaran yang dikembangkan memfasilitasi pengalaman “learning by doing” yang menjadi ciri kuat pendidikan vokasi. Relevansi pendekatan ini telah banyak ditegaskan, baik oleh kajian integrasi STEM dalam praktik guru (Wang et al., 2011) maupun ulasan kebutuhan kompetensi vokasi yang menuntut penguasaan proses, bukan sekadar hafalan konsep (Setiaji et al., 2020; Sulistyanto et al., 2021). Dalam konteks ini, teaching aid yang mereplikasi keterkaitan cobot, PLC-HMI bertindak sebagai jembatan kognitif yang menghubungkan konsep ke prosedur dan kinerja nyata, sehingga mengurangi fragmentasi pembelajaran per alat.

Proses penerapan teknologi untuk menciptakan media pedagogis ini meliputi perancangan desain mekanikal, elektrik, pemrograman, dan integrasi sistem yang kompleks dan terpadu. Seluruh tahap perancangan dan pengembangan ini dilakukan dengan melibatkan mahasiswa dari tim pelaksana sebagai bagian dari pengalaman belajar berbasis proyek. Keterlibatan mahasiswa ini penting untuk menjamin transfer teknologi dan pengembangan solusi yang aplikatif. *Teaching aid* yang dikembangkan didesain sebagai ekosistem praktik, dan dalam artikel ini diperlakukan sebagai *medium pedagogic* yang mendukung *learning by doing*. *Teaching aid* ini secara spesifik menawarkan integrasi pemrograman PLC yang dapat berkomunikasi dengan lengan robot dalam simulasi proses *pick and place* sortir benda logam dan non-logam. Sistem kontrol terpusat ini mereplikasi kondisi *shopfloor* industri sesungguhnya. Selain itu, alat ini juga dilengkapi fitur HMI berbasis IoT, yang secara fungsional memungkinkan gambaran proses kendali dan *monitoring* melalui akses jarak jauh (*remote*) menggunakan teknologi IoT kepada pengguna, khususnya siswa SMK. Fitur IoT ini merupakan aspek kebaruan yang disinkronkan dengan kebutuhan keterampilan di era digital.



Gambar 3. *Teaching aid collaborative robot* hasil penerapan teknologi

Gambar 3 memperlihatkan wujud *teaching aid* sebagai ekosistem praktik, yang dalam artikel ini diperlakukan sebagai *medium pedagogic*. Untuk uraian teknis rinci mengenai wiring, spesifikasi PLC/HMI, dan *detail teach pendant* dipindahkan ke lampiran agar fokus analisis di bagian hasil tidak terpecah oleh detail implementasi perangkat.

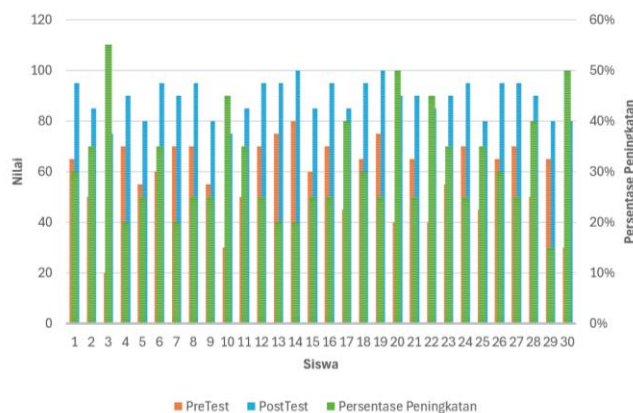


Gambar 4. Kegiatan implementasi program pengabdian

Implementasi program ini merupakan intervensi krusial yang ditujukan untuk meningkatkan kompetensi guru dan siswa SMK Negeri 1 Padaherang dalam mengoperasikan dan memprogram *Collaborative Robot* (Cobot), sebagai respon terhadap tuntutan kurikulum yang mendukung Industri 4.0. Pelatihan intensif ini melibatkan 34 peserta selama dua hari penuh (total 16 jam), menggunakan pendekatan *blended learning* yang mengombinasikan ceramah, seminar, diskusi, dan praktik berkelompok, untuk menjamin transfer pengetahuan teoretis dan penguasaan keterampilan psikomotorik. Hari pertama diawali dengan seminar "*The Future of Industry 4.0*" untuk memberikan konteks strategis, diikuti dengan pengenalan prinsip kerja dan keunggulan Cobot. Inti hari pertama adalah Workshop Cobot, di mana peserta dibagi dalam kelompok kecil untuk praktik langsung, meliputi pengenalan perangkat keras, simulasi lintasan, *teaching* robot menggunakan *teach pendant*, dan pemrograman dasar. Capaian utama hari pertama adalah kemampuan peserta untuk mengoperasikan Cobot secara

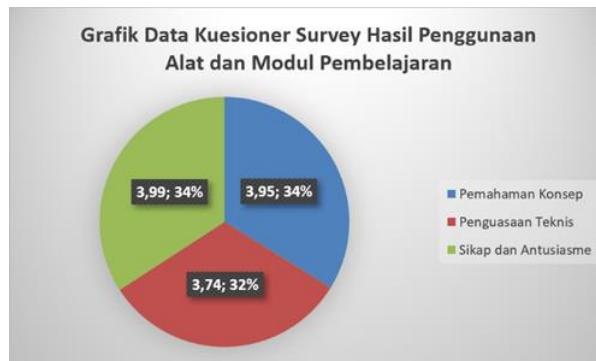
mandiri. Hari kedua difokuskan pada integrasi sistem otomasi yang kompleks, dimulai dari pengenalan keseluruhan *Teaching Aid* (Cobot, PLC Haiwell, HMI, dan *conveyor*). Peserta kemudian dilatih dalam konfigurasi dan pemrograman PLC Haiwell (termasuk *wiring* dan logika kontrol), diikuti dengan praktik desain HMI. Tahap akhir adalah praktik integrasi sistem penuh, di mana Cobot dihubungkan dengan PLC dan HMI, menghasilkan sistem *handling* otomasi yang fungsional yang dapat dikontrol melalui antarmuka layar sentuh.

Dari sisi kuantitatif, evaluasi kepada 30 siswa menunjukkan peningkatan skor rata-rata dari 57,66 (pre-test) menjadi 88,83 (post-test), atau kenaikan 31 poin. Untuk pelatihan berbasis praktik berdurasi singkat (± 16 jam efektif), lonjakan sebesar ini dapat dikategorikan substansial karena menunjukkan pergeseran dari tingkat penguasaan konseptual menengah ke atas menuju penguasaan yang lebih mapan pada materi yang diujikan. Secara pedagogik, interpretasi ini selaras dengan temuan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberi penguatan yang nyata pada transfer konsep ke tugas-tugas aplikatif (Wang et al., 2011) dan cocok bagi konteks vokasi Indonesia yang menekankan kesiapan kerja (Nurjanah et al., 2022).



Gambar 5. Grafik peningkatan kompetensi siswa

Gambar 5 di atas menunjukkan grafik peningkatan sebagai bukti visual perubahan rata-rata. Namun, grafik ini belum bisa menunjukkan perbedaan antara kelompok peserta. Dalam penerapan selanjutnya, melaporkan perbedaan hasil, seperti membandingkan kelompok dengan kemampuan awal rendah dan tinggi, akan membantu memahami siapa yang paling diuntungkan oleh intervensi. Ini juga akan membantu merancang perbaikan yang lebih tepat.



Gambar 6. Data kuesioner hasil penggunaan alat dan modul pembelajaran

Gambar 6 di atas merupakan grafik data hasil kuesioner penggunaan alat dan modul pembelajaran, data tersebut memperlihatkan profil sikap dan persepsi yang sangat positif. Rerata sikap/antusiasme mencapai 3,99 dan pemahaman konsep 3,95, sedangkan penguasaan teknis berada pada nilai 3,74 sebagai skor terendah relatif. Pola ini konsisten dengan kurva pembelajaran praktik Dimana peserta cepat menangkap makna dan urgensi teknologi (motivasi dan orientasi konseptual), tetapi membutuhkan jam terbang lebih panjang untuk memantapkan keterampilan motorik dan kognitif yang kompleks. Dalam terminologi beban kognitif, interaksi manusia dengan cobot yang baru diekspos dapat meningkatkan tuntutan kognitif pada tahap awal sehingga keterampilan prosedural belum langsung stabil (Fournier et al., 2022).

Temuan kuantitatif dan kuesioner ini juga menunjukkan koherensi ketika dikaitkan dengan karakteristik teknologi kolaboratif. Cobot dirancang untuk berbagi ruang kerja yang aman dengan operator sesuai dengan standar ISO/TS 15066, sehingga perangkat ini cocok sebagai pintu masuk otomasi dalam pendidikan vokasi karena kurva adopsinya relatif lebih mudah dibandingkan dengan sel berpagar (ISO, 2016; IFR, 2024a, 2024b). Di dalam lingkungan kelas, karakteristik *accessible automation* ini berperan dalam meningkatkan kepercayaan diri peserta didik, yang tercermin dalam skor sikap yang tinggi. Sementara itu, integrasi dengan PLC dan HMI memerlukan penalaran sistemik lintas komponen yang tidak dapat diselesaikan dalam satu siklus pelatihan. Dalam konteks ini, alat bantu pengajaran berfungsi ganda yaitu sebagai media untuk pengalaman otentik dan sebagai bukti kurikuler yang dapat terus digunakan dalam siklus-siklus tugas proyek berikutnya.

Selain peningkatan keterampilan internal, dampak program juga tampak pada sisi standarisasi kompetensi. Keterlibatan sebagian peserta dalam asesmen sertifikasi oleh LSP OMI mengisyaratkan orientasi pada pengakuan kompetensi yang diakui industri, sejalan dengan agenda *link and match* pendidikan vokasi dan *teaching factory* (Kemdikbudristek, 2021). Secara keseluruhan, program ini tidak hanya memberikan solusi teknis jangka pendek tetapi juga meletakkan fondasi bagi ekosistem pendidikan vokasi yang adaptif dan selaras dengan transformasi digital global.



Gambar 7. Kegiatan sertifikasi kompetensi guru oleh LSP OMI (Otomasi Mekatronika Indonesia)

Pendampingan pasca-pelatihan diwujudkan melalui serangkaian intervensi terstruktur yang bertujuan memperkuat standardisasi institusional dan keberlanjutan operasional *Teaching Aid Collaborative Robot*. Intervensi ini mencakup beberapa aspek krusial yaitu Pertama, dilakukan revisi dan optimalisasi modul pembelajaran praktik agar terintegrasi penuh dengan *teaching aid* dan selaras dengan capaian kurikulum. Kedua, disediakan dukungan teknis reaktif untuk penanganan kerusakan (*troubleshooting*) pada perangkat keras *teaching aid*, memastikan ketersediaan alat praktik yang maksimal. Ketiga, fokus diletakkan pada standardisasi kompetensi dan jejaring industri, yang ditandai dengan terjalannya Memorandum of Understanding (MoU) antara Mitra dan LSP Otomasi dan Mekatronika Indonesia (LSP OMI). Kerja sama strategis ini memfasilitasi pelaksanaan asesmen sertifikasi kompetensi bagi guru dan siswa, memastikan keterampilan yang diperoleh memiliki standar industri dan diakui secara nasional. Terakhir, pendampingan ini juga berfokus pada manajemen aset praktik melalui penyusunan dan penerapan SOP (Standar Operasional Prosedur) yang terperinci, meliputi panduan pengoperasian alat, jadwal perawatan preventif, serta pembentukan Tim Perawatan internal di sekolah. Secara keseluruhan, pendampingan ini mentransformasi transfer pengetahuan menjadi kapasitas kelembagaan yang berkelanjutan.

SIMPULAN

Berdasarkan pelaksanaan program pengabdian masyarakat yang terintegrasi, dapat disimpulkan bahwa pengenalan dan penerapan *Teaching Aid Collaborative Robot* (Cobot) Terintegrasi PLC dan HMI Berbasis IoT di SMKN 1 Padaherang terbukti efektif dalam menjembatani kesenjangan kompetensi antara dunia pendidikan vokasi dan tuntutan industri era Industri 4.0. Program ini berhasil meningkatkan kapasitas mitra dari dua aspek utama yaitu manajemen, melalui penambahan aset teknologi pembelajaran mutakhir berupa Cobot, dan sosial kemasyarakatan, melalui peningkatan keterampilan teknis guru dan siswa.

Secara penerapan teknologi, program ini sukses menghadirkan *medium pedagogic* berupa *teaching aid* yang dirancang melalui perancangan desain mekanikal, elektrik, pemrograman, dan integrasi sistem. Alat ini secara spesifik menawarkan integrasi pemrograman PLC yang dapat berkomunikasi dengan

lengan robot untuk simulasi proses *pick and place*. Kebaruan sistem terletak pada fitur HMI berbasis IoT, yang memungkinkan gambaran proses kendali dan *monitoring* melalui akses jarak jauh (*remote*).

Hasil evaluasi kuantitatif melalui uji *pre-test* dan *post-test* menunjukkan peningkatan kompetensi peserta yang signifikan, dengan rata-rata skor naik dari 57,66 menjadi 88,83, atau meningkat sebesar 31%. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan pembelajaran praktik yang integratif dan kontekstual sangat relevan untuk membangun keterampilan abad ke-21. Meskipun aspek penguasaan teknis masih menjadi area yang membutuhkan pendampingan lebih lanjut, tingginya antusiasme dan sikap positif peserta (skor rata-rata 3,99) menjadi modal kuat untuk keberlanjutan program.

Dampak jangka panjang program diperkuat oleh hasil pendampingan yang fokus pada standarisasi institusional yaitu terjalannya Memorandum of Understanding (MoU) dengan LSP Otomasi dan Mekatronika Indonesia (LSP OMI), menjamin keterampilan yang diperoleh memiliki standar industri dan diakui secara nasional. Pendampingan juga meliputi penyusunan SOP (Standar Operasional Prosedur) pengoperasian alat, jadwal perawatan preventif, serta pembentukan Tim Perawatan internal di sekolah. Dengan demikian, program ini tidak hanya memberikan solusi teknis jangka pendek, tetapi juga meletakkan fondasi bagi ekosistem pendidikan vokasi yang adaptif, inovatif, dan selaras dengan transformasi digital global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi untuk pendanaan BIMA Kemdiktisaintek Program Pengabdian kepada Masyarakat Nomor: 017/C3/DT.05.00/PM/2025 sehingga kegiatan ini dapat terlaksana dengan baik dan lancar. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Sekolah SMKN 1 Padaherang Bapak Drs. H. Ngadino Riadi, M.Pd., Ketua Program Keahlian Teknik Elektronika SMKN 1 Padaherang Bapak Restu Abadi Sukma, S.Pd. dan seluruh Guru dan Staff dari SMKN 1 Padaherang, yang turut mendukung terlaksananya seluruh rangkaian kegiatan Pengembangan Kompetensi Guru dan Siswa SMK melalui Pengenalan Teknologi Collaborative Robot (Cobot) untuk Mendukung Transformasi Industri 4.0.

DAFTAR RUJUKAN

- Asad, M. M., Aftab, K., Sherwani, F., Churi, P., Moreno-Guerrero, A. J., & Pourshahian, B. (2021). Techno-pedagogical skills for 21st-century digital classrooms: An extensive literature review. *Education Research International*, 2021, 8160084. <https://doi.org/10.1155/2021/8160084>
- Chemweno, P., Pintelon, L., Jonathan, S., & Muchiri, P. (2020). A review of the ISO 15066 standard for collaborative robot systems safety. *Safety Science*, 127, 104741. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104741>
- International Federation of Robotics. (2024, September). World Robotics 2024 — Press conference deck. https://ifr.org/img/worldrobotics/Press_Conference_2024.pdf

- International Federation of Robotics. (2024). *Collaborative Robots — How robots work alongside humans (updated position paper)*. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/how-robots-work-alongside-humans>
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices — Collaborative robots*. <https://www.iso.org/standard/62996.html>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2021). *Kemendikbud gunakan rumus 8+i guna capai tujuan SMK Pusat Keunggulan*. <https://internal-portal.kemdikbud.go.id/berita/3348-kemendikbud-gunakan-rumus-8-i-guna-capai-tujuan-smk-pusat-ke>
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2018). *Revolusi Industri 4.0 Indonesia (Making Indonesia 4.0)*. https://sindi4.kemenperin.go.id/assets/content/INDI4.0_Full_v1.pdf
- 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.v28i2.48552>
- Prayogi, S., Nugroho, T. A., Pertiwi, N. I., Pramudito, W. A., Marzuki, M. I., Abdillah, M., ... Muhammad, M. (2025). Pengembangan keterampilan siswa melalui pelatihan robotik untuk mendukung agenda Sustainable Development Goals (SDGs). *I-Com: Indonesian Community Journal*, 5(1), 173–184. <https://doi.org/10.70609/icom.v5i1.6486>
- Saputro, D. A., Putro, S. C., & Wirawan, M. (2025). Hubungan occupational skill dan self-perceived employability terhadap kemampuan adaptasi untuk menghadapi dunia kerja era Revolusi Industri 4.0 siswa SMK kompetensi keahlian Teknik Otomasi Industri Kabupaten Malang. *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, 8(1), 11–18. <https://doi.org/10.21009/JEVET.0081.02>
- Setiaji, K., Wardani, N. W., Farliana, N., Feriady, M., & Purwana, D. (2020). Contribution of 21st century skills to work readiness in Industry 4.0. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(5), 5947–5955.
- Suginardha, I. M., Ismara, K. I., Supriadi, M., Hariyanto, D., & Meunmany, S. (2025). Enhancing electric motor control of electric motor installation in Indonesian vocational schools using PLC and VSD technology with HMI. *Jurnal Edukasi Elektro*, 9(1), 77–92. <https://doi.org/10.21831/jee.v9i1.84503>
- Sulistyanto, S., Mutohhari, F., Kurniawan, A., & Ratnawati, D. (2021). Kebutuhan kompetensi dalam pasar tenaga kerja di era revolusi industri 4.0 bagi siswa SMK. *Jurnal Taman Vokasi*, 9(1), 25–35. <https://doi.org/10.30738/jtv.v9i1.7742>
- Wang, H.-H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 1(2), 2. <https://doi.org/10.5703/1288284314636>
- World Economic Forum. (2020). *The future of jobs report 2020*. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>