

Optimizing the Potential of 3D Printing for Industry from Prototype to Production

Optimalisasi Potensi Pencetakan 3D bagi Industri dari Prototipe ke Produksi

Mohamad Agus Setiawan¹ , Ageng Setiani Rafika² , Ramzi Zainum Ikhsan^{3*} , Ninda Lutfiani⁴ ,

Richard Evans⁵ 

¹School of Business, IPB University, Indonesia

²Faculty of Science and Technology, University of Raharja, Indonesia

³Faculty of Economics and Business, University of Raharja, Indonesia

⁴Faculty of Information Technology, Satya Wacana Christian University, Indonesia

⁵Faculty of Economics and Business, ADI-Journal Incorporation, USA

¹agus.setiawan@jasamarga.co.id, ²agengsetianirafika@raharja.info, ³ramzi.zainum@raharja.info, ⁴982022020@student.uksw.edu,

⁵vans.richard@adi-journal.org

*Penulis Korespondensi

Artikel Info

Riwayat Artikel:

Penyerahan 18 Februari, 2025

Revisi 30 Maret, 2025

Diterima 21 Agustus, 2025

Diterbitkan 05 November, 2025

Keywords:

3D Printing
Additive Manufacturing
Production
Efficiency
Industry

Kata Kunci:

Pencetakan 3D
Manufaktur Aditif
Produksi
Efisiensi
Industri



ABSTRACT

The adoption of 3D printing technology has increased across various industrial sectors due to its ability to accelerate product development, reduce production costs, and support flexible manufacturing. However, implementation at the community and small–medium industry level remains limited due to gaps in technical skills, digital design knowledge, and structured technology transfer. **This community service program** aims to enhance the practical capacity of industrial partners in utilizing 3D printing, particularly in transitioning from prototyping to small-scale production. **The program used the Participatory Action Research (PAR)** approach through needs assessment, technology transfer training, hands-on practice, mentoring, and evaluation. Participants were guided in 3D modeling, printer setup, material selection, and print optimization. **The program improved participants technical skills and confidence** in producing functional prototypes according to industrial needs. Production time was reduced, design modification became more efficient, and opportunities for product innovation increased, supporting independent and adaptive manufacturing. **This program successfully** strengthened community-based industrial capabilities in adopting digital manufacturing, contributing to SDG 8 (Decent Work and Economic Growth) and SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure). Future activities are recommended to expand collaborative product development and sustain innovation networks between academia and industry.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



ABSTRAK

Pemanfaatan teknologi pencetakan 3D semakin meningkat dalam berbagai sektor industri karena dapat mempercepat pengembangan produk, menekan biaya produksi, dan mendukung sistem manufaktur yang fleksibel. Namun,

penerapannya pada industri kecil–menengah masih terbatas akibat keterbatasan keterampilan teknis dan akses pembelajaran teknologi. **Program pengabdian ini bertujuan** meningkatkan kapasitas mitra dalam memanfaatkan pencetakan 3D dari tahap prototipe menuju produksi skala kecil. **Pendekatan yang digunakan adalah *Participatory Action Research (PAR)*** melalui analisis kebutuhan, pelatihan, pendampingan praktis, evaluasi, dan diseminasi. Peserta dilatih dalam desain 3D, pengaturan printer, pemilihan material, dan optimasi proses cetak. **Kegiatan ini meningkatkan keterampilan teknis dan kepercayaan diri** peserta dalam menghasilkan prototipe sesuai kebutuhan industri. Efisiensi waktu meningkat, biaya prototyping menurun, dan ruang untuk inovasi produk semakin terbuka. **Program ini memperkuat kapasitas manufaktur digital** berbasis masyarakat dan mendukung SDG 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi) serta SDG 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur). Ke depan, perlu pengembangan jejaring inovasi berkelanjutan antara perguruan tinggi dan mitra industri.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



DOI: <https://doi.org/10.34306/adimas.v6i1.1193>

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

©Penulis memegang semua hak cipta

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur modern telah mendorong munculnya berbagai inovasi yang mampu mentransformasi sistem produksi industri, salah satunya adalah teknologi pencetakan 3D atau *additive manufacturing*. Teknologi ini memungkinkan proses pembuatan objek tiga dimensi secara berlapis berdasarkan rancangan digital, yang tidak hanya meningkatkan presisi desain tetapi juga mempercepat proses *prototyping* hingga ke tahap produksi massal [1]. Dalam konteks global, pencetakan 3D telah menjadi bagian penting dari strategi digital transformation dan Industry 4.0, di mana efisiensi, fleksibilitas, serta keberlanjutan menjadi faktor utama keberhasilan industri. Di Indonesia sendiri, teknologi ini semakin dilirik sebagai solusi untuk mendukung kemandirian industri, mengurangi ketergantungan impor komponen, serta membuka peluang bagi pelaku Usaha Kecil dan Menengah (UKM) untuk memproduksi produk inovatif secara lokal [2], [3]. Melalui penerapan pencetakan 3D, industri dapat menciptakan produk berkualitas tinggi dengan waktu dan biaya yang lebih efisien, sekaligus menumbuhkan ekosistem produksi yang ramah lingkungan dan berorientasi pada kebutuhan masyarakat.

Meskipun memiliki potensi besar, penerapan teknologi pencetakan 3D di sektor industri nasional masih menghadapi berbagai kendala [4]. Tantangan utama yang dihadapi meliputi keterbatasan infrastruktur teknologi, biaya material yang relatif tinggi, serta kurangnya sumber daya manusia yang memiliki kompetensi teknis dalam pengoperasian dan optimalisasi sistem pencetakan 3D [5]. Selain itu, sebagian besar pelaku industri kecil belum sepenuhnya memahami bagaimana teknologi ini dapat diintegrasikan ke dalam rantai pasokan industri secara efisien. Dalam konteks pengabdian kepada masyarakat, permasalahan ini menjadi relevan karena menunjukkan perlunya sinergi antara dunia akademik dan industri untuk memperkuat literasi teknologi serta meningkatkan kemampuan produksi masyarakat berbasis inovasi [6]. Melalui kegiatan implementasi dan pendampingan teknologi pencetakan 3D, universitas dapat berperan aktif dalam mentransfer pengetahuan kepada komunitas industri, memfasilitasi adopsi teknologi baru, dan mendukung terbentuknya sistem produksi yang lebih adaptif terhadap perubahan kebutuhan pasar. Dengan demikian, penelitian dan kegiatan pengabdian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan ilmu, tetapi juga pada peningkatan kapasitas masyarakat industri dalam menghadapi tantangan era digital.

Kegiatan ini bertujuan untuk mengkaji dan menerapkan potensi teknologi pencetakan 3D dalam meningkatkan efisiensi, kualitas produk, dan integrasi rantai pasokan industri dari tahap prototipe hingga produksi massal [7]. Melalui hasil penelitian dan pendampingan ini, diharapkan muncul peningkatan kemampuan masyarakat industri dalam mengoptimalkan proses produksi, mengurangi limbah material, serta mempercepat waktu pembuatan produk [8]. Selain memberikan manfaat ekonomi, kegiatan ini juga memiliki dampak sosial berupa penguatan ekosistem inovasi, peningkatan keterampilan tenaga kerja lokal, dan pengembangan industri berbasis teknologi yang berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini berperan penting dalam mendorong transformasi digital di sektor manufaktur, sekaligus menjadi wujud nyata kolaborasi antara akademisi dan masyarakat industri dalam menciptakan solusi inovatif bagi pembangunan ekonomi nasional.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka pada penelitian ini membahas landasan teoritis dan hasil penelitian terdahulu yang mendukung penerapan teknologi pencetakan 3D dalam konteks industri dan kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Bagian ini menguraikan konsep dasar dan prinsip kerja teknologi pencetakan 3D sebagai bentuk manufaktur aditif yang berorientasi pada efisiensi dan keberlanjutan [9]. Selanjutnya, dibahas pula perkembangan dan inovasi teknologi ini dari masa ke masa hingga penerapannya dalam berbagai sektor industri yang berdampak sosial. Selain itu, tinjauan ini menyoroti bagaimana 3D printing dapat diterapkan sebagai sarana pemberdayaan masyarakat dan peningkatan kapasitas industri kecil. Akhirnya, bagian ini meninjau tantangan serta peluang yang dihadapi dalam mengimplementasikan teknologi pencetakan 3D secara lebih luas, termasuk relevansinya terhadap transformasi digital dan pembangunan ekonomi lokal yang berkelanjutan.

2.1. Konsep dan Prinsip Dasar Teknologi Pencetakan 3D

Teknologi pencetakan 3D, yang juga dikenal dengan istilah *additive manufacturing*, merupakan pendekatan revolusioner dalam dunia produksi modern yang memungkinkan pembuatan objek tiga dimensi dengan menambahkan material secara berlapis berdasarkan model digital. Proses ini dimulai dari desain digital yang dirancang melalui perangkat lunak pemodelan tiga dimensi (*Computer-Aided Design* atau *CAD*), kemudian diterjemahkan menjadi instruksi bagi mesin printer 3D untuk membentuk objek lapis demi lapis hingga menjadi bentuk fisik yang diinginkan. Keunggulan utama dari metode ini terletak pada efisiensi penggunaan material, kemampuan menciptakan bentuk yang kompleks, serta fleksibilitas desain tanpa memerlukan cetakan khusus sebagaimana manufaktur tradisional. Dengan demikian, teknologi ini menjadi solusi alternatif bagi industri yang membutuhkan proses produksi cepat, hemat biaya, dan ramah lingkungan. Dalam konteks pengabdian kepada masyarakat, konsep dasar pencetakan 3D menjadi penting karena membuka peluang bagi masyarakat industri kecil untuk memproduksi alat bantu, suku cadang, atau produk inovatif secara mandiri, sehingga mengurangi ketergantungan pada rantai pasokan besar dan memperkuat kemandirian ekonomi berbasis teknologi digital [10].

2.2. Perkembangan dan Inovasi Pencetakan 3D dalam Konteks Industri

Perjalanan perkembangan teknologi pencetakan 3D dimulai pada awal tahun 1980-an dengan munculnya metode *stereolithography*, yang memungkinkan pembuatan prototipe dengan kecepatan dan akurasi tinggi [8]. Pada awalnya, 3D printing hanya digunakan oleh perusahaan besar di sektor otomotif dan kedirgantaraan untuk mempercepat proses desain dan pengujian produk. Namun, seiring kemajuan teknologi digital dan material komposit, penggunaannya semakin meluas ke berbagai bidang seperti kedokteran, arsitektur, pendidikan, serta industri kreatif [11]. Di sektor kesehatan, misalnya, teknologi ini digunakan untuk mencetak protesis, organ buatan, hingga peralatan medis yang disesuaikan dengan kebutuhan pasien. Sementara dalam pendidikan, teknologi ini menjadi sarana pembelajaran berbasis praktik yang mendorong kreativitas dan inovasi mahasiswa. Pada dekade terakhir, kemunculan printer 3D berskala kecil dan perangkat lunak open-source telah mempercepat difusi teknologi ini ke masyarakat umum [12]. Perkembangan ini menunjukkan bahwa 3D printing tidak lagi sekadar milik industri besar, tetapi telah menjadi bagian dari transformasi sosial yang memungkinkan masyarakat luas untuk berpartisipasi dalam kegiatan manufaktur digital dan ekonomi kreatif berbasis inovasi [13].

2.3. Aplikasi Teknologi Pencetakan 3D dalam Kegiatan Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat

Penerapan teknologi pencetakan 3D tidak hanya terbatas pada dunia industri, tetapi juga memiliki potensi besar untuk kegiatan pengabdian kepada masyarakat, khususnya dalam konteks pemberdayaan komunitas dan peningkatan kapasitas industri kecil [14]. Dalam kegiatan pengabdian, teknologi ini dapat digunakan sebagai sarana pelatihan keterampilan digital bagi pelaku Usaha Mikro dan Menengah (UMKM), mahasiswa, maupun masyarakat umum yang ingin mengembangkan produk berbasis teknologi [9]. Melalui pendekatan ini, pencetakan 3D dapat membantu masyarakat menghasilkan produk fungsional seperti alat bantu pertanian, peralatan rumah tangga, souvenir, atau komponen mesin dengan biaya yang terjangkau [15]. Selain itu, universitas berperan sebagai fasilitator transfer teknologi melalui pelatihan dan riset kolaboratif, sehingga proses produksi berbasis 3D printing dapat diintegrasikan dalam program *community development*. Dalam konteks pendidikan vokasi dan bisnis digital, kegiatan pengabdian yang mengadopsi 3D printing juga dapat meningkatkan kompetensi *knopreneurship*, kreativitas, serta kesadaran akan pentingnya inovasi berkelanjutan [16]. Dengan demikian, penerapan teknologi ini dalam kegiatan pengabdian tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga membangun ekosistem pembelajaran dan produksi berbasis teknologi di tingkat lokal.

2.4. Tantangan, Peluang, dan Arah Pengembangan Teknologi Pencetakan 3D

Walaupun potensi penerapan teknologi pencetakan 3D sangat besar, masih terdapat berbagai tantangan yang perlu diperhatikan agar implementasinya dapat memberikan hasil maksimal [17]. Salah satu kendala utama adalah keterbatasan kecepatan produksi dan biaya material yang masih tinggi untuk skala industri besar [10]. Selain itu, ketersediaan bahan baku lokal yang kompatibel dengan teknologi printer 3D masih terbatas, sehingga perlu adanya inovasi dalam pengembangan material alternatif yang lebih terjangkau dan berkelanjutan. Faktor lain yang juga penting adalah kesiapan sumber daya manusia karena pengoperasian dan perawatan peralatan 3D printing memerlukan kompetensi teknis yang memadai [18]. Namun, di sisi lain, tantangan ini juga menghadirkan peluang besar bagi lembaga pendidikan dan komunitas industri untuk berkolaborasi dalam program pelatihan, penelitian, serta pengembangan usaha berbasis teknologi digital [19]. Dengan dukungan akademik, pelaku industri kecil dapat memanfaatkan 3D printing untuk mempercepat produksi, memperbaiki efisiensi rantai pasokan, dan menciptakan produk inovatif yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Oleh karena itu, arah pengembangan teknologi ini tidak hanya berfokus pada peningkatan kapasitas industri, tetapi juga pada pemberdayaan masyarakat agar mampu beradaptasi dan berinovasi di tengah era transformasi digital yang dinamis [11].

Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, dapat disimpulkan bahwa teknologi pencetakan 3D memiliki potensi besar untuk merevolusi proses produksi industri sekaligus menjadi sarana pemberdayaan masyarakat melalui penerapan teknologi tepat guna [20]. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa 3D printing tidak hanya meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas produksi, tetapi juga membuka peluang kolaborasi antara akademisi, pelaku industri, dan komunitas lokal dalam menciptakan inovasi berbasis digital [21]. Meskipun demikian, implementasi teknologi ini masih menghadapi tantangan berupa biaya material yang tinggi, keterbatasan sumber daya manusia, serta integrasi dalam rantai pasokan industri [22]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan metodologis yang sistematis dan aplikatif untuk mengkaji secara empiris pengaruh teknologi pencetakan 3D terhadap efisiensi produksi, kualitas produk, serta dampaknya terhadap pengembangan kapasitas masyarakat industri. Pendekatan inilah yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian metode berikutnya [23].

3. METODE PELAKSANAAN

Metode yang digunakan dalam kegiatan pengabdian ini adalah pendekatan *Participatory Action Research* (PAR) yang dikombinasikan dengan model Transfer Teknologi dan Penguatan Kapasitas (*Capacity Building*) [24]. Pendekatan ini dipilih karena dinilai paling relevan untuk menjembatani penerapan teknologi pencetakan 3D ke dalam konteks masyarakat industri yang membutuhkan peningkatan kemampuan produksi dan pemahaman terhadap teknologi manufaktur digital [25]. Melalui metode ini, kegiatan tidak hanya berorientasi pada hasil, tetapi juga menekankan pada proses kolaboratif dan partisipatif antara tim pelaksana dari perguruan tinggi, pelaku industri, serta masyarakat pengguna teknologi. Dengan demikian, pengabdian ini berfungsi ganda: sebagai sarana edukatif untuk meningkatkan literasi teknologi dan sebagai media pengembangan ekonomi berbasis inovasi.

Tahapan awal kegiatan diawali dengan identifikasi kebutuhan dan pemetaan potensi mitra industri yang menjadi sasaran pengabdian. Pada tahap ini dilakukan observasi dan wawancara dengan pelaku industri lokal untuk memahami sejauh mana mereka telah mengenal atau menggunakan teknologi pencetakan 3D dalam proses produksinya [26]. Hasil dari tahap ini digunakan sebagai dasar untuk merancang bentuk pelatihan, pendampingan, dan modul penerapan teknologi yang sesuai dengan kebutuhan mitra. Setelah itu, dilakukan tahap transfer teknologi, yang melibatkan kegiatan pelatihan penggunaan perangkat 3D printer, pembuatan model digital menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD), serta proses konversi model menjadi objek fisik melalui pencetakan lapis demi lapis. Peserta pelatihan tidak hanya diperkenalkan pada aspek teknis, tetapi juga diberikan pemahaman mengenai strategi efisiensi biaya produksi, pemilihan material, dan standar kualitas produk yang sesuai dengan kebutuhan industri.

Tahap berikutnya adalah pendampingan implementatif, di mana peserta pelatihan mulai mempraktikkan penggunaan 3D printing untuk mencetak produk sesuai kebutuhan masing-masing mitra industri. Proses ini dilakukan secara kolaboratif dengan tim pendamping dari perguruan tinggi yang berperan memberikan bimbingan teknis dan evaluasi terhadap hasil cetakan [27]. Pendekatan ini bertujuan agar peserta tidak hanya memahami teori, tetapi juga menguasai keterampilan praktis dalam mengoperasikan dan mengintegrasikan teknologi tersebut dalam sistem produksi mereka. Kegiatan ini juga menumbuhkan kesadaran akan pentingnya inovasi digital sebagai bagian dari transformasi industri modern, sejalan dengan semangat Industry 4.0.

Tahap terakhir adalah evaluasi dan refleksi partisipatif, yang dilakukan untuk menilai keberhasilan kegiatan dari aspek pengetahuan, keterampilan, dan penerapan hasil pelatihan dalam kegiatan produksi nyata [28]. Evaluasi dilakukan melalui observasi langsung terhadap produk yang dihasilkan, wawancara dengan peserta, serta pengisian lembar umpan balik mengenai manfaat dan kendala yang mereka alami selama proses pelaksanaan. Hasil evaluasi ini menjadi dasar untuk perumusan rekomendasi strategis, baik bagi pengembangan kegiatan pengabdian selanjutnya maupun untuk penyusunan model implementasi teknologi 3D printing yang dapat diterapkan secara berkelanjutan di komunitas industri kecil dan menengah [29]. Melalui pendekatan ini, kegiatan pengabdian diharapkan mampu memberikan dampak nyata berupa peningkatan kapasitas produksi, efisiensi waktu kerja, serta peningkatan keterampilan masyarakat dalam mengelola teknologi berbasis manufaktur digital.

Tabel 1. Tahapan Pelaksanaan Pengabdian Berbasis PAR

Tahap Kegiatan	Deskripsi Kegiatan	Tujuan Utama	Output/Indikator Keberhasilan
Identifikasi dan Analisis Kebutuhan	Observasi dan wawancara dengan mitra industri untuk memahami kebutuhan teknologi dan kendala produksi yang dihadapi.	Menentukan fokus kegiatan dan jenis pelatihan yang relevan.	Laporan analisis kebutuhan mitra dan rencana kegiatan pelatihan.
Perancangan Program Transfer Teknologi	Penyusunan modul pelatihan, panduan penggunaan 3D printer, serta pemilihan perangkat dan bahan yang sesuai.	Menyiapkan desain program yang tepat sasaran dan aplikatif.	Modul pelatihan dan perangkat pendukung kegiatan.
Implementasi dan Pendampingan Lapangan	Pelatihan penggunaan 3D printer, pembuatan model digital, dan pencetakan produk sesuai kebutuhan mitra.	Meningkatkan keterampilan teknis dan pemahaman praktis peserta.	Produk hasil cetak 3D dan laporan hasil pelatihan.
Evaluasi dan Refleksi Partisipatif	Observasi hasil pelatihan, wawancara, serta diskusi reflektif dengan peserta untuk menilai keberhasilan kegiatan.	Mengukur dampak kegiatan dan menyusun rekomendasi perbaikan.	Laporan evaluasi dan rekomendasi pengembangan berkelanjutan.
Diseminasi dan Keberlanjutan Program	Publikasi hasil kegiatan dan pembentukan jejaring kerja sama lanjutan dengan mitra industri.	Menjamin keberlanjutan implementasi dan penyebaran manfaat.	Artikel ilmiah, dokumentasi kegiatan, dan komitmen kerja sama lanjutan.

Tabel 1 di atas menggambarkan tahapan pelaksanaan kegiatan pengabdian secara sistematis berdasarkan pendekatan PAR. Setiap tahap dirancang untuk membangun kesinambungan antara proses edukatif dan praktik aplikatif di lapangan. Saat awalan yang perlu diperhatikan adalah menekankan pada pentingnya analisis kebutuhan mitra sebagai fondasi agar kegiatan yang dilaksanakan benar-benar menjawab permasalahan nyata yang dihadapi industri. Selanjutnya, menegaskan peran tim pelaksana dalam menyiapkan instrumen, modul, serta sumber daya yang mendukung keberhasilan pelatihan [30]. Selanjutnya, merupakan inti dari kegiatan pengabdian, yaitu pelaksanaan pelatihan dan pendampingan langsung yang bersifat kolaboratif dan partisipatif. Pada bagian selanjutnya berfokus pada keberlanjutan dampak pengabdian. Pada tahap evaluasi, hasil pelatihan dan implementasi teknologi dievaluasi melalui umpan balik peserta serta pengamatan terhadap hasil produksi [31]. Refleksi dilakukan bersama untuk mengidentifikasi keberhasilan dan aspek yang masih perlu diperbaiki. Sementara itu, tahap diseminasi diarahkan untuk memperluas manfaat kegiatan melalui publikasi hasil, pembentukan jejaring industri, dan potensi kerja sama lanjutan [32]. Dengan demikian, tabel ini tidak hanya berfungsi sebagai panduan kegiatan, tetapi juga sebagai model strategis yang dapat direplikasi untuk kegiatan pengabdian serupa, khususnya yang mengintegrasikan teknologi manufaktur digital dengan pemberdayaan masyarakat industri [33].



Gambar 1. Proses pencetakan model menggunakan teknologi 3D Printer tipe FDM pada tahap produksi prototipe

Gambar 1 memperlihatkan pengoperasian perangkat 3D Printer di dalam sebuah ruang kerja atau enclosure khusus. Mesin yang digunakan tampak merupakan tipe *Fused Deposition Modeling* (FDM), yaitu salah satu teknologi pencetakan 3D yang bekerja dengan cara melelehkan filament (biasanya berbahan PLA, ABS, PETG atau TPU) kemudian menyusunnya lapis demi lapis sesuai desain digital (*CAD model*) yang telah diproses melalui perangkat lunak slicer [34]. Operator menempatkan atau menyesuaikan permukaan alas cetak (*print bed*) untuk memastikan hasil cetakan memiliki posisi dan kualitas yang tepat. Penggunaan enclosure atau penutup printer seperti dalam gambar berfungsi untuk menjaga stabilitas suhu selama proses pencetakan, mengurangi getaran dan debu, dan meningkatkan kualitas hasil cetak, terutama untuk material yang sensitif terhadap perubahan suhu [35]. Penggunaan masker oleh operator menunjukkan penerapan standar keselamatan kerja (K3), karena pencetakan 3D dapat menghasilkan partikel halus atau uap dari material yang dipanaskan. Gambar ini memperlihatkan proses manufaktur digital yang memanfaatkan teknologi 3D printing untuk pembuatan prototipe dan komponen produksi secara lebih cepat, presisi, dan efisien. Teknologi ini menjadi solusi produksi fleksibel bagi industri, pendidikan, dan pengembangan produk skala kecil hingga menengah [36].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan kegiatan pengabdian ini menunjukkan hasil yang signifikan dalam penerapan teknologi manufaktur aditif di lingkungan mitra Industri Kecil dan Menengah (IKM) [37]. Melalui pendekatan PAR, kegiatan ini berhasil meningkatkan keterampilan dan literasi teknologi peserta dalam menggunakan perangkat pencetakan 3D, mulai dari tahap desain digital, pembuatan prototipe, hingga proses produksi sederhana [23]. Sebelum kegiatan dimulai, sebagian besar mitra belum mengenal konsep manufaktur aditif dan masih bergantung pada metode konvensional yang memerlukan waktu lama untuk pembuatan komponen uji atau alat bantu kerja. Setelah mengikuti pelatihan dan pendampingan, para mitra mampu membuat desain digital sendiri menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) dan mencetak model fisik yang sesuai dengan kebutuhan produksi mereka [38]. Beberapa hasil yang dihasilkan meliputi pembuatan prototipe alat bantu produksi, komponen mesin ringan, serta cetakan untuk suku cadang. Penerapan teknologi ini berhasil mengurangi waktu produksi hingga 50–60% dan menurunkan biaya pembuatan alat uji hingga 40% dibandingkan metode konvensional [39]. Temuan ini menegaskan bahwa pencetakan 3D berpotensi besar meningkatkan efisiensi produksi di tingkat industri kecil sekaligus mempercepat transisi dari tahap prototipe ke produksi nyata [24].

Keberhasilan program dipengaruhi oleh penerapan metode PAR yang melibatkan peserta secara aktif dalam seluruh tahapan. Melalui pendekatan ini, mitra tidak hanya menerima pelatihan teknis, tetapi juga berperan sebagai co-creator dalam proses pembelajaran. Para peserta dilibatkan sejak tahap identifikasi kebutuhan, sehingga teknologi yang diterapkan benar-benar sesuai dengan kondisi dan tantangan yang mereka hadapi di lapangan [40]. Pendekatan partisipatif ini membuat proses transfer pengetahuan menjadi lebih kontekstual dan aplikatif. Dalam setiap sesi pelatihan, peserta diajak untuk mendesain, mencetak, dan mengevaluasi hasil cetakan 3D mereka sendiri dengan bimbingan langsung dari tim pendamping. Kegiatan refleksi yang dilakukan di akhir sesi menghasilkan banyak masukan berharga terkait pemilihan material, pengaturan suhu cetak, serta optimalisasi desain untuk meningkatkan kualitas produk akhir [26]. Dengan demikian, penerapan metode PAR tidak hanya memperkuat aspek teknis, tetapi juga menumbuhkan rasa memiliki dan tanggung

jawab peserta terhadap keberlanjutan penggunaan teknologi pencetakan 3D dalam proses produksi mereka [27].

Dari perspektif pembahasan strategis, kegiatan ini membuktikan bahwa pemanfaatan teknologi pencetakan 3D dapat menjadi jembatan nyata bagi industri kecil untuk bertransformasi dari fase prototyping menuju production. Selama ini, banyak pelaku industri kecil terhambat karena keterbatasan modal dan akses terhadap teknologi produksi modern [41]. Melalui kegiatan pengabdian ini, mereka tidak hanya memperoleh keterampilan teknis, tetapi juga memahami potensi pencetakan 3D sebagai solusi efisien untuk pengembangan produk lokal. Teknologi ini memungkinkan proses produksi yang fleksibel, cepat, dan ekonomis tanpa memerlukan investasi besar dalam peralatan berat. Secara sosial, kegiatan ini juga mendorong kolaborasi lintas sektor antara perguruan tinggi, pelaku industri, dan mahasiswa sehingga terbentuk ekosistem pembelajaran inovatif yang berkelanjutan [42]. Penerapan pencetakan 3D yang sebelumnya hanya digunakan untuk membuat prototipe kini mulai diadaptasi untuk produksi aktual, menunjukkan pergeseran paradigma industri menuju digitalisasi dan efisiensi tinggi. Oleh karena itu, kegiatan ini bukan hanya meningkatkan kapasitas teknis peserta, tetapi juga menjadi langkah konkret dalam mewujudkan kemandirian industri lokal berbasis teknologi digital dan inovasi berkelanjutan [43].

4.1. Implementasi Teknologi Pencetakan 3D dalam Industri dan Dampaknya bagi Masyarakat

Implementasi teknologi pencetakan 3D dalam kegiatan pengabdian ini telah memberikan dampak nyata bagi pelaku IKM yang menjadi mitra kegiatan. Sebelumnya, sebagian besar proses produksi masih mengandalkan metode konvensional seperti pengecoran manual atau pembentukan dengan cetakan fisik yang memerlukan waktu lama dan biaya tinggi [44]. Melalui kegiatan pelatihan dan pendampingan berbasis PAR, para pelaku industri kini mampu memahami dan menerapkan teknologi pencetakan 3D sebagai solusi produksi modern yang lebih cepat, efisien, dan fleksibel. Teknologi ini memungkinkan pembuatan prototipe serta komponen fungsional tanpa memerlukan alat produksi yang kompleks. Hasilnya, proses inovasi produk menjadi lebih adaptif terhadap permintaan pasar, karena desain dapat dimodifikasi secara digital tanpa harus membuat ulang cetakan baru.

Dampak ekonomi dari implementasi ini terlihat pada peningkatan efisiensi waktu dan biaya produksi. Mitra industri yang sebelumnya membutuhkan waktu hingga tiga hari untuk membuat komponen uji, kini dapat menyelesaikannya dalam waktu kurang dari satu hari dengan kualitas yang sama bahkan lebih baik. Penggunaan bahan baku juga menjadi lebih hemat karena sistem pencetakan 3D bekerja secara presisi dan mengurangi limbah produksi [45]. Secara sosial, kegiatan ini menciptakan efek pemberdayaan yang luas. Pelaku industri menjadi lebih percaya diri dalam berinovasi, dan masyarakat sekitar mulai tertarik untuk mempelajari potensi ekonomi dari teknologi ini, seperti pembuatan souvenir, alat bantu pendidikan, dan kebutuhan rumah tangga berbasis desain digital. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini tidak hanya menghasilkan peningkatan kapasitas teknis, tetapi juga menciptakan dampak sosial-ekonomi yang mendukung kemandirian industri lokal dan menguatkan budaya inovasi di lingkungan masyarakat.

4.2. Penguatan Potensi Mahasiswa melalui Kolaborasi dan Inovasi Teknologi

Selain memberikan dampak positif bagi para pelaku industri sebagai mitra sasaran, kegiatan pengabdian ini juga berperan sebagai wahana pembelajaran kontekstual yang komprehensif bagi mahasiswa yang terlibat secara langsung dalam program. Pelaksanaan kegiatan dirancang tidak hanya sebagai bentuk transfer teknologi kepada masyarakat industri, tetapi juga sebagai ruang praktik pembelajaran yang memungkinkan mahasiswa menerapkan kemampuan akademik dan keterampilan teknis dalam situasi nyata. Mahasiswa terlibat dalam seluruh tahapan kegiatan, mulai dari identifikasi kebutuhan mitra, penyusunan materi, hingga pendampingan dan evaluasi. Keterlibatan ini membantu mereka memahami bahwa penerapan teknologi harus mempertimbangkan aspek sosial, budaya, dan kesiapan sumber daya manusia di tingkat komunitas [46].

Mahasiswa tidak hanya mempelajari keterampilan teknis, seperti penggunaan printer 3D, penyesuaian produksi, dan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD), tetapi juga memahami dinamika sosial-ekonomi industri skala kecil. Mereka belajar membaca pola kepemimpinan komunitas, proses pengambilan keputusan, serta tantangan dalam penerimaan teknologi baru. Pengalaman ini melatih mahasiswa menganalisis masalah secara teknis sekaligus kontekstual, sehingga memperkuat kompetensi soft-skills yang menjadi fokus *Outcome-Based Education* (OBE). Mahasiswa dilatih untuk mengembangkan kemampuan pemecahan masalah (*problem solving*), komunikasi lintas pemangku kepentingan, dan kerja kolaboratif dengan berbagai pihak, termasuk pelaku industri dan komunitas lokal. Kegiatan ini juga menumbuhkan kepekaan sosial, empati,

serta sikap reflektif, sehingga tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis, tetapi juga memperkuat karakter, wawasan, dan kapasitas mahasiswa sebagai warga negara yang bertanggung jawab dan inovatif.



Gambar 2. Pelaksanaan sesi pelatihan teknis pencetakan 3D sebagai bagian dari program peningkatan kapasitas produksi berbasis teknologi digital

Kegiatan ini juga menumbuhkan semangat *technopreneurship* di kalangan mahasiswa seperti yang terlihat pada Gambar 2 dimana mahasiswa mencoba memahami bisnis teknologi 3D printing ini. Melalui interaksi langsung dengan pelaku industri, mahasiswa memperoleh wawasan tentang potensi bisnis berbasis teknologi 3D printing, seperti pengembangan produk digital, layanan desain cepat (*rapid prototyping services*), hingga produksi komponen kustom. Kolaborasi antara perguruan tinggi, mitra industri, dan mahasiswa menciptakan ekosistem pembelajaran yang berkelanjutan dan adaptif terhadap perkembangan industri 4.0. Lebih jauh lagi, kegiatan ini memperkuat hubungan antara dunia akademik dan dunia kerja (*link and match*), di mana mahasiswa tidak hanya menjadi pengguna teknologi, tetapi juga inovator yang berperan aktif dalam memperkenalkan dan mengembangkan solusi berbasis teknologi untuk masyarakat. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini tidak hanya meningkatkan kualitas mitra industri, tetapi juga memperluas wawasan, keterampilan, dan kesiapan mahasiswa dalam menghadapi tantangan transformasi digital di dunia profesional.

Implementasi teknologi pencetakan 3D dalam kegiatan pengabdian ini memberikan dampak nyata terhadap peningkatan produktivitas dan inovasi di sektor IKM. Melalui kegiatan pelatihan dan pendampingan berbasis PAR, para pelaku industri berhasil memahami dan menerapkan teknologi manufaktur aditif untuk mempercepat proses pembuatan prototipe hingga produksi sederhana. Sebelum kegiatan dilakukan, proses pembuatan komponen uji dan alat bantu kerja memerlukan waktu dua hingga tiga hari, namun setelah menerapkan teknologi 3D printing, waktu tersebut berkurang hingga 60% dengan efisiensi biaya mencapai 40%. Hasil ini memperlihatkan bahwa adopsi teknologi pencetakan 3D mampu meningkatkan daya saing industri lokal dan membuka peluang kerja baru melalui diversifikasi produk yang bernilai tambah [47]. Dampak ini sejalan dengan SDG 8 (*Decent Work and Economic Growth*) yang menekankan pentingnya pertumbuhan ekonomi inklusif dan penciptaan lapangan kerja produktif berbasis inovasi.

Selain itu, kegiatan ini juga mendukung tercapainya SDG 9 (*Industry, Innovation, and Infrastructure*) dengan memperkuat kemampuan inovasi industri di tingkat masyarakat. Teknologi 3D printing memungkinkan para pelaku IKM memproduksi komponen dan peralatan dengan desain kompleks tanpa harus bergantung pada pabrik besar atau mesin industri konvensional. Melalui pendekatan partisipatif, masyarakat industri dilatih untuk mendesain, mencetak, dan memodifikasi produk sesuai kebutuhan, sehingga memperluas pemahaman mereka terhadap konsep digitalisasi produksi. Inisiatif ini membangun fondasi industri berbasis pengetahuan (*knowledge-based industry*), dengan demikian, kegiatan pengabdian ini tidak hanya menghasilkan peningkatan keterampilan dan efisiensi, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan ekonomi yang berkelanjutan serta penguatan kapasitas inovasi nasional sesuai semangat SDG 8 dan SDG 9.

5. IMPLIKASI MANAJERIAL

Implikasi manajerial dari kegiatan pengabdian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi pencetakan 3D dapat menjadi strategi efektif bagi pelaku industri dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mempercepat proses inovasi produk. Dari perspektif manajerial, teknologi ini memberikan peluang bagi pengambil keputusan di sektor IKM untuk melakukan reengineering proses produksi tanpa harus melakukan investasi besar pada mesin konvensional. Dengan kemampuan pencetakan 3D yang fleksibel dan berbasis desain digital, manajer produksi dapat memperpendek siklus pengembangan produk (*product development cycle*), mengurangi risiko kesalahan desain, serta menyesuaikan output dengan kebutuhan pasar yang dinamis. Selain itu, penerapan 3D printing memungkinkan perusahaan untuk menerapkan model produksi on demand, yang lebih efisien dari sisi biaya dan penyimpanan. Hal ini mendorong terbentuknya paradigma baru dalam manajemen industri, yaitu digital manufacturing mindset, di mana efisiensi, inovasi, dan keberlanjutan menjadi elemen utama dalam perencanaan strategis.

Bagi perguruan tinggi, kegiatan ini memperkuat kemitraan antara dunia akademik dan industri melalui transfer teknologi yang dilakukan langsung lewat program pengabdian. Hal ini menunjukkan perlunya kebijakan yang mendorong dosen dan mahasiswa terlibat aktif dalam mendukung digitalisasi industri lokal. Dengan kolaborasi yang terkelola baik, program ini berpotensi berkembang menjadi innovation hub yang berkelanjutan. Secara keseluruhan, kegiatan ini menegaskan pentingnya tata kelola inovasi berbasis teknologi untuk mempercepat adaptasi menuju era Industri 4.0 dan meningkatkan daya saing nasional melalui inovasi berkelanjutan.

6. KESIMPULAN

Penerapan teknologi manufaktur aditif mampu memberikan perubahan signifikan dalam sistem produksi di sektor IKM. Melalui pendekatan PAR, pengabdian ini berhasil meningkatkan keterampilan teknis peserta dalam mendesain model digital, mencetak produk menggunakan 3D printer, serta mengintegrasikan teknologi tersebut ke dalam proses produksi sederhana. Efisiensi waktu dan biaya produksi meningkat hingga lebih dari 50%, sementara kualitas produk akhir juga menunjukkan peningkatan berkat penggunaan material yang lebih presisi dan minim limbah. Selain itu, kegiatan ini juga memperkuat kemampuan adaptasi pelaku industri terhadap teknologi digital, membuka peluang inovasi produk, serta membangun kesadaran akan pentingnya penerapan teknologi tepat guna dalam mendukung transformasi industri.


Urgensi dari kegiatan ini terletak pada perannya dalam menjembatani kesenjangan antara inovasi teknologi dan penerapannya di tingkat masyarakat industri. Pengabdian ini tidak hanya berorientasi pada hasil teknis, tetapi juga menekankan aspek pemberdayaan dan kolaborasi lintas sektor antara akademisi, mahasiswa, dan pelaku industri. Dengan menghadirkan teknologi pencetakan 3D ke dalam konteks pengabdian masyarakat, kegiatan ini memperlihatkan bahwa transformasi digital dapat dilakukan secara inklusif dan aplikatif, bahkan di kalangan industri kecil yang sebelumnya belum tersentuh oleh teknologi modern. Hal ini menegaskan bahwa universitas memiliki peran strategis sebagai agen transformasi yang tidak hanya berfungsi sebagai pusat pengetahuan, tetapi juga sebagai mitra pembangunan industri berkelanjutan. Dalam konteks pembangunan nasional, kegiatan ini turut mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDG) 8 dan SDG 9, yakni mendorong pertumbuhan ekonomi produktif serta memperkuat inovasi dan infrastruktur industri berbasis teknologi.




Penelitian dan pengabdian ini membuka ruang luas bagi pengembangan lanjutan di masa depan. Studi mendatang dapat difokuskan pada eksplorasi model integrasi 3D printing dalam sistem produksi berkelanjutan dengan melibatkan lebih banyak sektor industri dan komunitas pendidikan vokasi. Selain itu, riset kolaboratif yang menggabungkan teknologi 3D printing dengan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi arah baru dalam memperkuat efisiensi rantai pasokan serta otomatisasi proses manufaktur. Di sisi sosial, perlu dikembangkan program pengabdian lanjutan yang berorientasi pada *capacity building* dan *technopreneurship* mahasiswa agar hasil implementasi teknologi ini dapat terus berkembang di berbagai wilayah. Dengan demikian, kegiatan ini tidak berhenti sebagai proyek pengabdian semata, melainkan menjadi fondasi bagi transformasi industri lokal menuju ekosistem inovasi yang mandiri, inklusif, dan berkelanjutan.

7. DEKLARASI

7.1. Tentang Penulis

Mohamad Agus Setiawan (MA)  <https://orcid.org/0009-0003-6697-4879>

Ageng Setiani Rafika (AS)  <https://orcid.org/0000-0002-9737-7298>

Ramzi Zainum Ikhsan (RZ)  <https://orcid.org/0009-0005-2253-6476>
Ninda Lutfiani (NL)  <https://orcid.org/0000-0001-7019-0020>
Richard Evans (RE)  <https://orcid.org/0009-0007-7280-8323>

7.2. Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: AS; Metodologi: RE; Perangkat Lunak: SR; Validasi: RZ dan MA; Analisis Formal: MA dan AS; Investigasi: SR; Sumber Daya: RE; Kurasi Data: RZ; Penulisan Draf Asli Persiapan: SR dan MA; Penulisan Tinjauan dan Penyuntingan: AS dan RZ; Visualisasi: AS. Semua penulis, MA, AS, RZ, SR dan RE yang telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

7.3. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat diperoleh dengan menghubungi penulis utama berdasarkan permintaan.

7.4. Pendanaan

Penulis tidak menerima dukungan pendanaan dalam pelaksanaan pengabdian, penulisan, maupun proses publikasi artikel ini.

7.5. Deklarasi Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan, baik finansial maupun personal, yang dapat memengaruhi pelaksanaan maupun pelaporan penelitian dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jabil, "3d printing applications in manufacturing: A new age," 2022. [Online]. Available: <https://www.jabil.com/blog/3d-printing-applications.html>
- [2] K. B. C. S. Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, "'peran teknologi dalam mendukung umkm di era digital,'" KMS Knowledge Article, Kementerian Keuangan Republik Indonesia, Oct 2024, available at: <https://klc2.kemenkeu.go.id/kms/knowledge/peran-teknologi-dalam-mendukung-umkm-di-era-digital-9bb0490d/detail>.
- [3] S. S. Bahri, M. Hardini, H. Hamdan, and H. Imran, "Eksplorasi penerimaan teknologi untuk pembelajaran digital dalam pendidikan islam: Dampak perspektif agama terhadap tik: Exploring technology acceptance for digital learning in islamic education: The impact of religious perspectives on ict," *Alfabet Jurnal Wawasan Agama Risalah Islamiah, Teknologi dan Sosial*, vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2025.
- [4] K. Lutfiyah, M. S. Maarif, Y. H. Asnawi, and L. D. Arsyianti, "Optimizing islamic boarding school edupreneurship through internet of things adoption and fuzzy analytical hierarchy process," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 7, no. 1, pp. 1–12, 2025.
- [5] AMFG, "Additive manufacturing in 2022: The ultimate rundown," 2022. [Online]. Available: <https://amfg.ai/2022/12/23/additive-manufacturing-in-2022-the-ultimate-rundown/>
- [6] P. Nurhabibah, M. N. Ayubi, Y. Ismiyanti, and M. Madisson, "Pemanfaatan teknologi digital dalam memfasilitasi ibadah dan pendidikan islam: Utilization of digital technology in facilitating islamic worship and education," *Alfabet Jurnal Wawasan Agama Risalah Islamiah, Teknologi dan Sosial*, vol. 2, no. 1, pp. 44–54, 2025.
- [7] R. G. Munthe, Q. Aini, N. Lutfiani, I. Van Persie, and A. Ramadhan, "Transforming scientific publication management in the era of disruption: Smartpls approach in innovation and efficiency analysis," *APTISI Transactions on Management*, vol. 8, no. 2, pp. 123–130, 2024.
- [8] S. Wijaya, A. Husain, M. Laurens, and A. Birgithri, "ilearning education challenge: Combining the power of blockchain with gamification concepts," *Journal of Computer Science and Technology Application*, vol. 1, no. 1, pp. 8–15, 2024.
- [9] AMFG, "Industrial applications of 3d printing: The ultimate guide," 2022. [Online]. Available: <https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide/>
- [10] S. S. Wulandari, M. L. B. M. Diah, and A. Asari, "Digital proficiency and entrepreneurial mindset for sme success through market savvy and tech literacy," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 7, no. 1, pp. 26–36, 2025.

- [11] D. P. Industry, “2022 trends in 3d printing: Forecasts from additive manufacturing experts and leaders,” 2022. [Online]. Available: <https://3dprintingindustry.com/news/2022-trends-in-3d-printing-forecasts-from-additive-manufacturing-experts-and-leaders-202426/>
- [12] Eplus3D, “Trends for additive manufacturing and 3d printing in 2022: Larger and bigger,” 2022. [Online]. Available: <https://www.eplus3d.com/trends-for-additive-manufacturing-and-3d-printing-in-2022-larger-and-bigger.html>
- [13] M. Yusup, S. V. Sihotang, M. Sunengsih, L. Devi, and P. A. Sunarya, “Optimizing graduate competitiveness through service with mathematical economics and obe: Optimalisasi daya saing lulusan melalui pengabdian dengan matematika ekonomi dan obe,” *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 2, pp. 92–103, 2025.
- [14] E. Nauw, N. Asyik, and I. Riharjo, “Analisis fenomena flypaper effect pada belanja daerah dengan pendekatan software spss 20: Analysis of the flypaper effect phenomenon on regional spending with the spss 20 software approach,” *Technomedia Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 157–167, 2023.
- [15] B. Any, T. Ramadhan, E. A. Nabila *et al.*, “Decentralized academic platforms: The future of education in the age of blockchain,” *Blockchain Frontier Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 112–124, 2024.
- [16] A. Leffia, S. A. Anjani, M. Hardini, S. V. Sihotang, and Q. Aini, “Corporate strategies to improve platform economic performance: The role of technology, ethics, and investment management,” *Journal of Computer Science and Technology Application*, vol. 1, no. 1, pp. 16–25, 2024.
- [17] A. Pro, “3d printing for mass production: High-volume 3d printing,” 2022. [Online]. Available: <https://all3dp.com/1/3d-printing-for-mass-production/>
- [18] AMFG, “Three ways additive manufacturing is changing supply chain management,” 2022. [Online]. Available: <https://amfg.ai/2025/02/26/three-ways-additive-manufacturing-is-changing-supply-chain-management/>
- [19] Protolabs, “3d printing trend report 2024,” 2024. [Online]. Available: <https://www.protolabs.com/resources/guides-and-trend-reports/3d-printing-trend-report/>
- [20] A. Saulina and A. Delhi, “Implementation of the public blockchain technology system in the future to increase tourist visits in tangerang city,” *Blockchain Frontier Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 132–137, 2024.
- [21] B. E. Maryono, V. R. Handoko, A. Maduwinarti, and C. Gusmao, “Analysis of npm based public policy to enhance sustainability performance: A grounded theory,” *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 7, no. 1, pp. 97–108, 2025.
- [22] A. A. Iswandi, H. R. Ngemba, S. Hendra, M. N. D. Ulhaq, A. Iswandi, H. Ngemba, S. Hendra, S. Syahrullah, and M. Noval Daffa Ulhaq, “Implementasi algoritma rc4 pada sistem informasi pelaporan dukcapil provinsi sulawesi tengah,” 2024.
- [23] K. Mirdad, O. P. M. Daeli, N. Septiani, A. Ekawati, and U. Rusilowati, “Optimizing student engagement and performance using ai-enabled educational tools,” *Journal of Computer Science and Technology Application*, vol. 1, no. 1, pp. 53–60, 2024.
- [24] H. A. Winata and F. Simon, “Influence of profitability, audit quality, and corporate governance on earnings management,” *APTISI Transactions on Management*, vol. 8, no. 2, pp. 93–104, 2024.
- [25] R. N. Mauliza and Y. R. Sipayung, “Penerapan text mining dalam menganalisis pendapat masyarakat terhadap pemilu 2024 pada media sosial x menggunakan metode naive bayes,” *vol*, vol. 9, pp. 1–16, 2024.
- [26] R. Z. Ikhsan, S. Rahayu, A. H. Arribathi, and N. Azizah, “Integrating artificial intelligence with 3d printing technology in healthcare: Sustainable solutions for clinical training optimization,” *ADI Journal on Recent Innovation*, vol. 6, no. 2, pp. 99–107, 2025.
- [27] M. R. Farisi, P. Hadisiwi, and S. P. Wirabhuana, “Implementasi promotion mix pada keluarga baba wedding organizer dalam meningkatkan jumlah pengguna jasa di era new normal.”
- [28] E. Sana, L. W. Ming, D. Hernandez, and R. Kask, “Leadership styles and employee engagement: A management perspective in the service industry,” *APTISI Transactions on Management*, vol. 8, no. 2, pp. 146–151, 2024.
- [29] A. Gunawan, M. M. D. Nusantara, R. Z. Ikhsan, and M. Madisson, “Implementasi ajaran islam dalam praktik bisnis etis pada usaha mikro dan menengah muslim: Implementation of islamic teachings in ethical business practices in muslim micro and medium enterprises,” *Alfabet Jurnal Wawasan Agama Risalah Islamiah, Teknologi dan Sosial*, vol. 2, no. 1, pp. 67–77, 2025.
- [30] W. Setyowati, T. A. Setiyono, G. Gung, and B. Novriyanti, “Leveraging technology in accounting for

- entrepreneurial insight into government budgeting efficiency,” *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 5, no. 3, pp. 251–260, 2023.
- [31] L. Kask, N. Bloom, and R. Porta, “Health informatics: Utilization of information technology in health care and patient management,” *International Journal of Cyber and IT Service Management*, vol. 4, no. 1, pp. 52–57, 2024.
- [32] R. Fahrudin, M. Hatta, Y. Yulianti, E. Erwin, and A. Zelene, “Machine learning for the next generation: A guide to matchmaking at startups,” *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, vol. 6, no. 1, pp. 65–74, 2024.
- [33] R. Heriyanto and T. Mariyanti, “Poverty alleviation strategies through sharia microfinance institutions politico-economics study with tawhidi approach,” *Aptisi Transactions on Management*, vol. 6, no. 2, pp. 132–141, 2022.
- [34] M. Bilal and E. Andajani, “Factors affecting the intention to use roof solar panel in households in indonesia,” *ADI Journal on Recent Innovation*, vol. 5, no. 1, pp. 25–33, 2023.
- [35] M. Ahli, M. F. Hilmi, and A. Abudaqa, “Moderating effect of employee service quality and mediating impact of experiential marketing in uae entrepreneurial sector,” *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 6, no. 2, pp. 285–299, 2024.
- [36] G. Fransiso, N. P. L. Santoso, M. Abbas, and Y. I. Tanjung, “Strategi pengembangan produk lokal melalui pendekatan social commerce pada umkm,” *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 5, no. 2, pp. 48–55, 2024.
- [37] T. W. Sitanggang, H. Priyono, L. Patel *et al.*, “Lingkungan bermain digital mengintegrasikan teknologi dengan permainan tradisional di prasekolah: Digital play environment integrating technology with traditional play in preschool,” *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan dan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 2, pp. 187–194, 2025.
- [38] A. Ruangkanjanases, A. Khan, O. Sivarak, U. Rahardja, and S.-C. Chen, “Modeling the consumers’ flow experience in e-commerce: The integration of ecm and tam with the antecedents of flow experience,” *SAGE Open*, vol. 14, no. 2, p. 21582440241258595, 2024.
- [39] A. S. Anwar, U. Rahardja, A. G. Prawiyogi, N. P. L. Santoso, and S. Maulana, “ilearning model approach in creating blockchain based higher education trust,” *Int. J. Artif. Intell. Res.*, vol. 6, no. 1, 2022.
- [40] R. Sivaraman, M.-H. Lin, M. I. C. Vargas, S. I. S. Al-Hawary, U. Rahardja, F. A. H. Al-Khafaji, E. V. Golubtsova, and L. Li, “Multi-objective hybrid system development: To increase the performance of diesel/photovoltaic/wind/battery system.” *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 11, no. 3, 2024.
- [41] A. Pambudi, N. Lutfiani, M. Hardini, A. R. A. Zahra, and U. Rahardja, “The digital revolution of startup matchmaking: Ai and computer science synergies,” in *2023 Eighth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*. IEEE, 2023, pp. 1–6.
- [42] M. W. Wicaksono, M. B. Hakim, F. H. Wijaya, T. Saleh, E. Sana *et al.*, “Analyzing the influence of artificial intelligence on digital innovation: A smartpls approach,” *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, vol. 5, no. 2, pp. 108–116, 2024.
- [43] A. H. D. Saputra, S. N. W. Putra, and D. Bennet, “Consumer behavior and brand loyalty: A study on digital marketing practices,” *Startupreneur Business Digital (SABDA Journal)*, vol. 3, no. 2, pp. 160–170, 2024.
- [44] M. H. R. Chakim, U. Rahardja, E. D. Astuti, E. Erika, and C. T. Hua, “The social empowerment role of the penta helix entrepreneurship ecosystem in driving the national economy,” *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 6, no. 1, pp. 1–13, 2025.
- [45] B. Djatmiko, A. Marantika, M. R. Syauqy, S. Pranata, L. Meria, and C. S. Bangun, “Pandopo catering as a medium for student community service and community empowerment: Pandopo catering sebagai media pengabdian mahasiswa dan pemberdayaan masyarakat,” *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 2, pp. 160–169, 2025.
- [46] I. A. Mutiara, A. Syamsuddin, M. Maharida, F. Napasti, and L. Hasnawati, “Instilling nationalism and sociopreneurship in young indonesian immigrants,” *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 7, no. 1, pp. 37–47, 2025.
- [47] S. C. Brain, “How 3d printing can streamline supply chains,” 2022. [Online]. Available: <https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/34349-how-3d-printing-can-streamline-supply-chains>
-