

Penerapan 3D Printer untuk Kontroler Sistem Irigasi di SMKS Pesantren Alam Indonesia

^{1*}Khaidir Rahman, ²Subariyanto, ³Nurmila, ⁴Amirah Mustarin, ⁵Jusran

^{1,2,3,4,5} Universitas Negeri Makassar, Jl. A.P. Pettarani Makassar

Email: khaidir.rahman@unm.ac.id¹, subariyanto@unm.ac.id², nurmila@unm.ac.id³,
amirah.mustarin@unm.ac.id⁴, jusran@unm.ac.id⁵

*Corresponding author: khaidir.rahman@unm.ac.id

Received : 30 Mei 2025

Accepted: 03 Juni 2025

Published: 08 Juni 2025

ABSTRAK

SMKS Pesantren Alam Indonesia merupakan sekolah berbasis pesantren yang memadukan pendidikan kejuruan pertanian dengan nilai-nilai keagamaan. Meskipun memiliki potensi pertanian yang besar, sistem irigasi yang digunakan masih bersifat manual dan tradisional, sehingga kurang efisien dalam penggunaan air dan tenaga kerja. Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk menerapkan teknologi cetak 3D (*3D printer*) sebagai alat bantu dalam merancang dan memproduksi kontroler sistem irigasi tanaman berbasis *Internet of Things (IoT)*. Metode pelaksanaan mencakup observasi kebutuhan di lapangan, perancangan perangkat, pencetakan komponen menggunakan 3D printer, serta instalasi dan pelatihan penggunaan kepada guru dan siswa. Hasil dari program ini menunjukkan bahwa penggunaan 3D printer mampu menekan biaya produksi alat kontroler serta memungkinkan kustomisasi sesuai kebutuhan lokal. Selain itu, kegiatan ini meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep *IoT* dalam pertanian dan memberikan pengalaman langsung dalam penggunaan teknologi manufaktur digital. Implikasi praktis dari kegiatan ini mencakup peningkatan efisiensi irigasi dan optimalisasi pembelajaran berbasis praktik. Secara sosial, program ini memperkuat kapasitas sekolah dalam mengembangkan teknologi tepat guna dan memberdayakan siswa sebagai calon inovator pertanian. Nilai orisinalitas program terletak pada integrasi teknologi *IoT* dan 3D printing dalam konteks sekolah menengah kejuruan berbasis pesantren.

Kata Kunci: 3D printer, *IoT*, Irigasi, SMK, Teknologi Pertanian

ABSTRACT

SMKS Pesantren Alam Indonesia is a pesantren-based school that combines agricultural vocational education with religious values. Despite having great agricultural potential, the irrigation system used is still manual and traditional, making it less efficient in the use of air and labor. This Community Service Program (PKM) aims to apply 3D printing technology (*3D printer*) as a tool in designing and producing an *Internet of Things (IoT)*-based crop irrigation controller system. The implementation method includes observing needs in the field, designing devices, printing components using a 3D printer, and installing and training teachers and students to use it. The results of this program show that the use of 3D printers can reduce the production costs of controllers and allow for customization according to local needs. In addition, this activity increases students' understanding of the concept of *IoT* in agriculture and provides hands-on experience in the use of digital manufacturing technology. The practical implications of this activity include increasing irrigation efficiency and optimizing practice-based learning. Socially, this program strengthens the school's capacity to develop appropriate technology and empower students as potential agricultural innovators. The originality value program lies in the integration of *IoT* and 3D printing technology in the context of Islamic boarding school-based vocational high schools.

Keywords: 3D printer, *IoT*, Irrigation, Vocational Schools, Agricultural Technology.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license



1. PENDAHULUAN

SMKS Pesantren Alam Indonesia merupakan sebuah sekolah menengah kejuruan yang berorientasi pada penerapan teknologi tepat guna dalam bidang pertanian berbasis lingkungan. Sekolah ini terletak di daerah yang memiliki potensi besar dalam bidang pertanian dan perkebunan sehingga jurusan yang ada di sekolah ini yaitu Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura tetapi dikombinasi dengan sebagian pembelajaran agama karena merupakan sekolah pesantren. Dengan luas lahan pertanian yang cukup memadai serta kondisi tanah yang subur, sekolah ini berupaya untuk mengembangkan sistem pertanian yang lebih efisien dan modern guna meningkatkan hasil produksi serta mendukung pembelajaran berbasis praktik bagi siswa. Saat ini, SMK Pesantren Alam Indonesia telah menerapkan sistem irigasi dalam kegiatan pertaniannya. Namun, sistem yang digunakan masih bersifat tradisional, di mana penyiraman tanaman dilakukan secara manual menggunakan selang atau ember. Hal ini menyebabkan ketidakefisienan dalam penggunaan air serta tenaga kerja, terutama di musim kemarau saat kebutuhan air meningkat. Sistem irigasi yang kurang optimal ini juga dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, sehingga hasil panen tidak maksimal. Padahal, daerah tempat sekolah ini berada memiliki potensi budidaya tanaman yang sangat baik, dengan kondisi tanah yang subur dan iklim yang mendukung untuk budidaya pertanian. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (2023), sektor pertanian memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional, khususnya dalam hal ketahanan pangan dan penyerapan tenaga kerja.

Selain itu, kurangnya alat bantu teknologi yang dapat mendukung sistem irigasi otomatis menjadi tantangan tersendiri bagi sekolah dalam mengoptimalkan sistem pertanian mereka. Keterbatasan dalam pemanfaatan teknologi modern seperti *Internet of Things (IoT)* dalam sistem irigasi membuat efisiensi pengelolaan sumber daya air menjadi kurang optimal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan *IoT* dalam irigasi pertanian tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu, tetapi juga menghemat penggunaan air secara signifikan (Nurhayati & Santoso, 2020). *IoT* dalam pertanian dapat menjadi solusi untuk memperbaiki ketahanan pangan di Indonesia, yang mencakup aspek ketersediaan, akses, pemanfaatan, dan stabilitas pangan, demi mencapai kehidupan yang bergizi, aktif, dan sehat (Carey & Sheridan, 2017).

Penggunaan sistem irigasi berbasis *IoT* dapat memberikan solusi yang lebih efisien, karena dapat dikontrol secara otomatis dan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman berdasarkan data lingkungan. *IoT* dinilai sebagai salah satu inovasi kunci dalam pengembangan pertanian cerdas di Indonesia, karena kemampuannya dalam mengotomatisasi dan mengontrol proses pertanian berbasis data (Kementerian Pertanian RI, 2021). Di sisi lain, ketersediaan alat-alat berbasis teknologi canggih di sekolah juga masih terbatas. Hal ini menjadi penghambat dalam proses pembelajaran bagi siswa untuk mengenal dan menerapkan teknologi berbasis *IoT* di bidang pertanian. Padahal, pengenalan dan penerapan teknologi modern sangat penting untuk membekali siswa dengan keterampilan yang relevan dengan perkembangan industri pertanian saat ini dan merupakan salah satu capaian pembelajaran yang harus dikuasai berdasarkan kurikulum.

Dengan adanya perkembangan teknologi cetak 3D (*3D printing*), peluang untuk menciptakan alat bantu berbasis *IoT* dapat lebih mudah diwujudkan. 3D printer dapat digunakan untuk mencetak komponen-komponen kontroler sistem irigasi secara fleksibel dan efisien, sehingga biaya produksi dapat ditekan dibandingkan dengan membeli perangkat yang sudah jadi. Menurut Yuliana (2022) menyatakan bahwa penggunaan teknologi *3D printing* di sekolah vokasi sangat mendukung pengembangan keterampilan abad 21, khususnya dalam hal kreativitas dan keterampilan teknis. Selain itu, penggunaan 3D printer juga dapat menjadi bagian dari kurikulum pembelajaran siswa, memberikan mereka pengalaman langsung dalam merancang dan mencetak alat yang dapat digunakan dalam pertanian berbasis *IoT*. Penggunaan teknologi, khususnya *Internet of Things (IoT)* di bidang pertanian berpotensi meningkatkan kualitas dan kuantitas pembelajaran serta hasil pertanian (Astuti & Wahyudin, 2024).

Oleh karena itu, Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk menerapkan 3D printer sebagai alat bantu dalam menghasilkan kontroler sistem irigasi tanaman berbasis *IoT* di SMK Pesantren Alam Indonesia. Program ini tidak hanya berfokus pada penyediaan teknologi, tetapi juga memberikan pelatihan kepada guru dan siswa agar mereka dapat memahami serta memanfaatkan teknologi ini secara berkelanjutan. Dengan demikian, program ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas sistem irigasi di sekolah, memperkenalkan konsep teknologi *IoT* kepada siswa, serta menciptakan model pembelajaran yang inovatif dan aplikatif dalam bidang pertanian.

Program ini menghadirkan pendekatan yang inovatif dan terintegrasi dalam pengembangan pertanian berbasis teknologi melalui pemanfaatan 3D printing untuk memproduksi kontroler sistem irigasi berbasis *IoT* secara mandiri di lingkungan sekolah vokasi. Tidak hanya sekedar mengadopsi teknologi, program ini menggabungkan aspek edukatif, ekonomis, dan aplikatif, di mana siswa dan guru tidak hanya menjadi pengguna, tetapi juga sebagai desainer dan pembuat alat bantu teknologi pertanian. Pendekatan ini merupakan terobosan

baru dalam pendidikan vokasi pertanian, karena memberikan pengalaman langsung dalam merancang, mencetak, dan menerapkan teknologi pertanian berbasis data yang adaptif dengan kondisi lokal. Dengan demikian, program ini menjadi model pengembangan pembelajaran kontekstual berbasis teknologi rendah biaya namun berdampak tinggi, yang belum banyak diterapkan di sekolah menengah kejuruan berbasis pesantren atau di wilayah dengan keterbatasan akses teknologi canggih.

2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan di SMKS Pesantren Alam Indonesia, yang beralamat di Jl. Poros Barru–Soppeng Km.125, Tompo Lemo Lemo, Desa Harapan, Kecamatan Tanete Riaja, Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan, pada tanggal 16 Mei 2025. Pelaksanaan kegiatan melibatkan dosen pendamping serta seluruh guru SMK di lingkungan Pesantren Alam Indonesia, khususnya 10 orang guru yang berlatar belakang dalam Pendidikan Teknologi Pertanian. Metode pendekatan yang digunakan dalam kegiatan pelatihan terdiri dari tiga strategi utama, yaitu:

1. **Ceramah** : Penyampaian materi teoritis mengenai konsep dasar *Internet of Things (IoT)*, sistem irigasi otomatis, serta potensi penggunaan teknologi 3D printing dalam bidang pertanian.
2. **Demonstrasi** : Pengenalan langsung perangkat 3D printer dan kontroler berbasis IoT, termasuk praktik pencetakan komponen dan instalasi sistem irigasi.
3. **Diskusi** : Sesi interaktif untuk menggali pemahaman peserta, menjawab pertanyaan, dan mengeksplorasi potensi penerapan teknologi dalam konteks pembelajaran dan praktik pertanian di sekolah.

Kombinasi ketiga pendekatan tersebut bertujuan menciptakan pengalaman belajar yang menyeluruh dan partisipatif. Sejalan dengan pendapat Sugiyono (2019), pendekatan pelatihan berbasis ceramah, demonstrasi, dan diskusi efektif dalam meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta secara integratif. Secara garis besar, kegiatan pengabdian dilaksanakan melalui tiga tahapan utama:

1. **Tahap Persiapan**
Meliputi koordinasi dengan pihak sekolah, identifikasi kebutuhan pelatihan, penentuan materi dan jadwal kegiatan, serta penyiapan perangkat seperti 3D printer, mikrokontroler, sensor, dan perangkat irigasi pendukung.
2. **Tahap Pelaksanaan**
Pelatihan dilaksanakan secara tatap muka, dimulai dengan penyampaian materi secara teoritis, dilanjutkan dengan praktik langsung pencetakan komponen menggunakan 3D printer serta perakitan dan pengujian sistem irigasi berbasis IoT.
3. **Tahap Evaluasi**
Evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas pelatihan dan pemahaman peserta terhadap materi yang disampaikan. Evaluasi dilakukan menggunakan instrument wawancara terstruktur kepada beberapa peserta terpilih untuk menggali lebih dalam persepsi mereka terhadap manfaat pelatihan, kendala selama pelatihan, serta potensi penerapan teknologi ini dalam lingkungan sekolah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan judul “*Penerapan 3D Printer sebagai Alat Bantu untuk Menghasilkan Kontroler Sistem Irigasi Tanaman Berbasis IoT di SMKS Pesantren Alam Indonesia*” dilaksanakan di SMKS Pesantren Alam Indonesia, Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan. Kegiatan ini bertujuan untuk memperkenalkan teknologi 3D printing dan *Internet of Things (IoT)* dalam konteks pertanian modern, khususnya untuk sistem irigasi, sekaligus meningkatkan kompetensi guru dalam penggunaan teknologi tepat guna yang relevan dengan bidang keahlian mereka.

a. Tahap Persiapan

Tahap awal dimulai dengan koordinasi intensif antara tim pelaksana dengan pihak sekolah, termasuk pertemuan awal untuk menyampaikan tujuan, manfaat, serta jadwal kegiatan. Kegiatan ini melibatkan 10 orang guru produktif dari jurusan Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura yang memiliki latar belakang pendidikan teknologi pertanian. Survei kebutuhan dilakukan untuk mengetahui pemahaman awal guru tentang *IoT* dan *3D printing*, serta mengidentifikasi kesesuaian teknologi dengan kondisi riil pertanian sekolah.

Tim pelaksana juga melakukan desain awal casing kontroler berbasis IoT dengan menggunakan software *Computer Aided Design (CAD)*, menyesuaikan bentuk dan ukuran komponen dengan perangkat sensor dan

mikrokontroler seperti ESP32 dan sensor kelembaban tanah. Komponen casing tersebut kemudian dicetak menggunakan *printer 3D* yang disiapkan secara mandiri oleh tim.



Gambar 1. Desain CAD perangkat pendukung sistem kontroler berbasis IoT

b. Tahap Pelaksanaan

Kegiatan pelatihan berlangsung selama dua hari dengan menggunakan pendekatan ceramah, demonstrasi, dan diskusi partisipatif. Pada sesi ceramah, peserta diperkenalkan pada konsep dasar *3D printing*, prinsip kerja *IoT* dalam sistem pertanian, dan manfaatnya terhadap efisiensi irigasi. Materi disampaikan dengan gaya komunikatif dan disesuaikan dengan konteks kebutuhan guru.



Gambar 2. Pembukaan Kegiatan

Sesi demonstrasi menjadi bagian yang paling menarik perhatian peserta. Guru-guru diperlihatkan proses lengkap mulai dari desain casing menggunakan aplikasi Solidworks, pengaturan parameter pencetakan pada *software slicing*, hingga proses cetak langsung menggunakan *3D printer*. Selain itu, dilakukan demonstrasi perakitan sistem irigasi otomatis berbasis *IoT*, dengan menampilkan integrasi antara sensor kelembaban tanah, pompa air mini, dan kontrol melalui jaringan *Wi-Fi*. Peserta sangat antusias mencoba langsung mengoperasikan



Gambar 3. Penjelasan Teknis Terkait 3D Print dan Sistem IoT

Alat yang telah dibuat, serta bertanya secara aktif mengenai potensi pengembangannya. Sesi diskusi digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan penerapan teknologi ini ke dalam pembelajaran di kelas serta integrasinya dalam kurikulum SMK. Beberapa guru menyampaikan ide untuk mengembangkan proyek serupa bersama siswa sebagai bagian dari tugas akhir atau produk *Teaching Factory (TEFA)* sekolah.



Gambar 4. Demonstrasi 3D Print oleh Peserta dan Fasilitator

c. Tahap Evaluasi

Evaluasi dilakukan melalui observasi keterlibatan peserta selama pelatihan serta wawancara singkat terhadap peserta dan pihak sekolah. Berdasarkan observasi, peserta menunjukkan peningkatan minat dan pemahaman terhadap penggunaan teknologi *3D printing* dan *IoT*. Sebanyak 8 dari 10 atau 80 % peserta mampu secara mandiri mengoperasikan software desain dasar dan memahami cara kerja pencetakan komponen. Selain itu, mayoritas peserta dapat menjelaskan kembali alur kerja sistem irigasi otomatis dan mengusulkan ide pengembangan lanjutan, seperti penambahan fitur pemantauan suhu dan kelembaban secara daring.



Gambar 5. Wawancara Bersama Guru SMKS PAI Pasca Demonstrasi

Kutipan dari salah satu peserta, Ibu Besse, menyatakan:

“Selama ini kami hanya mengenal IoT dan 3D printer dari teori atau berita teknologi saja. Tapi dengan pelatihan ini, kami benar-benar bisa melihat bagaimana alat itu dirancang, dicetak, lalu dipasang untuk mengontrol penyiraman tanaman. Ini sangat aplikatif dan cocok untuk kebutuhan di sekolah kami.”

Sementara itu, Pak Agung, menambahkan:

“Dengan alat yang bisa dicetak sendiri di sekolah, kami bisa langsung mengajak siswa terlibat dalam proses membuat alat irigasi otomatis. Ini pengalaman belajar yang sangat nyata dan bisa meningkatkan minat siswa terhadap pertanian berbasis teknologi.”

Kepala sekolah juga memberikan respon positif terhadap kegiatan ini:

“Kami sangat mengapresiasi program ini karena tidak hanya memberi alat, tetapi juga transfer ilmu. Ini sejalan dengan visi kami membentuk generasi santri yang mandiri dan melek teknologi dan sesuai dengan program pemerintah yang memasukkan materi *coding* dan *artificial intelligence* dalam kurikulum.”

3.2. Pembahasan

Penerapan teknologi 3D printing terbukti memberikan solusi praktis dan ekonomis dalam pembuatan perangkat bantu sistem irigasi berbasis IoT. Biaya produksi dapat ditekan secara signifikan karena komponen casing dan dudukan sensor tidak perlu dibeli secara komersial, tetapi dapat dicetak sesuai kebutuhan di sekolah. Selain itu, fleksibilitas desain memungkinkan modifikasi dan adaptasi terhadap kondisi spesifik lahan pertanian yang dimiliki sekolah. Hal ini sejalan dengan temuan dari Suleiman, dkk. (2021) yang menyatakan bahwa 3D printing memungkinkan produksi prototipe fungsional dengan biaya rendah, cepat, dan dapat disesuaikan untuk aplikasi spesifik, termasuk dalam bidang pertanian presisi.

Penggunaan 3D printer juga memberikan nilai tambah sebagai sarana pembelajaran kontekstual bagi siswa. Guru dapat memasukkan pengalaman langsung ini ke dalam modul ajar dan proyek pembelajaran berbasis STEM, sehingga kurikulum tidak hanya berbasis teori tetapi juga praktik nyata yang relevan dengan tantangan industri 4.0 dan *smart agriculture*. Yuliana & Setiawan (2022) menegaskan bahwa integrasi 3D printing dalam pembelajaran vokasi mampu meningkatkan kreativitas, keterampilan teknis, dan kesiapan kerja siswa melalui pendekatan berbasis proyek dan pemecahan masalah. Secara sosial, kegiatan ini memberdayakan guru sebagai agen perubahan dalam proses transformasi pembelajaran. Ketika guru memiliki kompetensi dalam teknologi baru,



mereka cenderung lebih adaptif dalam merancang pembelajaran yang inovatif. Menurut Rahmat, dkk. (2023), pelatihan teknologi kepada guru secara signifikan meningkatkan literasi digital dan motivasi pedagogis dalam menerapkan pembelajaran berbasis teknologi.

Keberlanjutan program ini memiliki peluang besar, terlebih jika dikembangkan menjadi kegiatan *Teaching Factory* atau unit produksi sekolah berbasis teknologi pertanian. Dukungan berkelanjutan dari pihak sekolah dan kolaborasi dengan perguruan tinggi akan menjadi kunci penting dalam memastikan dampak jangka panjang dari kegiatan ini. Hal ini sejalan dengan hasil studi Putra & Lestari (2020) yang menunjukkan bahwa sinergi antara sekolah vokasi dan institusi pendidikan tinggi dalam pengembangan *teaching factory* berbasis teknologi mampu meningkatkan kemandirian dan produktivitas sekolah dalam menghadapi tantangan industri masa depan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Kegiatan pengabdian di SMKS PAI berhasil meningkatkan pemahaman guru terhadap penerapan teknologi 3D printing dan IoT dalam sistem irigasi pertanian. Melalui pelatihan berbasis ceramah, demonstrasi, dan diskusi, 80% peserta mampu menguasai desain dan pembuatan komponen kontroler secara mandiri. Teknologi ini terbukti relevan untuk efisiensi irigasi sekaligus mendukung pembelajaran berbasis proyek yang kontekstual dan aplikatif. Antusiasme peserta menunjukkan potensi adopsi berkelanjutan dalam proses pembelajaran vokasional berbasis teknologi.

4.2. Saran

Disarankan agar sekolah mengintegrasikan penggunaan 3D printing dan *IoT* ke dalam kurikulum praktikum maupun pelajaran kewirausahaan digital berbasis proyek. Pendampingan lanjutan dalam bentuk pelatihan tingkat lanjut atau workshop desain dan integrasi teknologi *IoT* sangat penting guna memperdalam pemahaman teknis dan implementatif. Terakhir, hasil karya guru dan siswa diharapkan dapat dipublikasikan melalui media sekolah atau forum inovasi untuk memperluas jangkauan manfaat dan mendorong adopsi teknologi di institusi pendidikan lain.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Negeri Makassar yang telah memberikan dukungan pendanaan dan fasilitasi sehingga kegiatan Program Kemitraan Masyarakat (PKM) ini dapat terlaksana dengan baik dan memberikan dampak positif bagi mitra. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada SMKS Pesantren Alam Indonesia selaku mitra pelaksana, yang telah menunjukkan antusiasme tinggi, partisipasi aktif, dan semangat kolaboratif selama proses pelaksanaan kegiatan. Penghargaan yang sama kami berikan kepada Kepala Sekolah dan para guru pembimbing yang telah meluangkan waktu serta berkomitmen dalam mengikuti pelatihan dan turut berperan aktif dalam mengintegrasikan hasil kegiatan ke dalam proses pembelajaran di sekolah. Kami juga mengapresiasi tim pelaksana dan mahasiswa pendamping yang telah bekerja secara profesional, berdedikasi, dan penuh semangat dalam merancang, melaksanakan, dan mengevaluasi kegiatan ini secara menyeluruh. Tak lupa, terima kasih kami haturkan kepada semua pihak yang telah mendukung, baik secara langsung maupun tidak langsung, atas kontribusi dalam bentuk tenaga, fasilitas, maupun pemikiran demi kesuksesan dan keberlanjutan program ini.

**REFERENSI**

- Astuti, W. P., & Wahyudin, D. (2024). Urgensi penggunaan Internet of Things (IoT) dalam pembelajaran abad ke-21 berbasis ketahanan pangan di SMK pertanian. *Literasi: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 15(3). [https://doi.org/10.21927/literasi.2024.15\(3\).%p](https://doi.org/10.21927/literasi.2024.15(3).%p)
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik pertanian Indonesia 2023*. BPS RI.
- Carey, R., & Sheridan, J. (2017). Australia's city food bowls: Fertile ground for investigating biomes and food security. *Geographical Education*, 30, 16–23.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2021). *Internet of Things (IoT) dalam mewujudkan pertanian cerdas*. Pusat Penyuluhan Pertanian.
- Munir, M. (2017). *Pembelajaran digital: Strategi pembelajaran era teknologi digital*. Alfabeta.
- Putra, D. A., & Lestari, H. (2020). Collaborative model of teaching factory between vocational school and higher education in agricultural technology. *Journal of Vocational and Technical Education*, 8(2), 45–53.
- Nurhayati, D., & Santoso, A. (2020). Penerapan IoT dalam sistem irigasi otomatis untuk pertanian modern. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 15(2), 75–82.
- Rahmat, M. I., Suryani, E., & Firmansyah, D. (2023). Empowering teachers with technology: Impact of digital training on pedagogical innovation. *Indonesian Journal of Educational Technology*, 5(3), 122–130.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Suleiman, A., Nugroho, A. P., & Chandra, B. (2021). Application of 3D printing in precision agriculture: Prototyping and cost efficiency. *Journal of Agricultural Engineering and Technology*, 15(2), 88–96.
- Yuliana, R. (2022). Pemanfaatan 3D printing dalam dunia pendidikan vokasional. *Jurnal Inovasi Pendidikan Teknologi*, 8(1), 45–52.
- Yuliana, S., & Setiawan, A. (2022). Integrating 3D printing into vocational education: Fostering innovation and skills for Industry 4.0. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 12(1), 55–64.