

Peningkatan Kompetensi Siswa Smkn 1 Madiun Melalui Pelatihan Arduino Untuk Aplikasi Otomasi

R. Gaguk Pratama Yudha, R. Akbar Nur Apriyanto*, Mohammad Erik Echsony, Adiratna Ciptaningrum, Andhika Putra Widyadharma, R. Oktav Yama Hendra, M. Iqbal Raysha Widodo

Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Jl. Serayu No. 84, Kota Madiun
email: akbar@pnm.ac.id

Abstract

This Community Service Program aimed to improve the competence of students at SMKN 1 Madiun in Arduino microcontroller applications through project-based training for simple automation systems. The program adopted a Participatory Action Research approach consisting of needs assessment, theoretical instruction, Arduino programming practice, project development, and evaluation. The training covered Arduino fundamentals, programming, sensor and actuator integration, and the implementation of simple automation applications. Participant performance was evaluated using pre-tests, post-tests, practical assessments, and satisfaction questionnaires. The results showed that the average score increased from 38.4% in the pre-test to 87.2% in the post-test, representing a 48.8% improvement. The average practical assessment score reached 87.8, while 90% of participants successfully completed the assigned automation projects. Participant satisfaction reached 95.6%, indicating an excellent response to the training. These findings demonstrate that Project-Based Learning effectively improves students' knowledge, technical skills, and practical competence in Arduino-based automation. Furthermore, the program strengthens collaboration between higher education institutions and vocational schools to support industry-oriented technical education.

Keywords: *Arduino, microcontroller, automation, training, Project-Based Learning.*

Abstrak

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini bertujuan meningkatkan kompetensi siswa SMKN 1 Madiun dalam bidang mikrokontroler Arduino melalui pelatihan berbasis proyek untuk aplikasi otomasi sederhana. Kegiatan menggunakan pendekatan Participatory Action Research dengan tahapan analisis kebutuhan, penyampaian materi, praktik pemrograman Arduino, pengembangan proyek, dan evaluasi. Materi pelatihan meliputi dasar mikrokontroler, pemrograman Arduino, penggunaan sensor dan aktuator, serta implementasi sistem otomasi sederhana. Evaluasi dilakukan melalui pre-test, post-test, penilaian praktik, dan angket kepuasan peserta. Hasil menunjukkan rata-rata nilai peserta meningkat dari 38,4% pada pre-test menjadi 87,2% pada post-test atau meningkat sebesar 48,8%. Nilai praktik rata-rata mencapai 87,8, dengan 90% peserta berhasil menyelesaikan proyek otomasi sesuai target. Selain itu, tingkat kepuasan peserta mencapai 95,6% dengan kategori sangat baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pelatihan berbasis Project-Based Learning efektif meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kemampuan aplikasi siswa dalam bidang mikrokontroler Arduino. Program ini juga memperkuat kerja sama antara perguruan tinggi dan sekolah vokasi dalam mendukung peningkatan kompetensi lulusan yang sesuai dengan kebutuhan dunia industri.

Kata kunci: *Arduino, mikrokontroler, otomasi, pelatihan, Project-Based Learning.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi industri, Internet of Things (IoT), dan sistem kendali berbasis mikrokontroler telah mengubah kebutuhan kompetensi tenaga

kerja di era Revolusi Industri 4.0. Dunia usaha dan dunia industri (DUDI) menuntut lulusan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) tidak hanya memahami konsep teoritis, tetapi juga memiliki keterampilan praktik dalam merancang, memprogram, dan

mengimplementasikan sistem otomasi berbasis mikrokontroler[1][2][4]. Oleh karena itu, peningkatan kompetensi peserta didik melalui pembelajaran berbasis praktik menjadi salah satu strategi penting dalam menghasilkan lulusan yang adaptif terhadap perkembangan teknologi.

Salah satu platform mikrokontroler yang banyak digunakan dalam dunia pendidikan maupun industri adalah Arduino. Arduino memiliki karakteristik perangkat keras dan perangkat lunak yang bersifat terbuka (open source), mudah diprogram, serta didukung oleh berbagai modul sensor dan aktuator sehingga sangat sesuai digunakan sebagai media pembelajaran sistem kendali dan otomasi[2]. Penggunaan Arduino memungkinkan siswa mempelajari konsep elektronika, pemrograman, akuisisi data, hingga implementasi sistem otomasi secara terintegrasi melalui pendekatan project-based learning[3]. Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan keterampilan teknis peserta didik.

SMK Negeri 1 Madiun merupakan salah satu sekolah vokasi yang berorientasi pada pengembangan kompetensi lulusan sesuai kebutuhan dunia kerja. Meskipun proses pembelajaran telah didukung oleh fasilitas laboratorium, hasil diskusi dengan pihak sekolah menunjukkan bahwa pemanfaatan mikrokontroler Arduino dalam pembelajaran otomasi masih terbatas pada materi dasar dan belum banyak diaplikasikan dalam bentuk proyek yang menyerupai implementasi di industri[4]. Selain itu, perkembangan teknologi otomasi berlangsung sangat cepat sehingga diperlukan kegiatan pendampingan dari perguruan tinggi agar kompetensi siswa tetap selaras dengan perkembangan teknologi terkini.

Permasalahan lain yang dihadapi mitra adalah keterbatasan pelatihan berbasis praktik yang mengintegrasikan pemrograman mikrokontroler dengan sensor, aktuator, dan sistem kendali sederhana. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian siswa masih mengalami kesulitan

dalam memahami hubungan antara teori yang diperoleh di kelas dengan implementasi nyata pada sistem otomasi. Padahal, kemampuan merancang dan mengembangkan prototipe sederhana merupakan salah satu kompetensi yang dibutuhkan oleh industri manufaktur, otomasi, dan mekatronika[5].

Sebagai institusi pendidikan tinggi vokasi, Politeknik Negeri Madiun memiliki peran dalam melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi melalui kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM). Kegiatan ini menjadi media transfer ilmu pengetahuan dan teknologi kepada masyarakat, termasuk sekolah vokasi sebagai mitra strategis dalam pengembangan sumber daya manusia. Melalui pelatihan mikrokontroler Arduino, siswa diharapkan memperoleh pengalaman belajar yang lebih aplikatif sehingga mampu mengembangkan sistem otomasi sederhana yang dapat menjadi dasar untuk mempelajari teknologi otomasi industri yang lebih kompleks[6].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pelatihan mikrokontroler berbasis Arduino mampu meningkatkan kompetensi peserta dalam bidang pemrograman dan otomasi. Arduino memberikan kemudahan dalam proses pembelajaran karena memiliki lingkungan pemrograman yang sederhana, kompatibel dengan berbagai sensor dan aktuator, serta banyak digunakan dalam pengembangan prototipe sistem kendali. Penelitian lain melaporkan bahwa pembelajaran berbasis proyek (project-based learning) pada bidang teknik mampu meningkatkan hasil belajar, kemampuan kolaborasi, dan keterampilan pemecahan masalah peserta didik dibandingkan metode pembelajaran konvensional. Selain itu, kegiatan pengabdian yang mengintegrasikan pelatihan dan praktik langsung terbukti meningkatkan kesiapan lulusan SMK dalam menghadapi kebutuhan dunia kerja berbasis teknologi.

Berdasarkan kondisi tersebut, kegiatan pengabdian ini dirancang dalam bentuk pelatihan mikrokontroler Arduino yang berorientasi pada pengembangan aplikasi otomasi sederhana. Materi pelatihan meliputi

pengenalan Arduino, dasar pemrograman, antarmuka input-output digital, penggunaan sensor dan aktuator, serta pembuatan proyek otomasi sederhana seperti pengendalian lampu otomatis, sistem monitoring suhu, dan kendali motor DC. Pelaksanaan kegiatan menggunakan pendekatan project-based learning sehingga setiap peserta memperoleh pengalaman praktik secara langsung mulai dari perancangan rangkaian, pemrograman, pengujian, hingga evaluasi sistem[8].

Hipotesis kegiatan ini adalah bahwa pelatihan mikrokontroler Arduino berbasis praktik dan project-based learning mampu meningkatkan kompetensi pengetahuan, keterampilan, dan kepercayaan diri siswa dalam merancang aplikasi otomasi sederhana. Dengan meningkatnya kompetensi tersebut, diharapkan siswa memiliki kesiapan yang lebih baik dalam mengikuti pembelajaran lanjutan maupun memasuki dunia kerja yang membutuhkan kemampuan di bidang sistem otomasi dan kendali berbasis mikrokontroler.

METODE PENELITIAN

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini menggunakan pendekatan Participatory Action Research (PAR) yang menekankan keterlibatan aktif antara tim pelaksana dan mitra dalam mengidentifikasi kebutuhan, melaksanakan pelatihan, mengevaluasi hasil, serta melakukan tindak lanjut secara berkelanjutan[7]. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik kegiatan pemberdayaan masyarakat melalui peningkatan kompetensi siswa berbasis praktik (learning by doing).

Pelaksanaan kegiatan dilakukan di SMK Negeri 1 Madiun, Kota Madiun, Jawa Timur. Objek kegiatan adalah siswa SMK yang mengikuti pelatihan mikrokontroler Arduino sebagai peserta utama. Kegiatan difokuskan pada peningkatan kompetensi siswa dalam memahami dasar-dasar mikrokontroler, pemrograman Arduino, penggunaan sensor dan aktuator, serta penerapan sistem otomasi sederhana melalui

pendekatan Project-Based Learning (PjBL). Melalui pendekatan tersebut, peserta tidak hanya memperoleh materi teori, tetapi juga mengembangkan proyek sederhana secara berkelompok sehingga mampu menghubungkan konsep dengan implementasi nyata.

Rancangan kegiatan terdiri atas lima tahapan, yaitu (1) analisis kebutuhan, (2) penyusunan modul pelatihan, (3) pelaksanaan pelatihan, (4) praktik proyek otomasi sederhana, dan (5) evaluasi hasil pelatihan. Tahap analisis kebutuhan dilakukan melalui koordinasi dengan pihak sekolah untuk mengidentifikasi kompetensi yang perlu ditingkatkan. Selanjutnya disusun modul pelatihan yang memuat materi pengenalan Arduino, instalasi perangkat lunak Arduino IDE, pemrograman dasar, penggunaan input-output digital, pembacaan sensor, pengendalian aktuator, serta implementasi proyek otomasi sederhana. Pada tahap pelaksanaan, peserta memperoleh penjelasan teori, demonstrasi, dan praktik langsung menggunakan perangkat Arduino. Tahap akhir berupa evaluasi dilakukan untuk mengetahui peningkatan kompetensi siswa setelah mengikuti pelatihan.

Peralatan Peralatan utama yang digunakan meliputi Arduino Uno R3, laptop atau komputer, kabel USB, breadboard, LED, resistor, push button, sensor LDR, sensor ultrasonik HC-SR04, sensor suhu DHT11, modul relay, motor DC, servo motor, LCD 16×2 I2C, kabel jumper, adaptor 5 V, dan perangkat lunak Arduino IDE versi terbaru. Bahan pendukung berupa modul pelatihan, lembar kerja praktikum, lembar evaluasi, dan instrumen pre-test serta post-test.

Pengumpulan data dilakukan menggunakan beberapa teknik. Observasi digunakan untuk mengamati keterlibatan peserta selama proses pelatihan dan praktik. Tes tertulis berupa pre-test dan post-test digunakan untuk mengukur peningkatan pengetahuan siswa mengenai mikrokontroler Arduino. Penilaian praktik dilakukan terhadap hasil proyek yang dikerjakan oleh peserta berdasarkan aspek perancangan rangkaian, pemrograman, fungsi sistem, dan kemampuan pemecahan masalah. Selain itu,

kuesioner kepuasan diberikan kepada peserta untuk mengetahui persepsi mereka terhadap kualitas materi, metode pelatihan, serta manfaat kegiatan.

Variabel yang diamati terdiri atas variabel kompetensi dan variabel kepuasan peserta. Kompetensi siswa diukur melalui tiga aspek, yaitu pengetahuan, keterampilan, dan kemampuan implementasi proyek. Pengetahuan diukur menggunakan hasil pre-test dan post-test, sedangkan keterampilan dinilai melalui praktik perakitan rangkaian dan pemrograman Arduino. Kemampuan implementasi proyek dinilai berdasarkan keberhasilan peserta dalam menghasilkan aplikasi otomasi sederhana yang berfungsi sesuai rancangan. Kepuasan peserta diukur menggunakan angket dengan skala Likert lima tingkat.

Tabel 1. Definisi Operasional Variabel

Variabel	Indikator	Instrumen
Pengetahuan mikrokontroler	Pemahaman konsep Arduino dan pemrograman	Pre-test dan post-test
Keterampilan praktik	Kemampuan merakit rangkaian elektronik	Lembar observasi
Kemampuan pemrograman	Penyusunan dan pengujian program Arduino	Rubrik penilaian praktik
Implementasi proyek	Respon penyalaan dan pemadaman lampu	Penilaian unjuk kerja
Kepuasan peserta	Keberhasilan pengiriman data	Angket skala Likert

Analisis data dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif dan deskriptif kualitatif. Data hasil pre-test dan post-test dianalisis dengan menghitung nilai rata-rata dan persentase peningkatan kompetensi

menggunakan persamaan:

$$\text{Peningkatan (\%)} = \frac{\text{Nilai Post-test} - \text{Nilai Pre-test}}{\text{Nilai Pre-test}} \times 100\%$$

Hasil praktik peserta dianalisis berdasarkan rubrik penilaian yang meliputi ketepatan perakitan rangkaian, keberhasilan pemrograman, fungsi sistem, dan penyelesaian proyek. Data kuesioner kepuasan dianalisis menggunakan persentase pada setiap indikator untuk menentukan kategori kepuasan peserta. Sementara itu, hasil observasi selama pelatihan dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan tingkat partisipasi, antusiasme, serta kendala yang muncul selama pelaksanaan kegiatan.

Keberhasilan program ditentukan berdasarkan beberapa indikator, yaitu meningkatnya nilai post-test dibandingkan pre-test, minimal 80% peserta mampu menyelesaikan proyek otomasi sederhana secara mandiri, serta tingkat kepuasan peserta berada pada kategori baik atau sangat baik. Dengan metode tersebut, pelaksanaan pengabdian diharapkan mampu meningkatkan kompetensi siswa SMKN 1 Madiun dalam bidang mikrokontroler Arduino sekaligus mendukung kesiapan mereka menghadapi kebutuhan teknologi otomasi di dunia industry.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat dilaksanakan di Laboratorium Komputer SMKN 1 Madiun dengan peserta sebanyak 20 siswa dari kompetensi keahlian/Jurusan Teknik Audio Video dan Teknik Instalasi Tenaga Listrik. Pelaksanaan kegiatan berlangsung selama dua hari yang terdiri atas penyampaian materi, praktik pemrograman Arduino, pembuatan proyek otomasi sederhana, serta evaluasi hasil pelatihan.

Materi pelatihan meliputi pengenalan mikrokontroler Arduino Uno, instalasi Arduino IDE, dasar pemrograman C, penggunaan input-output digital, pembacaan sensor, pengendalian aktuator, serta implementasi proyek otomasi sederhana.

Seluruh peserta mengikuti kegiatan secara aktif dengan didampingi dosen dan mahasiswa sebagai instruktur.

Tabel 2. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Tahapan	Kegiatan	Luaran
Persiapan	Koordinasi dengan sekolah dan penyusunan modul	Titik pemasangan ditentukan
Pengenalan	Materi dasar Arduino dan instalasi software	Masyarakat memahami konsep sistem
Praktik I	LED, Push Button, PWM	Sistem PJU terpasang
Praktik II	Operasional dan pemeliharaan	Mitra mampu mengoperasikan sistem
Praktik III	Monitoring sistem	Sistem berjalan sesuai fungsi
Proyek	Pembuatan aplikasi otomasi sederhana	Prototype berhasil dibuat
Evaluasi	Post-test dan penilaian proyek	Kompetensi peserta meningkat

2. Implementasi Pelatihan

Pelatihan menggunakan metode Project-Based Learning (PjBL) sehingga peserta memperoleh pengalaman secara langsung dalam merancang rangkaian, membuat program, melakukan pengujian, serta melakukan perbaikan (troubleshooting). Setiap kelompok menyelesaikan satu proyek otomasi sederhana, antara lain:

- Lampu otomatis menggunakan sensor LDR.
- Monitoring suhu menggunakan sensor DHT11.

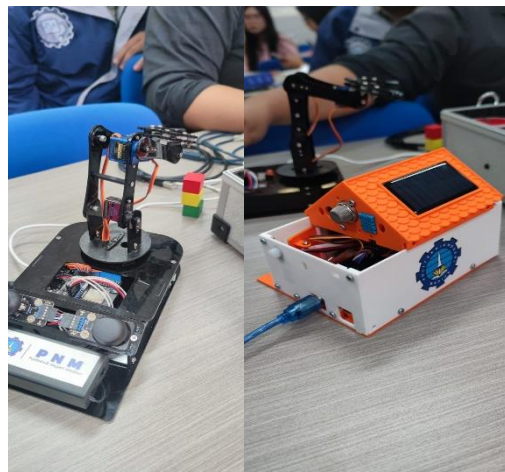
- Sistem parkir sederhana menggunakan sensor ultrasonik.
- Kendali servo menggunakan push button.
- Mini smart home berbasis Arduino.



Gambar 1. Penyampaian Materi Arduino



Gambar 2. Praktik Perakitan Arduino



Gambar 3. Hasil Proyek Otomasi Sederhana

3. Hasil Evaluasi Kompetensi Peserta

Evaluasi dilakukan menggunakan pre-test dan post-test untuk mengetahui peningkatan pengetahuan peserta setelah mengikuti pelatihan.

Tabel 3. Hasil Pre-test dan Post-test

Aspek Kompetensi	Pre - test (%)	Post -test (%)	Peningkatan (%)
Dasar Mikrokontroler	46	89	43
Pemrograman Arduino	38	87	49
Input Output Digital	42	90	48
Sensor dan Aktuator	35	88	53
Troubleshooting	31	82	51
Rata-rata	38,4	87,2	48,8

Hasil menunjukkan bahwa rata-rata kompetensi peserta meningkat dari 38,4% sebelum pelatihan menjadi 87,2% setelah pelatihan.

4. Penilaian Proyek

Selain tes tertulis, peserta juga dinilai berdasarkan kemampuan menyelesaikan proyek otomasi sederhana.

Tabel 4. Hasil Penilaian Praktik

Kriteria	Nilai Rata-rata
Perakitan Rangkaian	89
Penulisan Program	86
Fungsi Sistem	91
Troubleshooting	83
Presentasi Proyek	90
Rata-rata	87,8

Sebanyak 18 dari 20 peserta (90%) berhasil menyelesaikan proyek tanpa pendampingan intensif, sedangkan dua peserta masih memerlukan bimbingan pada tahap debugging program.

5. Kepuasan Peserta

Evaluasi kepuasan dilakukan menggunakan angket skala Likert.

Tabel 5. Evaluasi Pelatihan

Indikator	Persentase (%)
Materi mudah dipahami	95
Praktik menarik	97
Modul pelatihan	92
Kompetensi instruktur	98
Manfaat kegiatan	96
Rata-rata	95,6

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pelatihan memperoleh kategori **Sangat Baik**.

6. Pembahasan

Pelatihan Arduino berbasis proyek memberikan dampak positif terhadap peningkatan kompetensi siswa. Peningkatan nilai rata-rata dari 38,4% menjadi 87,2% menunjukkan bahwa metode pembelajaran berbasis praktik efektif meningkatkan pemahaman konsep mikrokontroler dan kemampuan pemrograman. Temuan ini sejalan dengan Banzi dan Shiloh [2] yang menyatakan bahwa Arduino merupakan platform yang efektif untuk pembelajaran elektronika dan sistem kendali karena mudah dipelajari serta didukung ekosistem perangkat lunak dan perangkat keras yang luas.

Keberhasilan 90% peserta dalam menyelesaikan proyek otomasi sederhana menunjukkan bahwa pendekatan Project-Based Learning mampu meningkatkan kemampuan berpikir sistematis, kolaborasi, dan pemecahan masalah. Hasil ini

mendukung penelitian Thomas [9] yang menyebutkan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dibandingkan metode ceramah karena peserta didik terlibat langsung dalam proses perancangan dan implementasi.

Tingkat kepuasan peserta sebesar 95,6% mengindikasikan bahwa materi, metode penyampaian, dan praktik yang diberikan telah sesuai dengan kebutuhan siswa SMK. Antusiasme peserta terlihat selama sesi praktik dan diskusi, terutama pada saat melakukan troubleshooting rangkaian dan pengembangan proyek. Selain meningkatkan keterampilan teknis, pelatihan ini juga menumbuhkan kepercayaan diri peserta dalam mengembangkan aplikasi otomasi sederhana yang dapat menjadi bekal untuk pembelajaran lanjutan maupun dunia kerja.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan, yaitu meningkatkan kompetensi siswa dalam bidang mikrokontroler Arduino melalui pelatihan berbasis praktik. Program ini juga memperkuat sinergi antara perguruan tinggi dan sekolah vokasi dalam mendukung peningkatan kualitas pendidikan vokasi sesuai kebutuhan industri. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan materi komunikasi data, Internet of Things (IoT), dan sistem otomasi industri berbasis PLC sebagai lanjutan dari kompetensi dasar yang telah diperoleh peserta[10].

SIMPULAN

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat dengan tema "Peningkatan Kompetensi Siswa SMKN 1 Madiun melalui Pelatihan Arduino untuk Aplikasi Otomasi" telah terlaksana dengan baik dan berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Pelatihan yang dilaksanakan menggunakan pendekatan Project-Based Learning (PjBL) memberikan kesempatan kepada peserta untuk memahami konsep mikrokontroler Arduino sekaligus

mengimplementasikannya dalam bentuk proyek otomasi sederhana. Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan keterlibatan peserta selama proses pembelajaran dan memperkuat pemahaman melalui praktik langsung

Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan kompetensi yang signifikan. Nilai rata-rata **pre-test sebesar 38,4%** meningkat menjadi **87,2% pada post-test**, atau mengalami **peningkatan sebesar 48,8%**. Peningkatan terjadi pada seluruh aspek kompetensi, meliputi pemahaman dasar mikrokontroler, pemrograman Arduino, penggunaan input-output digital, penerapan sensor dan aktuator, serta kemampuan troubleshooting. Selain itu, hasil penilaian praktik menunjukkan nilai rata-rata 87,8, dengan 90% peserta berhasil menyelesaikan proyek otomasi sederhana sesuai dengan spesifikasi yang diberikan.

Evaluasi kepuasan peserta juga menunjukkan hasil yang sangat positif. Nilai rata-rata kepuasan mencapai **95,6%** dengan kategori "**Sangat Baik**", yang menunjukkan bahwa materi pelatihan, metode pembelajaran, modul, serta pendampingan yang diberikan telah sesuai dengan kebutuhan peserta. Antusiasme siswa selama kegiatan mengindikasikan bahwa pelatihan berbasis praktik merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan kompetensi teknis sekaligus motivasi belajar di bidang otomasi dan mikrokontroler.

Secara keseluruhan, program pengabdian ini berhasil meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kemampuan aplikasi siswa dalam bidang mikrokontroler Arduino. Kegiatan ini juga memperkuat sinergi antara Politeknik Negeri Madiun dan SMKN 1 Madiun dalam mendukung pengembangan pendidikan vokasi yang selaras dengan kebutuhan dunia usaha dan dunia industri (DUDI). Ke depan, materi pelatihan dapat dikembangkan ke tingkat yang lebih lanjut, seperti Internet of Things (IoT), komunikasi nirkabel, sistem kendali berbasis PLC, dan integrasi otomasi industri, sehingga kompetensi siswa semakin relevan dengan perkembangan teknologi dan tuntutan industri modern.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Madiun melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) atas dukungan terhadap pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada SMKN 1 Madiun sebagai mitra kegiatan, khususnya Kepala Sekolah, guru pendamping, dan seluruh siswa peserta pelatihan atas partisipasi dan kerja sama yang baik. Apresiasi turut diberikan kepada seluruh anggota tim pengabdian serta mahasiswa yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan kegiatan dan penyusunan manuskrip ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriyanto, R. A. N., & Yudha, R. G. P. (2023). Strategi Peningkatan Keterampilan Vokasi Melalui Pelatihan Berbasis Proyek di Sekolah Menengah Kejuruan. *Jurnal IPTEKS TERAPAN*, 17(1), 45-56.
- [2] Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). *Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform*. Maker Media, Inc.
- [3] Echsony, M. E., & Ciptaningrum, A. (2022). Implementasi Sistem Otomasi Industri Berbasis Mikrokontroler untuk Pendidikan Vokasi. *Jurnal IPTEKS TERAPAN*, 16(2), 112-123.
- [4] Kemdikbud. (2020). *Pedoman Link and Match Sekolah Menengah Kejuruan dengan Dunia Usaha dan Dunia Industri*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi.
- [5] Prasetyo, H., & Sutopo, W. (2018). Industri 4.0: Telaah Klasifikasi Aspek Dan Arah Perkembangan Riset. *Jurnal Teknik Industri*, 13(1), 17-26.
- [6] Putra, W. A., & Hendra, R. O. Y. (2021). Pemanfaatan Platform Open Source Arduino dalam Pembelajaran Sistem Kendali. *Jurnal Edukasi Elektro*, 5(2), 88-97.
- [7] Reason, P., & Bradbury, H. (2008). *The SAGE Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice*. SAGE Publications.
- [8] Setiawan, A. (2019). Efektivitas Pelatihan Mikrokontroler dalam Meningkatkan Kesiapan Kerja Lulusan SMK. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 9(3), 245-255.
- [9] Thomas, J. W. (2000). *A Review of Research on Project-Based Learning*. San Rafael, CA: Autodesk Foundation.
- [10] Yudha, R. G. P., & Widodo, M. I. R. (2022). Pengembangan Prototipe Smart Home Berbasis IoT Menggunakan Arduino bagi Siswa Teknik. *Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 30-40