Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat | LPPM UNSERA
Website: https://ejournal.unsera.ac.id/index.php/senama
E-ISSN : 3063-4849

# Peningkatan Kompetensi Manufaktur Digital melalui Pelatihan Teknologi Pencetakan 3D pada Sekolah Vokasi di Kabupaten Serang

**Farid Wajdi*[1], Diki Susandi[2], Dadi Cahyadi[1], Muhammad Nurhaula Huddin[3], Nina Arlofa[4], Shohifah Annur[4]**

[1]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya
[2]Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Serang Raya
[3]Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Serang Raya
[4]Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya

Email: faridwajdi@unsera.ac.id

**ABSTRAK**

Perkembangan teknologi manufaktur digital menuntut lulusan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memiliki kompetensi yang sesuai dengan kebutuhan industri. Namun, keterbatasan kompetensi guru serta sarana pembelajaran berbasis teknologi masih menjadi tantangan bagi SMK di wilayah pedesaan. Kegiatan pengabdian ini bertujuan meningkatkan kompetensi guru dan siswa SMK Muhammadiyah Tirtayasa di bidang digital manufacturing melalui pelatihan teknologi 3D printing. Pelatihan dilaksanakan melalui pendekatan project-based learning yang memadukan penyampaian materi, demonstrasi, praktik langsung, dan pendampingan. Evaluasi program dilakukan melalui observasi dan penilaian terhadap hasil praktik, serta kuesioner evaluasi pembelajaran yang mengukur pemahaman materi, keterampilan teknis, dan persepsi peserta terhadap manfaat pelatihan. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa peserta mengalami peningkatan pengetahuan dan keterampilan dalam memahami konsep dasar digital manufacturing. Selain itu, peserta juga antusias terhadap penerapan teknologi 3D printing dalam pembelajaran dan pengembangan produk inovatif. Kegiatan ini memperkuat kapasitas sekolah dalam mengembangkan pembelajaran vokasi berbasis teknologi serta mempererat kolaborasi perguruan tinggi dan SMK. Oleh karena itu, pelatihan ini efektif dalam meningkatkan kualitas pendidikan vokasi serta mempersiapkan lulusan yang berdaya saing.

**Kata kunci:** CAD, digital manufacturing, pendidikan vokasi, SMK, 3D printing

***ABSTRACT***

*The rapid advancement of digital manufacturing technology requires vocational high school (SMK) graduates to possess competencies that align with current industrial demands. However, limited teacher competencies and insufficient technology-based learning facilities remain major challenges for vocational schools in rural areas. This community engagement program aimed to enhance the digital manufacturing competencies of teachers and students at SMK Muhammadiyah Tirtayasa through training in 3D printing technology. The program adopted a project-based learning approach that integrated lectures, demonstrations, hands-on practice, and mentoring activities. Program evaluation was conducted through training observations, practical performance assessments, and learning evaluation questionnaires measuring participants' understanding of the materials, technical skills, and perceptions of the training benefits. The results demonstrated improvements in participants' knowledge and practical skills related to fundamental digital manufacturing concepts. Participants also expressed strong interest in applying 3D printing technology to classroom learning and innovative product development. Furthermore, the program strengthened the school's capacity to implement technology-based vocational education while fostering collaboration between higher education institutions and vocational schools. Therefore, 3D printing-based digital manufacturing training effectively enhances vocational education quality and prepares adaptive, innovative, and competitive graduates for Industry 4.0.*

***Keywords****: CAD, digital manufacturing, pendidikan vokasi, SMK, 3D printing*

## 1. PENDAHULUAN

Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) sebagai lembaga pendidikan vokasi memiliki peran yang sangat penting dalam menghasilkan tenaga kerja tingkat menengah yang memiliki kompetensi sesuai kebutuhan dunia usaha dan dunia industri (Suparyati & Habsya, 2024). Selain membekali peserta didik dengan keterampilan kerja, SMK juga dituntut mampu mempersiapkan lulusan yang adaptif terhadap perkembangan teknologi serta dinamika industri yang berlangsung semakin cepat (Agustian et al., 2024). Peran tersebut menjadi semakin strategis pada era transformasi digital dan Revolusi Industri 4.0, ketika berbagai sektor industri mengadopsi teknologi digital dan sistem manufaktur cerdas dalam proses produksinya. Dalam konteks tersebut, dunia kerja tidak lagi hanya membutuhkan lulusan yang menguasai keterampilan teknis (*hard skills*), tetapi juga individu yang memiliki kemampuan berpikir kritis, kreatif, mampu memecahkan masalah, berkolaborasi, serta mengoperasikan teknologi manufaktur berbasis digital. Oleh karena itu, peningkatan mutu pendidikan vokasi menjadi aspek yang sangat penting untuk memastikan lulusan SMK memiliki kompetensi yang relevan, berdaya saing tinggi, dan siap menghadapi tantangan serta kebutuhan industri di masa depan.

Sejalan dengan upaya peningkatan mutu pendidikan vokasi, penguatan kompetensi sumber daya manusia di daerah, khususnya wilayah pedesaan, juga memiliki nilai strategis dalam mendukung pembangunan nasional. Peningkatan kapasitas peserta didik melalui penguasaan teknologi manufaktur digital tidak hanya memperluas peluang kerja dan meningkatkan produktivitas lulusan, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan kesenjangan kualitas sumber daya manusia antarwilayah. Dalam jangka panjang, upaya tersebut diharapkan mampu memperkuat daya saing ekonomi lokal, mendorong tumbuhnya kewirausahaan berbasis teknologi, serta meningkatkan ketahanan ekonomi masyarakat secara berkelanjutan (Karlina et al., 2026). Pendidikan vokasi menjadi instrumen penting untuk mempersiapkan generasi muda pedesaan agar mampu memanfaatkan perkembangan teknologi sebagai sarana peningkatan nilai tambah produk dan jasa (Maluleke & Harley, 2017). Dengan demikian, pengembangan kompetensi melalui SMK tidak hanya mendukung peningkatan kesiapan kerja lulusan, tetapi juga mendorong tumbuhnya inovasi, kewirausahaan, dan pemanfaatan potensi lokal secara berkelanjutan. Upaya tersebut sekaligus mendukung optimalisasi bonus demografi Indonesia dalam mewujudkan visi Indonesia Emas 2045 (Pratiwi, 2024).

SMK Muhammadiyah Tirtayasa, yang berlokasi di Desa Tirtayasa, Kabupaten Serang, Provinsi Banten, merupakan salah satu sekolah vokasi yang memiliki potensi untuk menjadi pusat pengembangan keterampilan teknis bagi generasi muda di wilayah pedesaan. Potensi tersebut didukung oleh kemitraan dengan Astra Honda Motor (AHM) melalui penyediaan laboratorium dan bengkel praktik otomotif sebagai bagian dari implementasi konsep *link and match* antara pendidikan vokasi dan dunia industri (Ahmanda et al., 2022). Kemitraan ini menunjukkan komitmen sekolah dalam meningkatkan kualitas pembelajaran berbasis kebutuhan industri.

Meskipun demikian, hasil identifikasi awal menunjukkan bahwa potensi tersebut belum dimanfaatkan secara optimal untuk menjawab tantangan transformasi digital di sektor manufaktur. Pembelajaran masih didominasi oleh praktik manufaktur konvensional, sedangkan penguasaan teknologi manufaktur digital, seperti *Computer-Aided Design* (CAD), *Computer-Aided Manufacturing* (CAM), dan teknologi *additive manufacturing* melalui 3D printing, belum terintegrasi dalam proses pembelajaran. Salah satu penyebab utama kondisi tersebut adalah keterbatasan kompetensi guru produktif pada bidang digital manufacturing, yang berdampak pada minimnya paparan siswa terhadap teknologi yang saat ini telah banyak diterapkan di berbagai sektor industri.

Selain keterbatasan kompetensi sumber daya manusia, sekolah juga menghadapi kendala pada aspek sarana dan prasarana pembelajaran. Fasilitas hasil kerja sama dengan AHM masih berorientasi pada teknologi otomotif konvensional, sedangkan perangkat pendukung manufaktur digital, seperti komputer untuk desain berbasis CAD, mesin 3D printer, perangkat lunak desain, dan peralatan pendukung lainnya, masih sangat terbatas. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya kesenjangan antara kompetensi yang diperoleh siswa di sekolah dengan kompetensi yang dibutuhkan oleh dunia kerja, khususnya pada sektor manufaktur modern, industri kreatif, *rapid prototyping*, dan pengembangan produk berbasis teknologi digital (Prima et al., 2025; Wulandari & Mariyam, 2025).

Urgensi penguatan kompetensi digital di sekolah ini semakin tinggi apabila dikaitkan dengan kondisi sosial ekonomi masyarakat sekitar. SMK Muhammadiyah Tirtayasa berada di lingkungan yang mayoritas penduduknya bekerja sebagai buruh tani, pedagang kecil, dan pekerja sektor informal dengan tingkat pendapatan yang relatif rendah. Terbatasnya kesempatan kerja lokal menyebabkan sebagian masyarakat memilih bekerja ke luar daerah bahkan ke luar negeri sebagai pekerja migran, terutama karena keterbatasan keterampilan yang sesuai dengan kebutuhan pasar kerja modern (Muhibah, 2023). Dalam kondisi tersebut, SMK menjadi institusi yang memiliki peran strategis dalam meningkatkan kualitas sumber daya manusia sekaligus memperluas mobilitas sosial ekonomi Masyarakat (Arisman, 2022; Faiq & Putra, 2025).

Di sisi lain, akses terhadap pendidikan dan pelatihan berbasis teknologi di wilayah pedesaan masih relatif terbatas. Sebagian besar siswa berasal dari keluarga dengan kemampuan ekonomi menengah ke bawah sehingga kesempatan memperoleh pelatihan teknologi di luar sekolah sangat terbatas. Oleh karena itu, peningkatan kualitas pembelajaran di SMK Muhammadiyah Tirtayasa tidak hanya berdampak pada peningkatan kompetensi individu siswa, tetapi juga berpotensi meningkatkan kesejahteraan keluarga dan masyarakat melalui terbukanya peluang kerja yang lebih luas maupun pengembangan usaha berbasis teknologi (Edo & Yasin, 2024). Dengan membekali siswa keterampilan digital manufacturing, lulusan diharapkan tidak hanya siap memasuki dunia kerja, tetapi juga mampu menjadi wirausahawan muda yang menghasilkan produk inovatif sesuai dengan kebutuhan masyarakat dan industri.

Berdasarkan kondisi tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan untuk memperkuat kapasitas pendidikan vokasi melalui pendampingan kompetensi *digital manufacturing* berbasis teknologi pencetakan 3D di SMK Muhammadiyah Tirtayasa. Program ini mencakup peningkatan kompetensi guru dan siswa dalam desain produk berbasis CAD dan teknologi 3D printing, penguatan sarana pembelajaran *digital manufacturing*, serta penerapan pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) yang selaras dengan kebutuhan industri dan pengembangan kewirausahaan. *Digital manufacturing* merupakan pendekatan manufaktur modern yang mengintegrasikan desain digital, proses produksi berbasis komputer, dan teknologi fabrikasi aditif (Nugrowibowo & Muslimin, 2023; Siti Nur Hamidah et al., 2024). Salah satu teknologi yang paling relevan dan mudah diimplementasikan di lingkungan pendidikan vokasi adalah 3D printing dengan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) (Wajdi & Saad, 2023).

Teknologi FDM memiliki biaya investasi yang relatif terjangkau**,** kemudahan operasional**,** serta keamanan yang sesuai untuk lingkungan sekolah (Akbar et al., 2024). Secara umum, mesin 3D printer FDM yang diimplementasikan memiliki spesifikasi teknis berupa volume cetak bervariasi, antara lain pada printer 3D Bambu Lab P1S (Bambu Lab, China) memiliki volume cetak 256 × 256 × 256 mm, diameter nozzle standar 0,4 mm, akurasi cetak ±0,1–0,2 mm, serta

kompatibel dengan berbagai material filamen seperti PLA dan PETG. Ukuran mesin bersifat desktop sehingga mudah ditempatkan di ruang praktik atau laboratorium sekolah.

Bentuk inovasi yang diimplementasikan di SMK Muhammadiyah Tirtayasa tidak hanya berupa penyediaan perangkat 3D printer, tetapi juga pendampingan kompetensi 3D printing secara komprehensif. Pendampingan mencakup peningkatan kapasitas guru dan siswa dalam beberapa aspek utama, yaitu: desain produk digital menggunakan perangkat lunak CAD, proses *slicing* dan pengaturan parameter cetak (temperatur, kecepatan, infill, layer height), Pengoperasian dan perawatan mesin 3D printer, serta evaluasi kualitas hasil cetak dan *troubleshooting*. Kegunaan teknologi ini dalam konteks pendidikan SMK sangat luas, antara lain untuk pembuatan prototype produk, alat bantu pembelajaran, komponen mekanik sederhana, serta media praktik berbasis proyek (*project-based learning*). Dengan kapasitas pemanfaatan harian, satu unit printer FDM dapat digunakan oleh beberapa kelompok siswa secara bergantian, sehingga mendukung pembelajaran kolaboratif dan efisien.

Inovasi ini mendorong transformasi pembelajaran dari pendekatan teoritis menuju pembelajaran berbasis keterampilan industri 4.0, sekaligus memperkenalkan konsep *design–make–evaluate* kepada siswa. Dengan demikian, implementasi teknologi *digital manufacturing* berbasis pencetakan 3D FDM di SMK Muhammadiyah Tirtayasa diharapkan mampu meningkatkan kualitas pendidikan vokasi, relevansi kompetensi lulusan dengan kebutuhan industri, serta menumbuhkan kreativitas dan kesiapan kerja siswa di bidang manufaktur modern.

Melalui kolaborasi antara perguruan tinggi dan SMK, kegiatan ini diharapkan tidak hanya menghasilkan transfer pengetahuan dan teknologi, tetapi juga membangun ekosistem pembelajaran vokasi yang berkelanjutan, adaptif, dan berorientasi pada inovasi. Dalam jangka panjang, model pendampingan ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas lulusan SMK, memperkuat daya saing tenaga kerja muda di wilayah pedesaan, serta mendukung pembangunan ekonomi lokal melalui pemanfaatan teknologi manufaktur digital.

## 2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan secara bertahap dengan kegiatan inti pada periode bulan Juni sampai dengan Juli 2026 di SMK Muhammadiyah Tirtayasa, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Program diikuti oleh 10 orang guru yang telah ditugaskan oleh kepala sekolah untuk mengikuti pelatihan ini. Dalam pelatihan ini sejumlah alat dan bahan digunakan untuk mendukung tercapainya tujuan pelatihan. Adapun alat dan bahan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Kegiatan dibagi dalam 4 tahapan, yakni: tahap pelatihan, tahap penerapan teknologi, tahap pendampingan dan evaluasi, dan tahap keberlanjutan program. Pertama, tahap pelatihan difokuskan pada peningkatan kapasitas sumber daya manusia, khususnya guru dalam bidang *digital manufacturing*. Metode pelatihan dilakukan secara bertahap dan aplikatif, meliputi: desain produk digital berbasis CAD, pengoperasian dan pemahaman prinsip kerja teknologi pencetakan 3D dengan sistem FDM, pengaturan parameter pencetakan dan pemilihan material, serta evaluasi kualitas hasil cetak dan dasar *troubleshooting*. Pelatihan dilaksanakan dengan pendekatan praktik langsung dan berbasis proyek sederhana, sehingga peserta tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu mengaplikasikan teknologi secara mandiri.

Kedua, tahap penerapan teknologi dilakukan melalui penyediaan dan instalasi perangkat *digital manufacturing*, khususnya mesin pencetak 3D FDM dan perangkat lunak pendukung dalam proses pembelajaran. Pada tahap ini dilakukan instalasi dan uji coba mesin pencetak 3D di lingkungan sekolah, Pengenalan standar operasional dan prosedur (SOP) penggunaan dan keselamatan kerja, penerapan teknologi dalam kegiatan

pembelajaran praktik dan pembuatan media ajar, serta pemanfaatan hasil cetak 3D sebagai alat peraga dan prototipe pembelajaran. Penerapan teknologi difokuskan pada aspek pendidikan sebagai layanan sosial kemasyarakatan, dengan tujuan meningkatkan kualitas pembelajaran dan akses siswa terhadap teknologi industri modern.

Ketiga, tahap pendampingan dilakukan secara intensif setelah pelatihan dan penerapan teknologi untuk memastikan keberhasilan dan keberlanjutan program. Pendampingan meliputi asistensi penggunaan teknologi dalam kegiatan belajar mengajar, Pendampingan guru dalam mengintegrasikan *digital manufacturing* ke dalam modul pembelajaran, pendampingan siswa dalam menyelesaikan proyek pembelajaran berbasis pencetakan 3D, serta evaluasi berkala terhadap capaian luaran dan kendala yang dihadapi. Evaluasi dilakukan melalui observasi, diskusi reflektif, serta pengukuran indikator capaian seperti tingkat partisipasi, jumlah produk yang dihasilkan, dan tingkat kemandirian mitra dalam mengoperasikan teknologi.

**Tabel 1**. Alat dan bahan pelatihan pencetakan 3D

| No. | Alat/Bahan | Spesifikasi | Jumlah | Satuan | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Printer 3D | Bambu Lab P1S | 2 | Unit | *Sharing*/5 orang |
| 2 | Komputer/laptop | Intel Core | 2 | Unit | *Sharing*/5 orang |
| 3 | Micrometer Jangka sorong | - | 1 | Unit | Mengukur dimensi benda |
| 4 | Tang potong | Isku nozzle plier | 1 | Unit | Memotong bahan filamen |
| 5 | Spatula | - | 1 | Unit | Melepas benda dari *build plate* |
| 6 | *Software slicer* | Bambu Studio | 1 | - | Mengatur parameter pencetakan |
| 7 | Software CAD (opsional) | FreeCAD | 1 | - | Membuat model 3D |
| 8 | Filamen | PLA basic | 4 | Pax | Bahan pencetakan |
| 9 | Alkohol isopropil | - | 1 | Botol | Membersihkan *build plate* |
| 10 | Tisu pembersih | - | 1 | Pax | Membersihkan *build plate* |
| 11 | Modul pembelajaran | - | 10 | Bundel | Panduan pemakaian *printer* 3D |
| 12 | Komponen sepeda motor atau lainnya | - | 2 | Unit | Obyek pelatihan |

Keempat, tahap keberlanjutan program dirancang melalui penguatan kapasitas internal mitra. Strategi keberlanjutan meliputi: penunjukan guru penanggung jawab fasilitas *digital manufacturing*, penyusunan standar operasi dan prosedur (SOP) penggunaan dan perawatan alat, integrasi teknologi pencetakan 3D ke dalam kegiatan ekstrakurikuler atau praktik rutin, serta pengembangan jejaring lanjutan dengan perguruan tinggi dan dunia industri. Dengan strategi ini, program diharapkan tetap berjalan meskipun kegiatan pengabdian telah selesai.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan kompetensi guru dan siswa SMK Muhammadiyah Tirtayasa dalam bidang *digital manufacturing* melalui pelatihan desain berbantuan komputer (*Computer-Aided Design/CAD*) dan teknologi pencetakan 3D. Program pelatihan

dirancang untuk memperkuat kapasitas peserta dalam memahami konsep dasar manufaktur digital, mengembangkan keterampilan desain produk, mengoperasikan printer 3D, serta menerapkan pendekatan *project-based learning* sebagai media pembelajaran yang relevan dengan kebutuhan industri. Berdasarkan hasil pelatihan serta penilaian terhadap lembar praktik peserta, secara umum guru dan siswa menunjukkan peningkatan pengetahuan dan keterampilan pada seluruh aspek kompetensi yang dilatihkan.

### 3.1 Tahap Pelatihan

Tahap pelatihan difokuskan pertama pada peningkatan kapasitas guru, dan selanjutnya pada siswa SMK Muhammadiyah Tirtayasa dalam menguasai kompetensi dasar *digital manufacturing* sebagai fondasi implementasi teknologi manufaktur modern di lingkungan sekolah. Pelatihan dilaksanakan secara bertahap dengan mengombinasikan penyampaian materi konseptual dan praktik langsung, sehingga peserta memperoleh pengalaman belajar yang sistematis mulai dari proses perancangan produk menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD), pengenalan prinsip kerja teknologi pencetakan tiga dimensi berbasis *Fused Deposition Modeling* (FDM), pengaturan parameter pencetakan (*layer height*, *infill*, *support*, dan *printing speed*), pemilihan material filamen sesuai karakteristik produk, hingga evaluasi kualitas hasil cetak dan identifikasi penyebab kegagalan pencetakan (*troubleshooting*). Selama kegiatan berlangsung, peserta secara aktif menyelesaikan proyek sederhana berupa perancangan dan pencetakan komponen yang relevan dengan bidang keahlian di sekolah. Hasil observasi selama pelatihan menunjukkan bahwa guru dan siswa mampu mengikuti setiap tahapan pembelajaran dengan baik serta mulai mengoperasikan perangkat lunak CAD dan printer 3D secara mandiri untuk menghasilkan produk sesuai spesifikasi yang telah ditentukan.



**Gambar 1**. Evaluasi hasil pencetakan 3D

Penerapan pendekatan praktik langsung (*hands-on learning*) dan *project-based learning* memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dibandingkan pembelajaran berbasis ceramah. Melalui proses merancang, mencetak, mengevaluasi, dan memperbaiki hasil cetak, peserta tidak hanya memperoleh pengetahuan mengenai teknologi 3D printing, tetapi juga mengembangkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan kolaborasi yang menjadi kompetensi utama dalam pendidikan vokasi abad ke-21. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek mampu menjembatani kesenjangan antara konsep teoritis dan praktik industri sehingga peserta lebih siap mengimplementasikan teknologi *digital manufacturing* dalam kegiatan pembelajaran maupun pengembangan produk.

### 3.2 Tahap Penerapan Teknologi

Tahap penerapan teknologi merupakan inti dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang bertujuan mengintegrasikan teknologi *digital manufacturing* ke dalam proses pembelajaran di SMK Muhammadiyah Tirtayasa. Berbeda dengan tahap pelatihan yang berfokus pada peningkatan kompetensi individu, tahap ini diarahkan pada penguatan kapasitas sekolah melalui penyediaan sarana pembelajaran, penerapan standar operasional penggunaan teknologi, serta integrasi teknologi 3D printing ke dalam kegiatan pembelajaran praktik. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menciptakan lingkungan belajar yang lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi industri sekaligus mendukung keberlanjutan program setelah kegiatan pengabdian berakhir.

Kegiatan juga mencakup penyusunan dan sosialisasi Standar Operasional Prosedur (SOP) penggunaan printer 3D. SOP disusun untuk memberikan panduan kepada guru dan siswa mengenai prosedur pengoperasian mesin, persiapan material filamen, pengaturan parameter pencetakan, proses *post-processing*, pemeliharaan peralatan, serta aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Penerapan SOP menjadi langkah penting untuk meminimalkan risiko kerusakan peralatan maupun kecelakaan kerja, sekaligus membangun budaya penggunaan teknologi yang aman, disiplin, dan bertanggung jawab dalam lingkungan pendidikan vokasi.



**Gambar 2**. Penerapan teknologi 3D printing untuk sekolah mitra

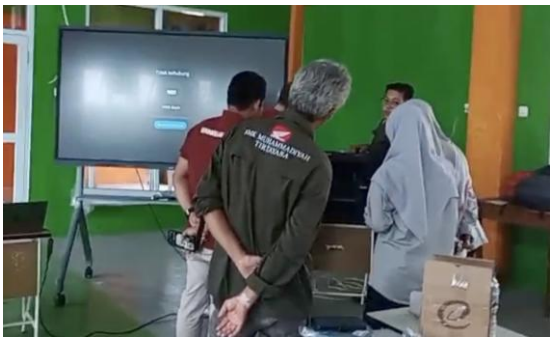
Penerapan teknologi *digital manufacturing* dalam pendidikan vokasi memiliki peran penting dalam menjembatani kesenjangan antara kompetensi lulusan dengan kebutuhan industri. Menurut González-Pérez & Ramírez-Montoya (2022), Revolusi Industri 4.0 ditandai oleh integrasi teknologi digital ke dalam proses produksi sehingga lembaga pendidikan dituntut menghasilkan lulusan yang memiliki kompetensi digital, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah. Sejalan dengan itu, Totuk et al. (2025) dan juga Said et al. (2026) menjelaskan bahwa teknologi 3D printing tidak hanya mempercepat proses *prototyping*, tetapi juga mendorong pembelajaran berbasis desain (*design-based learning*) yang meningkatkan kreativitas, kemampuan berpikir kritis, dan inovasi peserta didik. Lebih lanjut, (Fidan et al., 2023) menyatakan bahwa adopsi teknologi *additive manufacturing* telah mengubah paradigma pengembangan produk melalui proses yang lebih cepat, fleksibel, dan efisien dibandingkan metode manufaktur konvensional. Temuan tersebut sejalan dengan hasil kegiatan ini, di mana guru dan siswa mampu memahami alur kerja manufaktur digital serta menghasilkan produk hasil desain dan pencetakan tiga dimensi secara mandiri.

Integrasi keterampilan desain digital, pengoperasian teknologi pencetakan 3D, dan penerapan *project-*

*based learning* mencerminkan pendekatan pembelajaran vokasi yang berorientasi pada pengembangan kompetensi abad ke-21. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan penguasaan keterampilan teknis, tetapi juga memperkuat kemampuan berpikir kritis, kolaborasi, komunikasi, dan kreativitas yang menjadi kompetensi utama dalam dunia kerja modern. Dengan demikian, kegiatan pendampingan ini tidak hanya memberikan transfer pengetahuan dan teknologi, tetapi juga memperkuat kapasitas kelembagaan SMK dalam mengimplementasikan pembelajaran berbasis manufaktur digital secara berkelanjutan. Dalam jangka panjang, penguatan kompetensi tersebut diharapkan mampu meningkatkan kualitas lulusan, memperluas peluang kerja, serta mendorong lahirnya wirausaha muda berbasis teknologi yang berkontribusi terhadap pembangunan ekonomi di wilayah pedesaan.

### 3.3 Tahap Pendampingan dan Evaluasi

Tahap pendampingan dilaksanakan secara intensif setelah kegiatan pelatihan dan penerapan teknologi sebagai upaya memastikan bahwa kompetensi yang telah diperoleh dapat diimplementasikan secara berkelanjutan dalam proses pembelajaran. Pendampingan difokuskan pada asistensi penggunaan teknologi *digital manufacturing* dalam kegiatan belajar mengajar, pembimbingan guru dalam mengintegrasikan materi desain berbantuan komputer (CAD) dan teknologi 3D printing ke dalam modul pembelajaran, serta pendampingan siswa dalam menyelesaikan proyek berbasis pencetakan tiga dimensi. Selama proses pendampingan, guru mulai memanfaatkan perangkat digital manufacturing sebagai media pembelajaran pada mata pelajaran produktif, sedangkan siswa mampu menyelesaikan beberapa proyek sederhana mulai dari proses perancangan, *slicing*, hingga pencetakan produk. Hasil evaluasi melalui observasi, diskusi reflektif, dan penilaian terhadap luaran kegiatan menunjukkan bahwa tingkat partisipasi guru dan siswa tetap tinggi, jumlah produk pembelajaran yang dihasilkan meningkat, serta kemampuan mitra dalam mengoperasikan printer 3D dan perangkat lunak pendukung semakin mandiri. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pendampingan berperan penting dalam memperkuat transfer pengetahuan menjadi kompetensi yang dapat diterapkan secara nyata dalam lingkungan sekolah.



**Gambar 3**. Tahap pendampingan dan evaluasi untuk implementasi berkelanjutan

Keberhasilan tahap pendampingan menunjukkan bahwa pengembangan kapasitas sekolah tidak cukup dilakukan melalui pelatihan satu kali, tetapi memerlukan proses pendampingan yang berkesinambungan agar terjadi perubahan praktik pembelajaran dan penguatan kelembagaan. Pendekatan ini memungkinkan guru memperoleh umpan balik secara langsung ketika menghadapi kendala teknis maupun pedagogis, sekaligus meningkatkan kepercayaan diri dalam mengintegrasikan teknologi manufaktur digital ke dalam pembelajaran berbasis proyek. Di sisi lain, siswa memperoleh pengalaman belajar yang

lebih kontekstual melalui penyelesaian proyek nyata yang mendorong kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan pemecahan masalah. Temuan ini sejalan dengan konsep *capacity building* yang menekankan pentingnya pendampingan berkelanjutan dalam membangun kompetensi individu dan kelembagaan, serta mendukung implementasi inovasi secara berkesinambungan. Dengan demikian, tahap pendampingan tidak hanya meningkatkan kemandirian sekolah dalam mengoperasikan teknologi *digital manufacturing*, tetapi juga memperkuat fondasi pengembangan ekosistem pembelajaran vokasi yang adaptif terhadap perkembangan teknologi industri.

Evaluasi dilakukan melalui observasi selama proses pelatihan, penilaian terhadap hasil praktik, serta asesmen terhadap produk yang dihasilkan peserta. Penilaian difokuskan pada kemampuan memahami konsep dasar *digital manufacturing*, membuat model tiga dimensi menggunakan perangkat lunak CAD, mengoperasikan printer 3D, melakukan proses *post-processing*, serta mengevaluasi kualitas hasil cetak berdasarkan parameter teknis yang telah ditentukan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa peserta memperoleh capaian yang baik pada seluruh aspek yang dinilai, sebagaimana disajikan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2**. Evaluasi hasil capaian kompetensi dalam pelatihan

| No. | Kompetensi | Ketercapaian |
|---|---|---|
| 1 | Pemahaman konsep dasar *digital manufacturing* | 90% |
| 2 | Kemampuan mendesain dengan CAD | 80% |
| 3 | Kemampuan mengoperasikan *printer* 3D | 80% |
| 4 | Kemampuan evaluasi dan penyempurnaan hasil produk | 80% |
| 5 | Kemampuan mengembangkan pembelajaran berbasis proyek | 70% |

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 2, dapat dijelaskan bahwa mayoritas peserta menunjukkan peningkatan kompetensi pada seluruh aspek pembelajaran. Secara lebih rinci, hasil tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1. Pemahaman Konsep Dasar Digital Manufacturing

Berdasarkan hasil evaluasi, sebagian besar peserta telah memahami konsep dasar *digital manufacturing*, termasuk alur kerja mulai dari proses perancangan digital, pembuatan model tiga dimensi, *slicing*, hingga proses manufaktur menggunakan teknologi *additive manufacturing*. Sebanyak 90% peserta memperoleh kategori baik pada aspek ini, menunjukkan bahwa materi pengantar mampu memberikan pemahaman konseptual yang kuat sebagai dasar penguasaan teknologi manufaktur digital.

2. Kemampuan Mendesain Produk Menggunakan CAD

Hasil penilaian menunjukkan bahwa sekitar 80% peserta telah mampu membuat model tiga dimensi sederhana menggunakan perangkat lunak CAD sesuai spesifikasi yang diberikan. Peserta mampu menerapkan fungsi-fungsi dasar seperti *sketching*, *extrude*, *revolve*, serta melakukan modifikasi dimensi dan penyimpanan model dalam format yang siap diproses pada perangkat lunak *slicer*. Capaian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis praktik efektif dalam meningkatkan keterampilan desain digital.

3. Kemampuan Mengoperasikan Printer 3D

Berdasarkan hasil praktik, sekitar 80% peserta mampu melakukan proses

pencetakan secara mandiri, mulai dari persiapan material, pengaturan parameter pencetakan, *bed leveling*, hingga proses pencetakan objek menggunakan printer 3D. Selain itu, peserta juga mulai memahami penyebab umum kegagalan pencetakan, seperti *warping*, *stringing*, *layer shifting*, dan *under-extrusion*, beserta langkah-langkah penanganannya.

4. Kemampuan Evaluasi dan Penyempurnaan Hasil Produk

Sebanyak 80% peserta mampu melakukan evaluasi terhadap kualitas hasil cetak berdasarkan aspek dimensi, kekasaran permukaan, kekuatan struktur, dan ketepatan bentuk dibandingkan dengan model digital yang dirancang. Peserta juga mampu melakukan *post-processing* sederhana, seperti pelepasan *support material* dan perapihan permukaan hasil cetak.

5. Kemampuan Mengembangkan Pembelajaran Berbasis Proyek

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sekitar 70% peserta, khususnya guru produktif, telah mampu merancang skenario pembelajaran berbasis proyek yang mengintegrasikan desain CAD dan teknologi 3D printing ke dalam mata pelajaran produktif. Meskipun capaian ini masih berada di bawah aspek kompetensi teknis lainnya, guru menunjukkan pemahaman awal mengenai penerapan *project-based learning* sebagai pendekatan pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik pendidikan vokasi dan kebutuhan industri.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa peserta memperoleh capaian yang baik pada seluruh aspek kompetensi yang dilatihkan. Capaian tertinggi terdapat pada pemahaman konsep dasar *digital manufacturing* (90%), diikuti kemampuan desain menggunakan CAD (80%), pengoperasian printer 3D (80%), evaluasi kualitas produk (80%), dan pengembangan pembelajaran berbasis proyek (70%). Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi penyampaian materi konseptual, demonstrasi, dan praktik langsung mampu meningkatkan kompetensi peserta secara efektif. Meskipun demikian, kemampuan mengintegrasikan teknologi manufaktur digital ke dalam pembelajaran masih memerlukan pendampingan berkelanjutan agar implementasinya dapat berlangsung secara optimal di lingkungan sekolah.

### 3.4 Tahap Keberlanjutan Program

Tahap keberlanjutan program dirancang untuk memastikan bahwa pemanfaatan teknologi *digital manufacturing* tidak berhenti setelah kegiatan pengabdian selesai, tetapi menjadi bagian dari sistem pembelajaran di SMK Muhammadiyah Tirtayasa. Strategi keberlanjutan diawali dengan penguatan kapasitas internal sekolah melalui penunjukan guru penanggung jawab yang bertugas mengelola fasilitas *digital manufacturing*, mengoordinasikan penggunaan printer 3D, serta memberikan pendampingan teknis kepada guru dan siswa. Selain itu, disusun Standar Operasional Prosedur (SOP) penggunaan, pemeliharaan, dan keselamatan kerja sebagai pedoman dalam pengoperasian perangkat secara aman dan berkelanjutan. Sekolah juga mulai mengintegrasikan teknologi 3D printing ke dalam kegiatan praktik pada mata pelajaran produktif serta merencanakan pemanfaatannya pada kegiatan ekstrakurikuler yang berorientasi pada desain produk dan inovasi. Langkah-langkah tersebut menjadi fondasi awal dalam membangun tata kelola fasilitas yang lebih sistematis sehingga teknologi yang telah diintroduksi dapat dimanfaatkan secara optimal dalam jangka panjang.




**Gambar 4**. Diskusi untuk keberlanjutan program dengan guru-guru SMK Muhammadiyah Tirtayasa

Keberlanjutan program juga diperkuat melalui pengembangan jejaring kolaborasi antara sekolah, perguruan tinggi, dan dunia industri sebagai bentuk implementasi konsep *triple helix* dalam pendidikan vokasi. Kolaborasi ini membuka peluang bagi sekolah untuk memperoleh pendampingan lanjutan, pembaruan kompetensi guru, akses terhadap perkembangan teknologi manufaktur digital, serta pengembangan proyek pembelajaran yang lebih relevan dengan kebutuhan industri. Dari perspektif pengembangan kapasitas (*capacity building*), keberlanjutan tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan peralatan, tetapi juga oleh kesiapan sumber daya manusia, tata kelola kelembagaan, dan kemitraan yang mampu mendukung proses inovasi secara berkesinambungan (Anshari & Ordóñez de Pablos, 2025). Oleh karena itu, strategi keberlanjutan yang mengombinasikan penguatan kapasitas internal dan kolaborasi eksternal diharapkan mampu membentuk ekosistem pembelajaran vokasi yang mandiri, adaptif, dan berorientasi pada kebutuhan industri, sehingga manfaat program tetap dirasakan oleh guru, siswa, dan sekolah dalam jangka panjang.

## 4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa pendampingan kompetensi *digital manufacturing* berbasis teknologi 3D printing di SMK Muhammadiyah Tirtayasa telah berhasil meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kesiapan guru maupun siswa dalam mengadopsi teknologi manufaktur digital. Hasil evaluasi melalui pendekatan yang didukung oleh observasi selama pelatihan dan penilaian terhadap hasil praktik, menunjukkan adanya peningkatan kompetensi pada aspek pemahaman konsep dasar *digital manufacturing*, kemampuan menggunakan perangkat lunak CAD, proses *slicing*, pengoperasian printer 3D, pemilihan material, serta evaluasi kualitas hasil cetak. Peningkatan tersebut mengindikasikan bahwa pendekatan pembelajaran yang mengombinasikan penyampaian materi, demonstrasi, praktik langsung, dan pendampingan proyek efektif dalam meningkatkan capaian pembelajaran peserta.

Selain memberikan dampak terhadap peningkatan kompetensi individu, kegiatan ini juga memperkuat kapasitas kelembagaan SMK dalam mengembangkan pembelajaran vokasi

yang selaras dengan kebutuhan industri 4.0. Tingginya minat peserta untuk memanfaatkan teknologi 3D printing dalam kegiatan pembelajaran maupun pengembangan produk menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki potensi untuk diintegrasikan sebagai salah satu program unggulan sekolah. Oleh karena itu, keberlanjutan program melalui peningkatan kompetensi guru, penguatan sarana dan prasarana *digital manufacturing*, serta pengembangan pembelajaran berbasis proyek perlu terus dilakukan agar implementasi teknologi manufaktur digital dapat berlangsung secara berkelanjutan dan menghasilkan lulusan yang kompeten, inovatif, serta memiliki daya saing tinggi di dunia kerja maupun dalam pengembangan kewirausahaan berbasis teknologi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM), Kemdiktisaintek Republik Indonesia atas dukungan pendanaan, dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Serang Raya yang telah mendukung selama pelaksanaan program, serta SMK Muhammadiyah Tirtayasa sebagai mitra yang telah berpartisipasi aktif dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari sosialisasi, pelatihan, hingga penerapan teknologi.

## DAFTAR PUSTAKA

Agustian, D., Amartha, A., & Wardoyo, S. (2024). Tantangan Pendidikan Vokasional dalam Meningkatkan Penyerapan Lulusan SMK di Dunia Industri. *Jurnal Studi Guru Dan Pembelajaran*, *7*(3), 1373–1382. https://doi.org/10.30605/jsgp.7.3.2024.5016

Ahmanda, W., Maulana, A., Murtinugraha, R. E., & Arifah, S. (2022). Implementasi Program SMK Pusat Keunggulan Dilihat dari Konsep 8+i Link and Match. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan*, *2*(2), 59–74. https://doi.org/10.17509/jptb.v2i2.51290

Akbar, R., Ardina Kusuma, Y., Poniman, P., Hakim, M. H., Arifa P.A, E., & Afli A., R. (2024). Pengembangan dan Evaluasi Printer 3D FDM Berbasis Linear Slider MGN12 untuk Meningkatkan Kepresisian pada Aplikasi Ergonomi dan Industri. *Jurnal Surya Teknika*, *11*(2), 677–683. https://doi.org/10.37859/jst.v11i2.8350

Arisman, ari. (2022). Strategic Role of Schools in Rural Economic Development. *Journal of Society and Development*. https://doi.org/10.57032/jsd.v2i2.193

Edo, A., & Yasin, M. (2024). Dampak Kesenjangan Akses Pendidikan dan Faktor Ekonomi Keluarga terhadap Mobilitas Sosial. *JURNAL ILMU PENDIDIKAN & SOSIAL (SINOVA)*, *2*(3), 317–326. https://doi.org/10.71382/sinova.v2i3.175

Faiq, T. A., & Putra, D. A. A. (2025). Pemberdayaan dan Pembangunan : Strategi Masyarakat Madura dalam Meningkatkan Kualitas Sumber Daya Manusia Melalui Pendidikan (Studi di Desa Buluh, Kecamatan Socah, Kabupaten Bangkalan). *JURNAL SOSIAL EKONOMI DAN HUMANIORA*, *11*(3), 269–275. https://doi.org/10.29303/jseh.v11i3.885

González-Pérez, L. I., & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st Century Skills Frameworks: Systematic Review. *Sustainability*, *14*(3), 1493. https://doi.org/10.3390/su14031493

Karlina, N., Rusli, B., & Muharam, R. S. (2026). Enhancing Organizational Capacity for Sustainable Rural Development: Evidence from

Transmigration Areas in Indonesia. *Sustainability*, *18*(11), 5516. https://doi.org/10.3390/su18115516

Maluleke, L., & Harley, A. (2017). "Doing something in life": Rural youth reimagining technical vocational education and training. *Journal of Education*, (66). https://doi.org/10.17159/2520-9868/i66a04

Muhibah, S. (2023). Persepsi Keluarga tentang Motivasi Kaum Perempuan Menjadi Tenaga Kerja Wanita (TKW) ke Luar Negeri dan Pengaruhnya Terhadap Tingkat Kemiskinan: Sebuah Studi Kasus di Kecamatan Pontang Kabupaten Serang, Indonesia. *Jurnal Studi Kasus Kegiatan Masyarakat*, *1*(1), 23–28. https://doi.org/10.53889/jskkm.v1i1.254

Nugrowibowo, S., & Muslimin, M. (2023). Smart Manufacturing: Latest Technologies And Applications In Industrial Engineering. *Jurnal Minfo Polgan*, *12*(1), 305–310. https://doi.org/10.33395/jmp.v12i1.12374

Pratiwi, W. R. (2024). Strategi Inovatif Memecahkan Tantangan Akses Informasi Beasiswa untuk Generasi Emas Bangsa: Edukasi Berbasis Webinar. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, *30*(4), 486–493.

Prima, A., Komariyah, L., Subagiyo, L., & Warman, W. (2025). Menata Ulang Manajemen Sekolah Menengah Kejuruan di Tengah Kesenjangan Mutu dan Akses Antara SMK Kota dan Desa. *Journal of Instructional and Development Researches*, *5*(3), 277–291. https://doi.org/10.53621/jider.v5i3.533

Said, I., Romdhani, L., Larbi, B., Shadid, O. R., & Qadhi, S. M. (2026). 'Imagine and Make' pedagogy: impacts of combining Entrepreneurial Thinking, Design Thinking and 3D Printing technology on the learning experience in general education. *Cogent Education*, *13*(1). https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2602968

Siti Nur Hamidah, Moh. Ayip Fathani, Zulfadlillah Zulfadlillah, & Kardita Kardita. (2024). Peran Quality Engineering dalam Optimasi Proses Produksi. *JURAL RISET RUMPUN ILMU TEKNIK*, *3*(1), 232–240. https://doi.org/10.55606/jurritek.v3i1.4775

Suparyati, A., & Habsya, C. (2024). Kompetensi Lulusan Pendidikan Vokasi untuk Bersaing di Pasar Global. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, *7*(2), 1921–1927. https://doi.org/10.54371/jiip.v7i2.3288

Totuk, O. H., Selvi, Ö., & Akar, S. (2025). Fused filament fabrication in CAD education: A closed-loop approach. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, *53*(1), 167–188. https://doi.org/10.1177/03064190231215307

Wajdi, F., & Saad, M. S. (2023). Optimizing Surface Finish and Dimensional Accuracy in 3D Printed Free-Form Objects. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, *22*(2), 99–113. https://doi.org/10.25077/josi.v22.n2.p99-113.2023

Wulandari, M. N., & Mariyam, S. (2025). Analisis Kesenjangan Kompetensi Pedagogis, Profesional, dan Teknologi di Kalangan Guru Sekolah Kejuruan. *Jurnal Penelitian Tindakan Kelas*, *3*(1), 47–56. https://doi.org/10.61650/jptk.v3i1.726