Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pembelajaran
e-ISSN: 2962-6579
p-ISSN: 2962-3464

Vol 05, No 01, 98-110
https://doi.org/10.58706/jipp
jipp.mep@gmail.com

Analisis Kebutuhan Media untuk Pembelajaran 3D *Printing* sebagai Dasar Pengembangan Buku Ajar di Sekolah Menengah Kejuruan

Akwan Sagara Darussalam [*], Ade Dwi Putra Janata, Ananda Yhuto Wibisono Putra, dan Hamid Abdillah
Pendidikan Vokasional Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia
[*] Email: akwandarussalam@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi manufaktur aditif, khususnya 3D printing, menuntut pendidikan vokasi untuk menyediakan pembelajaran yang relevan dengan kebutuhan industri. Namun, implementasi pembelajaran 3D printing di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) masih menghadapi kendala, terutama keterbatasan media pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan media pembelajaran 3D printing pada jenjang Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) sebagai dasar pengembangan media ajar yang efektif, aplikatif, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode survei yang didukung data kualitatif. Subjek penelitian terdiri atas siswa dan guru produktif pada SMK. Data dikumpulkan melalui angket skala Likert lima tingkat, observasi, dan wawancara. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk menggambarkan kebutuhan media pembelajaran, kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan analisis kualitatif deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa memiliki minat dan motivasi yang tinggi terhadap pembelajaran 3D printing serta fasilitas pembelajaran dinilai relatif memadai. Namun, pembelajaran belum sepenuhnya didukung oleh media pembelajaran yang sistematis dan terintegrasi. Siswa masih mengalami kesulitan dalam memahami penggunaan software desain, proses pencetakan, dan pemecahan masalah teknis. Analisis kebutuhan menunjukkan bahwa media pembelajaran yang paling dibutuhkan adalah buku ajar berbasis praktik yang dilengkapi dengan panduan langkah demi langkah, ilustrasi visual proyek nyata, panduan troubleshooting, serta dukungan media digital berupa video pembelajaran. Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa analisis kebutuhan media pembelajaran merupakan tahap krusial dalam perencanaan pembelajaran 3D printing di SMK. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi landasan dalam pengembangan media pembelajaran 3D printing yang relevan dengan kebutuhan siswa, kompetensi guru, serta tuntutan dunia industri.

Kata kunci: Analisis Kebutuhan Media Pembelajaran; Buku Ajar Berbasis Praktik; Pembelajaran 3D *Printing*; Pendidikan Vokasi; Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)

Needs Analysis of 3D Printing Learning Media for Textbook Development in Vocational High Schools

Abstract

The development of additive manufacturing technology, particularly 3D printing, requires vocational education to provide learning processes that align with industrial demands and students' practical skill development. However, the implementation of 3D printing learning in vocational high schools still faces challenges, especially related to the availability and suitability of learning media. This study aims to analyze the needs for 3D printing learning media at SMKN 1 Kragilan as a basis for developing effective, applicable, and needs-based instructional media. This study employed a descriptive quantitative approach using a survey method supported by qualitative data. The research participants consisted of students and vocational teachers at SMKN 1 Kragilan. Data were collected through five-point Likert-scale questionnaires,

Copyright © The Author(s). This work is licensed under CC BY-NC 4.0

observation of learning facilities, and limited interviews. Data analysis was conducted using descriptive statistics to identify learning media needs, supported by qualitative descriptive analysis to strengthen the interpretation of findings. The results indicate that students demonstrate high interest and motivation toward 3D printing learning, and learning facilities are considered relatively adequate. However, the learning process is not yet fully supported by systematic and integrated learning media. Students still experience difficulties in understanding design software, printing processes, and technical troubleshooting. The needs analysis reveals that the most required learning media are practice-based textbooks equipped with step-by-step instructions, visual illustrations of real projects, troubleshooting guidelines, and digital learning support such as instructional videos. In conclusion, this study highlights that learning media needs analysis is a crucial initial stage in planning 3D printing instruction in vocational high schools. The findings are expected to serve as a foundation for developing contextual and industry-relevant 3D printing learning media in vocational education.

Keywords: *Learning Media Needs Analysis, 3D Printing Learning, Practice-Based Textbook, Vocational Education, Vocational High School*

Riwayat Naskah

Diserahkan	Direvisi	Diterima	Diterbitkan Daring
10 Maret 2026	17 September 2026	24 Oktober 2026	31 Oktober 2026

How to cite:

Darussalam, A.S., Janata, A.D.P., Putra, A.Y.W., dan Abdillah, H. (2026). Analisis Kebutuhan Media untuk Pembelajaran 3D Printing sebagai Dasar Pengembangan Buku Ajar di Sekolah Menengah Kejuruan. *Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pembelajaran*, **5**(1), 98-110. DOI: https://doi.org/10.58706/jipp.id617.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur aditif atau 3D *printing* semakin penting dalam dunia pendidikan vokasi sebagai bagian dari konsep pembelajaran abad ke-21 yang menekankan keterampilan praktik, kreativitas, dan kesiapan kerja industri. Teknologi ini mulai diintegrasikan ke dalam pembelajaran di beberapa sekolah menengah kejuruan guna mendukung penguasaan kompetensi desain dan produksi berbasis teknologi digital. Teknologi pembelajaran berbasis 3D *printing* tidak hanya digunakan sebagai alat produksi tetapi juga sebagai media pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman konsep, visualisasi, dan keterampilan siswa dalam merancang serta memproduksi komponen nyata (Arifin dkk, 2025). Penelitian sebelumnya telah banyak menelaah penggunaan media pembelajaran berbasis 3D atau perangkat digital interaktif untuk meningkatkan hasil belajar siswa. Misalnya, penelitian mengenai pengembangan media 3D SketchUp sebagai media pembelajaran menunjukkan bahwa media 3D mampu meningkatkan motivasi dan pemahaman siswa dalam materi konstruksi di SMK (Tarial dkk, 2022). Selanjutnya, penelitian di SMKN 2 Surabaya menemukan bahwa media pembelajaran interaktif berbasis Android untuk materi desain 3D secara signifikan meningkatkan hasil belajar siswa, yang menunjukkan kebermanfaatan media digital 3D dalam konteks pendidikan kejuruan (Arifin dkk, 2025).

Dalam konteks media pembelajaran berbasis 3D, studi juga menunjukkan bahwa penerapan model *project-based learning* yang didukung media 3D di SMK dapat meningkatkan hasil belajar pada materi tertentu, seperti konsep siklus dan proses kerja (Özeren dkk, 2023). Selain itu, penggunaan media video animasi 3D terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa pada pembelajaran teknik konstruksi dan manufaktur, sehingga memperkuat peran multimedia visual dalam pembelajaran vokasi teknik (Manihuruk dan Siregar, 2026). Di luar konteks sekolah menengah kejuruan, penelitian lain menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi 3D *printing* mampu membantu siswa memahami konsep abstrak melalui representasi objek nyata yang dapat diamati dan dimanipulasi secara langsung (Ugaldi dkk, 2025). Temuan ini menegaskan bahwa media 3D *printing* efektif digunakan sebagai alat bantu belajar, termasuk pada pembelajaran sains dan STEM (Ford dan Minshall, 2022).

Meski demikian, riset yang secara khusus berfokus pada analisis kebutuhan media pembelajaran 3D *printing* di SMK masih relatif terbatas. Implementasi teknologi 3D *printing* dalam pendidikan masih tergolong belum optimal dan belum terintegrasi menyeluruh dalam berbagai konteks pembelajaran (Rohmat dkk, 2025). Sebagian besar penelitian lebih menitikberatkan pada pengembangan dan validasi media pembelajaran setelah produk dibuat, tanpa didahului oleh analisis kebutuhan awal yang sistematis, seperti pemetaan kesiapan guru, fasilitas, dan preferensi siswa. Kegiatan pelatihan 3D *printing* bagi guru dan siswa di SMK juga menunjukkan dampak positif terhadap peningkatan pemahaman teknologi dan kompetensi siswa (Abdillah dkk, 2025).

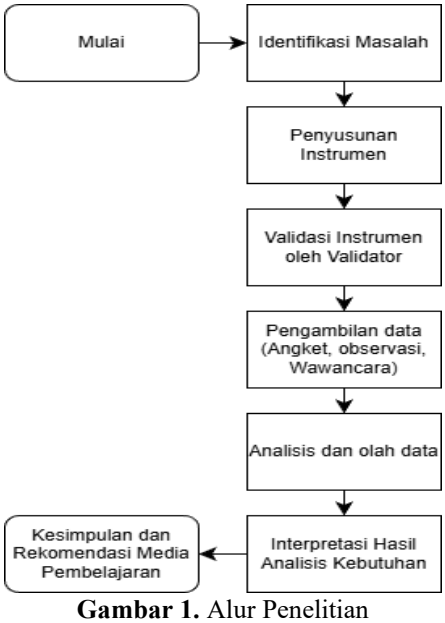
Berdasarkan temuan-temuan tersebut, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam hal analisis kebutuhan media pembelajaran 3D *printing* yang komprehensif di SMK. Mayoritas penelitian berfokus pada evaluasi media yang telah dikembangkan, sementara penelitian yang memetakan kebutuhan nyata pengguna sebagai dasar pengembangan media masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi gap tersebut dengan menganalisis kebutuhan media pembelajaran 3D *printing* di SMKN 1 Kragilan sebagai landasan pengembangan media pembelajaran yang relevan dengan karakteristik pendidikan vokasi dan tuntutan industri 4.0.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode survei, yang diperkuat melalui data kualitatif pendudukung. Pendekatan ini dipilih karena bertujuan untuk memetakan kondisi nyata kebutuhan media pembelajaran 3D *printing* di SMKN 1 Kragilan secara objektif dan terukur, tanpa memberikan perlakuan khusus kepada subjek penelitian. Metode survei memungkinkan pengumpulan data persepsi dan kebutuhan responden secara sistematis dan efisien dalam konteks penelitian pendidikan (Kurniawati dan Rindrayani, 2025).

Desain penelitian yang digunakan adalah analisis kebutuhan dalam pendidikan vokasi, yang berfungsi untuk mengidentifikasi kesenjangan antara kondisi pembelajaran yang sedang berlangsung dan kondisi yang diharapkan, khususnya terkait media pembelajaran 3D *printing*. Analisis kebutuhan merupakan tahap awal yang penting dalam perencanaan pengembangan media pembelajaran agar sesuai dengan karakteristik peserta didik dan konteks pembelajaran kejuruan (Basyori dan Herdiana, 2024). Penelitian ini bersifat cross-sectional, dengan pengumpulan data dilakukan pada satu periode waktu tertentu (Mahardika dkk, 2025).

Desain penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis, mulai dari identifikasi permasalahan hingga penyusunan rekomendasi media pembelajaran. Gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang digunakan sebagai pedoman pelaksanaan penelitian. Tahapan tersebut meliputi identifikasi masalah, penyusunan instrumen penelitian, validasi instrumen oleh ahli, pengumpulan data melalui angket, observasi, dan wawancara, dilanjutkan dengan analisis data, interpretasi hasil analisis kebutuhan, serta penarikan kesimpulan dan rekomendasi pengembangan media pembelajaran.



Gambar 1. Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan pembelajaran 3D *printing* di SMKN 1 Kragilan untuk memperoleh gambaran kondisi awal serta kebutuhan media pembelajaran. Selanjutnya, instrumen penelitian disusun dan divalidasi oleh ahli pendidikan vokasi sebelum digunakan pada tahap pengumpulan data. Data yang diperoleh melalui angket, observasi, dan wawancara kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan analisis kualitatif. Hasil analisis tersebut diinterpretasikan untuk menghasilkan rekomendasi pengembangan media pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan siswa, guru, dan kondisi pembelajaran di sekolah.

Pengumpulan data dilakukan melalui angket tertutup skala Likert lima tingkat, yaitu 1 (Sangat Tidak Setuju), 2 (Tidak Setuju), 3 (Netral), 4 (Setuju), dan 5 (Sangat Setuju), yang disebarkan kepada siswa dan guru, didukung oleh observasi fasilitas pembelajaran dan wawancara terbatas. Instrumen penelitian divalidasi melalui validitas isi oleh ahli pendidikan vokasi untuk memastikan kesesuaian butir instrumen dengan tujuan penelitian (Ardiansyah dkk, 2023). Responden guru dipilih menggunakan teknik purposive sampling, sedangkan siswa dipilih sebagai pengguna langsung media pembelajaran (Mahardika dkk, 2025). Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa skor rata-rata dan persentase untuk menggambarkan tingkat kebutuhan media pembelajaran, sedangkan data kualitatif dianalisis secara deskriptif (Mahardika dkk, 2025). Hasil analisis kuantitatif dan kualitatif diintegrasikan melalui triangulasi data guna meningkatkan keabsahan temuan penelitian.

Penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian dengan risiko rendah atau dapat diabaikan dan, berdasarkan ketentuan institusional yang berlaku, tidak memerlukan *Ethical Clearance* formal. Izin pelaksanaan penelitian telah diperoleh dari sekolah/institusi terkait. Selama pelaksanaan penelitian, prinsip-prinsip etika tetap diterapkan, termasuk partisipasi secara sukarela, persetujuan apabila diperlukan, serta perlindungan terhadap privasi dan kerahasiaan partisipan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa dan guru di SMKN 1 Kragilan memiliki minat dan kebutuhan yang tinggi terhadap pembelajaran 3D *printing*, namun belum sepenuhnya didukung oleh media pembelajaran yang sistematis dan terstruktur. Temuan penelitian ini diperoleh dari hasil analisis angket siswa dan guru, serta observasi fasilitas pembelajaran, yang secara konsisten menunjukkan perlunya pengembangan media pembelajaran terpadu, khususnya dalam bentuk buku ajar yang dikombinasikan dengan media digital.

Responden yang Pernah Mengikuti Pelatihan

Untuk mengetahui tingkat pengalaman responden dalam mengikuti pelatihan 3D *printing*, dilakukan pengumpulan data secara sistematis melalui instrumen angket. Data ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana responden telah memperoleh pengalaman pelatihan sebagai dasar dalam memahami teknologi 3D *printing*. Informasi mengenai pengalaman pelatihan ini menjadi penting karena berkaitan dengan kesiapan awal siswa dalam mengikuti pembelajaran berbasis teknologi. Adapun hasil pengumpulan data terkait responden yang pernah mengikuti pelatihan 3D *printing* disajikan secara rinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Responden yang Pernah Mengikuti Pelatihan

Keterangan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Pernah mengikuti pelatihan 3D *Printing*	11 orang	21,15
Belum pernah mengikuti pelatihan	41 orang	78,85
Total	**52 orang**	**100**

Berdasarkan Tabel 1, sebagian besar responden belum pernah mengikuti pelatihan 3D *printing*, sedangkan hanya sebagian kecil yang telah memiliki pengalaman mengikuti pelatihan tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa penguasaan kompetensi 3D *printing* di lingkungan SMK, khususnya di SMKN 1 Kragilan, masih sangat terbatas pada pembelajaran formal di sekolah dan belum diperkuat oleh kegiatan pelatihan atau pengembangan kompetensi tambahan. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran 3D *printing* di SMK masih berada pada tahap awal implementasi dan sangat bergantung pada inisiatif sekolah dan guru. Kondisi ini sejalan dengan temuan penelitian oleh Hakim dan Abidin (2024), yang menyatakan bahwa keterbatasan pelatihan guru dan siswa menjadi salah satu kendala utama dalam integrasi teknologi manufaktur aditif di pendidikan vokasi.

Rendahnya keterlibatan responden dalam pelatihan 3D *printing* mengindikasikan bahwa proses pembelajaran masih sangat bergantung pada kemampuan guru dan sumber belajar yang tersedia di sekolah.

Dalam konteks pendidikan vokasi, kondisi ini berpotensi menimbulkan kesenjangan antara tuntutan kompetensi industri dan kompetensi aktual yang dimiliki siswa (Anđić, dkk, 2024). Kromer dan Gruhier (2023) menegaskan bahwa teknologi manufaktur aditif memerlukan pemahaman prosedural yang kuat dan pengalaman praktik yang berulang, yang sulit dicapai apabila siswa dan guru tidak memperoleh pelatihan yang memadai. Dengan demikian hasil pada Tabel 1 mempertegas bahwa analisis kebutuhan media pembelajaran 3D *printing* bukan sekadar pelengkap, melainkan kebutuhan untuk memastikan pembelajaran tetap berjalan efektif meskipun kebanyakan siswa dan guru belum memiliki pengalaman pelatihan dalam menggunakan 3D *printing*. Temuan in menjadi dasar kuat bahwa pengembangan media pembelajaran 3D *printing* harus dirancang guna mendukung pembelajaran mandiri, memperkuat pemahaman praktik, dan meminimalkan ketergantungan pada pelatihan eskternal (Setiyawan dkk, 2026).

Pengetahuan Awal Siswa

Untuk mengetahui tingkat pengetahuan awal siswa terkait teknologi 3D *printing*, dilakukan pengumpulan data secara sistematis melalui instrumen angket. Pengetahuan awal ini mencakup beberapa aspek penting, yaitu pemahaman konsep 3D *printing*, pengalaman dalam membuat desain 3D, pengalaman mengoperasikan 3D *printer*, serta tingkat kepercayaan diri dalam menggunakan komputer untuk desain berbasis CAD. Keempat aspek tersebut dipilih karena mencerminkan kesiapan dasar siswa dalam mengikuti pembelajaran berbasis teknologi manufaktur aditif. Adapun hasil pengukuran pengetahuan awal siswa tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengetahuan Awal Siswa (Indikator A)

No	Pernyataan	S + SS (%)	N (%)	STS + TS (%)
1	Memahami konsep 3D *printing*	69,2	11,5	19,2
2	Pernah membuat desain 3D	71,1	11,5	17,3
3	Pernah mengoperasikan 3D *printer*	75,0	11,5	13,4
4	Percaya diri menggunakan komputer untuk CAD	75,0	11,5	13,4

Berdasarkan Tabel 2, sebagian besar responden menyatakan telah memahami konsep dasar 3D *printing*, memiliki pengalaman dalam membuat desain 3D dan mengoperasikan 3D printer, serta merasa percaya diri menggunakan perangkat lunak CAD. Meskipun demikian, masih terdapat sejumlah siswa yang belum memiliki pemahaman, pengalaman, atau kepercayaan diri yang memadai dalam aspek-aspek tersebut. Temuan ini menunjukkan adanya variasi kesiapan awal siswa dalam mempelajari teknologi 3D *printing*. Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang sistematis dan bertahap untuk mengakomodasi perbedaan tingkat pengetahuan dan keterampilan awal siswa.

Adapun temuan pada Tabel 2 menunjukkan adanya kesenjangan antara pengalaman praktik dan penguasaan konseptual siswa. Meskipun sebagian besar siswa pernah membuat desain dan mengoperasikan 3D *printer*, tingginya tingkat kesulitan yang dialami mengindikasikan bahwa pengalaman tersebut belum disertai dengan pemahaman alur kerja dan prinsip teknis yang utuh (Olakotan dkk, 2025). Kondisi ini mencerminkan pembelajaran yang bersifat prosedural tanpa landasan konseptual yang kuat, sehingga siswa cenderung mampu mengikuti langkah tertentu tetapi kesulitan ketika dihadapkan pada permasalahan baru atau kesalahan teknis (Love, 2022; Ugaldi dkk, 2025).

Temuan ini sejalan dengan pandangan Herlambang dkk (2022), yang menekankan pentingnya pengembangan sumber belajar digital untuk mendukung penguasaan pengetahuan prosedural dan kegiatan praktik dalam pendidikan vokasi. Oleh karena itu, media pembelajaran 3D *printing* perlu dirancang secara berjenjang, mulai dari penguatan konsep dasar, visualisasi proses, hingga panduan pemecahan masalah, agar pengetahuan awal siswa dapat berkembang menjadi kompetensi yang utuh dan aplikatif.

Minat dan Motivasi Siswa

Untuk mengetahui tingkat minat dan motivasi siswa dalam pembelajaran 3D *printing*, dilakukan pengumpulan data secara sistematis melalui instrumen angket. Aspek yang diukur meliputi ketertarikan siswa dalam mempelajari 3D *printing*, pandangan terhadap pentingnya teknologi tersebut, tingkat semangat belajar, serta keinginan siswa untuk membuat produk 3D secara mandiri. Keempat aspek ini dipilih karena mencerminkan dorongan internal siswa yang berperan penting dalam keberhasilan proses pembelajaran

berbasis teknologi. Adapun hasil pengukuran minat dan motivasi siswa tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 3.

Tabel 3. Minat dan Motivasi Siswa (Indikator B)

No	Pernyataan	S + SS (%)	N (%)	STS + TS (%)
5	Tertarik mempelajari 3D *printing*	75,0	13,5	11,5
6	Menganggap 3D *printing* penting	73,0	13,5	13,4
7	Lebih bersemangat belajar	75,0	19,2	5,8
8	Ingin membuat produk 3D sendiri	92,4	5,8	1,9

Berdasarkan Tabel 3, sebagian besar siswa menunjukkan minat dan motivasi yang tinggi terhadap pembelajaran 3D *printing*, terutama dalam keinginan untuk menghasilkan produk 3D secara mandiri. Temuan ini menunjukkan bahwa siswa memiliki ketertarikan terhadap pembelajaran yang melibatkan aktivitas praktis dan menghasilkan produk nyata. Ketertarikan tersebut sejalan dengan karakteristik pendidikan vokasi yang menekankan pendekatan *learning by doing* dan keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran. Mayoritas siswa memandang pembelajaran 3D *printing* sebagai sesuatu yang penting dan menyatakan bahwa pembelajaran tersebut dapat meningkatkan semangat belajar. Temuan ini mengindikasikan adanya potensi teknologi 3D *printing* untuk mendukung motivasi dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Wijnia dkk (2024), yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek dan produksi nyata dapat meningkatkan motivasi serta keterlibatan siswa secara signifikan. Dengan demikian, tingginya motivasi siswa menjadi modal strategis yang perlu direspons melalui pengembangan media pembelajaran yang tepat, agar motivasi tersebut dapat dioptimalkan menjadi pemahaman konseptual dan keterampilan praktik yang berkelanjutan.

Kebutuhan Media dan Cara Belajar

Untuk mengetahui kebutuhan siswa terhadap media pembelajaran dan preferensi cara belajar dalam pembelajaran 3D *printing*, dilakukan pengumpulan data secara sistematis melalui instrumen angket. Aspek yang diidentifikasi meliputi jenis media yang digunakan, seperti buku ajar cetak dan digital, video tutorial, serta aplikasi interaktif, serta bentuk penyajian materi seperti kombinasi berbagai media, gambar langkah demi langkah, proyek nyata, latihan bertahap, dan panduan *troubleshooting*. Berbagai aspek tersebut dipilih karena mencerminkan kebutuhan siswa dalam memahami materi secara lebih efektif dan aplikatif. Adapun hasil identifikasi kebutuhan media dan cara belajar siswa disajikan secara rinci pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan Media dan Cara Belajar (Indikator C)

No	Jenis Media / Cara Belajar	S + SS (%)	N (%)	STS + TS (%)
9	Buku ajar cetak	77,0	7,7	15,3
10	Buku ajar digital	71,2	19,2	9,6
11	Video tutorial	75,0	17,3	7,7
12	Aplikasi interaktif	71,2	17,3	11,5
13	Kombinasi berbagai media	71,1	21,2	7,6
14	Gambar langkah demi langkah	82,7	9,6	7,7
15	Proyek nyata	78,9	7,7	13,4
16	Latihan bertahap	78,8	9,6	11,5
17	Panduan *troubleshooting*	80,8	11,5	7,7

Berdasarkan Tabel 4, sebagian besar siswa menunjukkan kebutuhan yang tinggi terhadap berbagai jenis media dan pendekatan pembelajaran 3D *printing*. Kebutuhan paling menonjol terdapat pada penyajian gambar langkah demi langkah dan panduan *troubleshooting*, diikuti pembelajaran berbasis proyek nyata dan latihan bertahap. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun pembelajaran 3D *printing* erat dengan teknologi digital, siswa SMK masih sangat membutuhkan media pembelajaran konvensional yang bersifat terstruktur dan mudah diakses. Buku ajar dipersepsikan sebagai media yang dapat digunakan secara mandiri, baik sebelum praktik maupun saat proses pembelajaran berlangsung, sehingga membantu siswa memahami alur kerja dan materi secara sistematis. Preferensi ini mengindikasikan bahwa media cetak tetap memiliki peran strategis dalam pembelajaran vokasi, khususnya untuk materi yang kompleks dan berbasis prosedur seperti 3D *printing*.

Selain itu, responden juga menunjukkan kebutuhan yang tinggi terhadap buku ajar yang dilengkapi gambar langkah demi langkah proyek nyata, serta panduan troubleshooting pada mesin 3D *printing*. Kebutuhan ini mencerminkan karakteristik pembelajaran vokasi yang menuntut kejelasan prosedural dan visualisasi proses kerja. Siswa tidak hanya membutuhkan penjelasan konseptual, tetapi juga panduan praktis yang dapat langsung diterapkan saat praktik. Pengintegrasian pembelajaran CAD dengan aktivitas pencetakan 3D secara langsung dapat membantu menghubungkan pemahaman teoretis dengan penerapan praktis serta mendukung pemahaman proses pemodelan tiga dimensi (Totuk dkk, 2025). Temuan ini sejalan dengan penelitian Solikin dkk (2022), yang mengembangkan media pembelajaran berbasis 3D printing untuk mendukung pembelajaran pada pendidikan kejuruan. Selain itu, Çeken dan Taşkın (2022), menjelaskan prinsip-prinsip pembelajaran multimedia yang mengintegrasikan informasi verbal dan visual dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, hasil pada Tabel 4 menegaskan bahwa pengembangan media pembelajaran 3D printing di SMK perlu diarahkan pada buku ajar berbasis praktik yang terstruktur dan kontekstual, dilengkapi ilustrasi serta panduan prosedural yang relevan dengan kegiatan siswa di bengkel atau laboratorium praktik.

Hambatan dan Kesulitan Pembelajaran

Untuk mengidentifikasi hambatan dan kesulitan yang dihadapi siswa dalam pembelajaran 3D *printing*, dilakukan pengumpulan data secara sistematis melalui instrumen angket. Aspek yang dikaji meliputi berbagai kendala yang sering dialami siswa, seperti kesulitan dalam penggunaan *software* CAD, proses *slicing*, keterbatasan waktu praktik, serta pemahaman terhadap istilah teknis yang digunakan dalam pembelajaran. Keempat aspek tersebut dipilih karena mewakili tantangan utama dalam penguasaan teknologi 3D *printing* di lingkungan pembelajaran. Adapun hasil identifikasi hambatan dan kesulitan pembelajaran siswa disajikan secara rinci pada Tabel 5.

Tabel 5. Hambatan dan Kesulitan Pembelajaran (Indikator D)

No	Hambatan Pembelajaran	S + SS (%)	N (%)	STS + TS (%)
18	Kesulitan software CAD	80,7	15,4	3,8
19	Kesulitan slicing	80,8	9,6	9,6
20	Waktu praktik kurang	80,7	9,6	9,6
21	Istilah teknis sulit	71,2	17,3	11,5

Tabel 5 menunjukkan bahwa sebagian besar siswa mengalami kesulitan dalam memahami dan mengoperasikan teknologi 3D *printing*, meskipun telah memiliki pengalaman awal. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengalaman menggunakan teknologi 3D *printing* belum diikuti dengan pemahaman prosedural yang utuh. Kesulitan tersebut dapat disebabkan oleh kompleksitas alur kerja 3D *printing* yang melibatkan tahapan desain, pengaturan parameter mesin, hingga proses pencetakan, yang memerlukan pemahaman konseptual dan teknis secara simultan. Selain itu, pada aspek pembelajaran, sebagian besar responden menyatakan membutuhkan panduan penggunaan perangkat lunak desain secara bertahap serta panduan pengoperasian mesin 3D *printing* yang sederhana dan mudah dipahami. Temuan ini menunjukkan bahwa kebutuhan utama siswa bukan sekadar tambahan praktik, melainkan media pembelajaran yang mampu menjelaskan proses secara runtut dan visual. Temuan ini sejalan dengan Tejera dkk (2026), yang menunjukkan bahwa integrasi 3D *modelling* dan 3D *printing* dalam pembelajaran memerlukan dukungan media dan pendekatan pedagogik yang terstruktur untuk mengoptimalkan pengembangan keterampilan praktik dan keterlibatan siswa. Dengan demikian, hasil pada Tabel 5 memperkuat urgensi pengembangan media pembelajaran 3D *printing* yang menyediakan panduan langkah demi langkah dan mendukung kemandirian belajar siswa.

Kesiapan Praktik dan Fasilitas

Untuk mengetahui tingkat kesiapan praktik siswa serta ketersediaan fasilitas pendukung dalam pembelajaran 3D *printing*, dilakukan pengumpulan data secara sistematis melalui instrumen angket. Aspek yang dikaji meliputi ketersediaan perangkat komputer atau laptop yang memadai, kebutuhan akan panduan penggunaan *software* secara bertahap, kebutuhan panduan pemakaian yang sederhana, serta tingkat kemudahan dalam memahami *software* CAD. Keempat aspek tersebut dipilih karena mencerminkan kesiapan

dasar siswa dan dukungan fasilitas yang diperlukan dalam pelaksanaan pembelajaran berbasis teknologi. Adapun hasil identifikasi kesiapan praktik dan fasilitas siswa disajikan secara rinci pada Tabel 6.

Tabel 6. Kesiapan Praktik dan Fasilitas (Indikator E)

No	Pernyataan	S + SS (%)	N (%)	STS + TS (%)
22	Komputer/laptop memadai	80,8	5,8	13,4
23	Perlu panduan *software* bertahap	67,3	17,3	15,4
24	Perlu panduan pemakaian sederhana	69,2	21,2	9,6
25	*Software* CAD mudah dipahami	67,3	21,2	11,5

Berdasarkan Tabel 6, sebagian besar responden menilai bahwa fasilitas pendukung pembelajaran 3D *printing* di SMKN 1 Kragilan sudah relatif memadai, khususnya ketersediaan komputer atau laptop. Temuan ini mengindikasikan bahwa dari sisi infrastruktur, sekolah telah memiliki modal awal yang cukup untuk melaksanakan pembelajaran berbasis teknologi manufaktur aditif. Ketersediaan perangkat keras merupakan prasyarat penting dalam pembelajaran vokasi berbasis teknologi digital, karena memungkinkan siswa untuk terlibat langsung dalam proses desain dan produksi.

Namun demikian, meskipun fasilitas dinilai cukup tersedia, kesiapan praktik siswa belum sepenuhnya optimal. Hal ini terlihat dari tingginya persentase responden yang menyatakan membutuhkan panduan pembelajaran yang lebih jelas dan sistematis, khususnya terkait penggunaan software dan mesin 3D *printing*. Temuan ini menunjukkan bahwa keberadaan fasilitas saja tidak cukup untuk menjamin efektivitas pembelajaran praktik, tanpa didukung oleh media pembelajaran yang mampu menjembatani penggunaan fasilitas tersebut. Kondisi ini sejalan dengan penelitian Solikin dkk (2022), yang mengembangkan media pembelajaran berbasis 3D printing untuk mendukung proses pembelajaran pada pendidikan kejuruan. Temuan tersebut memperkuat pentingnya penyediaan media pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan praktik siswa. Dengan demikian, hasil pada Tabel 6 menegaskan perlunya media pembelajaran 3D printing yang dilengkapi panduan praktik terstruktur, sehingga fasilitas yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung pembelajaran vokasi.

Harapan Siswa terhadap Media Pembelajaran

Untuk mengetahui harapan siswa terhadap media pembelajaran 3D *printing*, dilakukan pengumpulan data secara sistematis melalui instrumen angket. Aspek yang dikaji meliputi preferensi terhadap kombinasi media, seperti buku ajar dan video, kejelasan ilustrasi dan langkah pembelajaran, struktur penyajian video, ketersediaan contoh desain yang dapat diunduh, dukungan terhadap pembelajaran mandiri, serta keberadaan evaluasi dan rubrik penilaian. Selain itu, media pembelajaran juga diharapkan mampu mempersiapkan siswa agar memiliki kesiapan kerja yang sesuai dengan kebutuhan industri. Berbagai aspek tersebut dipilih karena mencerminkan kebutuhan dan ekspektasi siswa terhadap media pembelajaran yang efektif, praktis, dan aplikatif. Adapun hasil identifikasi harapan siswa terhadap media pembelajaran disajikan secara rinci pada Tabel 7.

Tabel 7. Harapan Siswa Terhadap Media Pembelajaran (Indikator F)

No	Harapan terhadap Media Ajar	S + SS (%)	N (%)	STS + TS (%)
26	Kombinasi buku ajar dan video	84,7	11,5	3,8
27	Ilustrasi dan langkah jelas	84,6	15,4	0,0
28	Video terstruktur	82,7	11,5	5,8
29	Contoh desain dapat diunduh	82,7	13,5	3,8
30	Mendukung belajar mandiri	78,8	15,4	5,8
31	Evaluasi dan rubrik penilaian	82,7	11,5	5,8
32	Menyiapkan siap kerja industri	84,6	5,8	9,6

Tabel 7 memperlihatkan bahwa siswa mengharapkan media ajar yang mengintegrasikan buku ajar, video pembelajaran, contoh desain, dan evaluasi pembelajaran. Harapan ini menunjukkan kebutuhan terhadap media pembelajaran yang kontekstual, aplikatif, dan berorientasi pada dunia kerja. Penelitian Muharam dkk (2025) juga menegaskan bahwa media pembelajaran vokasi harus mampu menjembatani kompetensi sekolah dengan kebutuhan industri. Jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, temuan penelitian ini

menunjukkan kebaruan pada fokus analisis kebutuhan media pembelajaran 3D *printing* secara komprehensif di tingkat SMK.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pengembangan media pembelajaran berbasis 3D printing dan penerapannya dalam kegiatan praktik, seperti penelitian Solikin dkk (2022) mengenai media pembelajaran model mesin dan penelitian Setiyawan dkk (2026) mengenai integrasi 3D modeling dan printing dalam pembelajaran prototipe komponen otomotif. Berbeda dari fokus tersebut, penelitian ini diarahkan untuk memetakan kebutuhan nyata siswa dan guru sebelum media pembelajaran 3D printing dikembangkan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan dasar empiris untuk menentukan karakteristik media yang sesuai dengan kebutuhan pengguna, termasuk bentuk penyajian materi, dukungan visual, dan panduan praktik yang diperlukan dalam pembelajaran vokasi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan media pembelajaran 3D printing di SMK sebaiknya diarahkan pada buku ajar berbasis praktik yang terintegrasi dengan media digital pendukung, seperti video tutorial dan sumber belajar visual interaktif. Solikin dkk (2022) menunjukkan pemanfaatan teknologi 3D printing dalam pengembangan media pembelajaran untuk mendukung penyampaian materi kejuruan, sedangkan Çeken dan Taşkın (2022) membahas pentingnya prinsip multimedia dalam penyajian informasi pembelajaran. Merujuk pada Tabel 4, buku ajar cetak menjadi pilihan terbanyak responden. Preferensi ini mengindikasikan kebutuhan terhadap sumber belajar yang dapat digunakan secara mandiri dan dijadikan panduan sebelum maupun saat praktik. Oleh karena itu, buku ajar perlu dilengkapi gambar langkah demi langkah, ilustrasi desain, prosedur pengoperasian, serta panduan troubleshooting, sementara video tutorial dan media visual digital dapat digunakan untuk memperjelas tahapan kerja yang sulit dijelaskan melalui teks saja.

Berdasarkan temuan pada Tabel 7 tentang harapan siswa dan guru terhadap media pembalajaran, siswa mengharapkan media ajar berbentuk buku ajar cetak yang dilengkapi dengan video pembelajaran berupa tautan yang dapat diakses secara fleksibel oleh siswa dan guru. Video tersebut diharapkan berisi demonstrasi proses desain, pencetakan, dan penyelesaian produk 3D *printing*. Siswa juga mengharapkan contoh desain berupa gambar proyek nyata, referensi dari laman daring yang relevan, serta contoh produk berbasis CAD yang dapat dijadikan acuan belajar. Harapan tersebut menunjukkan bahwa media ajar tidak hanya berfungsi sebagai sumber informasi, tetapi juga sebagai panduan belajar mandiri dan sarana persiapan praktik kerja. Dengan demikian, pengembangan media ajar berupa buku ajar cetak terintegrasi dengan media digital berpotensi besar dalam menyiapkan siswa agar lebih siap praktik dan memiliki kesiapan kerja di dunia industri maupun dunia usaha. Media ajar semacam ini diharapkan dapat menjadi panduan utama dalam pembelajaran 3D *printing* di SMK, sekaligus mendukung penguatan kompetensi teknis, kemandirian belajar, dan *problem solving* siswa sebagai bagian dari tuntutan pendidikan vokasi berbasis industri 4.0.

Selain kebutuhan terhadap materi dasar pengoperasian 3D printer, hasil penelitian juga menunjukkan pentingnya penyajian materi mengenai *Level of Detail* (LOD) dalam pembelajaran 3D *printing*. LOD mengacu pada tingkat kerumitan dan ketelitian model tiga dimensi yang memengaruhi kualitas hasil cetak, waktu produksi, serta penggunaan material (Hakim dan Abidin, 2024). Dalam proses pencetakan, pemilihan parameter seperti *layer height, infill density,* dan *wall perimeter* turut memengaruhi karakteristik serta kualitas produk yang dihasilkan oleh Mazlan dkk (2023). Pemahaman mengenai hubungan antara desain digital dan parameter pencetakan menjadi penting agar siswa mampu mempertimbangkan kaulitas hasil, waktu produksi, dan penggunaan material secara tepat (Ratnavel dkk, 2022).

Dalam konteks pendidikan vokasi, materi LOD perlu disajikan secara bertahap melalui contoh model sederhana hingga kompleks yang sesuai dengan kemampuan peserta didik SMK. Pemahaman mengenai tingkat detail model perlu dihubungkan dengan penggunaan perangkat lunak *slicer*, sehingga siswa dapat memahami bagaimana pengaturan parameter pencetakan memengaruhi hasil akhir produk. Oleh karena itu, buku ajar yang dikembangkan tidak hanya perlu membahas pemilihan tingkat detail model dan pengaturan parameter pencetakan sesuai dengan tujuan praktik, karakteristik produk, serta efisiensi penggunaan material (Mazlan dkk, 2023; Ratnavel dkk, 2022)

Pembelajaran 3D *printing* juga memiliki potensi yang kuat dalam mengembangkan kemampuan spasial (*spatial ability*) peserta didik. Kemampuan spasial merupakan kemampuan untuk memvisualisasikan, memanipulasi, dan memahami hubungan antarobjek dalam ruang tiga dimensi. Kompetensi ini sangat penting dalam pembelajaran berbasis CAD karena siswa dituntut untuk menerjemahkan ide menjadi model digital sebelum diwujudkan dalam bentuk fisik melalui proses pencetakan. Melalui aktivitas merancang model, memutar objek virtual, mengamati orientasi cetak, serta mengevaluasi hasil produksi, siswa memperoleh pengalaman belajar yang dapat meningkatkan kemampuan visualisasi spasial secara bertahap. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan teknologi desain dan fabrikasi digital mampu membantu peserta

didik memahami konsep geometris secara lebih konkret serta meningkatkan keterampilan berpikir visual yang dibutuhkan dalam bidang teknik dan manufaktur (Özeren dkk, 2023; Ugaldi dkk, 2025). Oleh karena itu, pengembangan media pembelajaran 3D *printing* tidak hanya berkontribusi terhadap penguasaan keterampilan teknis, tetapi juga terhadap pengembangan kemampuan kognitif yang mendukung kesiapan kerja siswa di bidang rekayasa dan desain produk.

Hasil analisis kebutuhan juga menunjukkan bahwa media pembelajaran yang akan dikembangkan perlu menjelaskan penggunaan perangkat lunak pendukung secara sistematis. Dalam implementasi pembelajaran 3D *printing*, proses kerja umumnya dimulai dari pembuatan model menggunakan perangkat lunak CAD seperti *Tinkercad*, *Fusion 360*, atau *SolidWorks*. Model yang telah dibuat kemudian diekspor ke format *STL* dan diproses menggunakan perangkat lunak *slicer*, seperti *Anycubic Slicer Next*, untuk menentukan parameter pencetakan yang meliputi *layer height*, *infill density*, *print speed*, dan *temperatur nozzle*. Tahapan tersebut menjadi kompetensi penting yang harus dipahami siswa karena menentukan kualitas hasil cetakan yang dihasilkan Listyanda dkk (2025). Oleh sebab itu, buku ajar yang dikembangkan perlu memuat panduan penggunaan *software* secara bertahap dan dilengkapi ilustrasi visual agar siswa mampu memahami hubungan antara desain digital, proses *slicing*, dan hasil produksi secara menyeluruh.

Aspek lain yang perlu diperhatikan dalam implementasi pembelajaran 3D *printing* adalah durasi proses pencetakan yang relatif panjang dibandingkan dengan kegiatan praktik konvensional. Waktu produksi suatu objek dipengaruhi oleh ukuran model, tingkat detail desain, ketebalan *layer*, pola *infill*, serta kecepatan pencetakan yang digunakan. Dalam konteks pembelajaran di SMK, keterbatasan waktu praktik dan jumlah mesin yang tersedia sering menjadi kendala dalam memberikan pengalaman praktik yang merata kepada seluruh siswa. Oleh karena itu, strategi pembelajaran perlu dirancang secara efektif, misalnya melalui penggunaan model sederhana pada tahap awal, demonstrasi proses pencetakan oleh guru, pembagian kelompok praktik, serta pemanfaatan video tutorial untuk mengamati tahapan pencetakan yang tidak dapat diselesaikan dalam satu kali pertemuan (Mujiarto dkk, 2025). Dengan strategi tersebut, keterbatasan waktu produksi dapat diminimalkan tanpa mengurangi kualitas pengalaman belajar siswa.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil penelitian. Jumlah responden terbatas hanya berasal dari satu sekolah dan dari jurusan tertentu menyebabkan hasil penelitian ini belum dapat digeneralisasi secara luas pada konteks pendidikan vokasi lainnya. Data yang diperoleh sebagian besar bersifat *self-report* melalui angket, sehingga memungkinkan adanya bias subjektivitas dari responden. Ketiga, penelitian ini hanya berfokus pada analisis kebutuhan tanpa melakukan tahap pengembangan dan uji coba media pembelajaran secara langsung. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan sampel yang lebih luas, menggunakan metode campuran (*mixed methods*), serta melanjutkan ke tahap pengembangan, implementasi, dan evaluasi efektivitas media pembelajaran 3D *printing* secara empiris.

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam bidang pendidikan vokasi, khususnya dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi 3D *printing*. Temuan penelitian ini dapat menjadi dasar dalam merancang media pembelajaran yang lebih sesuai dengan kebutuhan siswa, baik dari segi konten, metode penyajian, maupun pendekatan pembelajaran yang digunakan. Selain itu, hasil ini juga dapat dimanfaatkan oleh guru dan pengembang kurikulum untuk meningkatkan kualitas pembelajaran berbasis praktik dan teknologi, sehingga mampu mendukung kesiapan siswa dalam menghadapi tuntutan industri 4.0. Dengan adanya media pembelajaran yang dirancang berdasarkan analisis kebutuhan yang tepat, diharapkan proses pembelajaran menjadi lebih efektif, adaptif, dan mampu meningkatkan kompetensi siswa secara optimal.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pembelajaran 3D printing dalam pendidikan vokasi memerlukan dukungan media pembelajaran yang dirancang berdasarkan analisis kebutuhan pengguna secara komprehensif. Meskipun minat dan motivasi siswa terhadap teknologi ini tergolong tinggi serta didukung oleh ketersediaan fasilitas yang cukup, proses pembelajaran belum optimal karena belum tersedianya media yang sistematis, terstruktur, dan terintegrasi antara aspek pengetahuan dan keterampilan praktik. Oleh karena itu, pengembangan media pembelajaran yang bertahap dan aplikatif diperlukan untuk mengakomodasi kebutuhan belajar siswa serta meningkatkan efektivitas pembelajaran berbasis teknologi. Analisis kebutuhan berperan strategis sebagai dasar perancangan media yang relevan dengan karakteristik peserta didik dan tuntutan kompetensi industri melalui integrasi kegiatan praktik, visualisasi yang jelas, dan dukungan teknologi digital. Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada tahap perancangan, implementasi, dan evaluasi media

pembelajaran 3D printing dalam berbagai konteks pendidikan vokasi untuk menguji efektivitasnya secara lebih luas.

KONTRIBUSI PENULIS

Akwan Sagara Darussalam: Conceptualization, Investigation, Writing – Original Draft, dan Writing – Review & Editing; **Ade Dwi Putra Janata**: Methodology dan Writing – Review & Editing; **Ananda Yhuto Wibisono Putra**: Data Curation dan Writing – Review & Editing; serta **Hamid Abdillah**: Formal Analysis, Supervision, Validation, dan Writing – Review & Editing. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir dari naskah ini.

PERNYATAAN KETERSEDIAAN DATA

Data yang mendukung temuan dalam penelitian ini tersedia dengan mengikuti ketentuan akses yang berlaku. Bergantung pada karakteristik data, akses dapat diberikan secara terbuka kepada publik atau berdasarkan permintaan yang wajar, kecuali jika terdapat pembatasan terkait etika, hukum, privasi, atau ketentuan institusional.

PERNYATAAN BEBAS KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi hasil yang dilaporkan dalam naskah ini.

PERNYATAAN ETIKA PENELITIAN DAN PUBLIKASI

Para penulis menyatakan bahwa penelitian dan penulisan naskah ini telah mematuhi standar etika penelitian dan publikasi, sesuai dengan prinsip ilmiah, serta bebas dari plagiasi.

PERNYATAAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI ASISTIF

Para penulis menyatakan bahwa Kecerdasan Buatan Generatif (*Generative Artificial Intelligence*) dan teknologi asistif lainnya tidak digunakan secara berlebihan dalam proses penelitian dan penulisan naskah ini. Secara khusus, ChatGPT digunakan untuk meningkatkan kejelasan bahasa. Para penulis telah meninjau dan menyunting semua konten yang dihasilkan AI guna memastikan ketepatan, kelengkapan, serta kepatuhan terhadap standar etika dan ilmiah. Tim penulis bertanggung jawab penuh atas naskah versi akhir.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, H., Fawaid, M., dan Ardiansyah, A. (2025). Transforming vocational learning through 3D printing training as an effort to improve. *Jurnal Abdi Insani*, **12**(11), 6069–6077. DOI: https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v12i11.3126.

Anđić, B., Maričić, M., Weinhandl, R., Mumcu, F., Schmidthaler, E., dan Lavicza, Z. (2024). Metaphorical evolution: A longitudinal study of secondary school teachers' concepts of 3D modelling and printing in education. *Education and Information Technologies*, **29**(11), 14091-14126. DOI: https://doi.org/10.1007/s10639-023-12408-x.

Ardiansyah, A., Risnita, R., dan Jailani, M.S. (2023). Teknik pengumpulan data dan instrumen penelitian ilmiah pendidikan pada pendekatan kualitatif dan kuantitatif. *IHSAN: Jurnal Pendidikan Islam*, **1**(2), 1–9. DOI: https://doi.org/10.61104/ihsan.v1i2.57.

Arifin, A., Saputra, M.A.A., Yani, I., Prakoso, A.T., Gunawan, G., Basri, H., Zahir, M., Thamrin, I., dan Astuti, A. (2025). Implementasi 3D printing dalam pembelajaran teknik di SMK YPK Gajah Mada Palembang. *Jurnal Pelita Sriwijaya*, **4**(2), 93–103. DOI: https://doi.org/10.51630/jps.v4i2.203.

Basyori, S.I. dan Herdiana, D. (2024). Analisis kebutuhan dalam desain pembelajaran. Journal of Education, **1**(2), 1-6. DOI: https://doi.org/10.65353/bvpzyc09.

Çeken, B. dan Taşkın, N. (2022). Multimedia learning principles in different learning environments : a systematic review. *Smart Learning Environments*, **9**, 19. DOI: https://doi.org/10.1186/s40561-022-00200-2.

Hakim, M.N. dan Abidin, A.A. (2024). Platform merdeka mengajar: Integrasi teknologi dalam pendidikan vokasi dan pengembangan guru. *Kharisma: Jurnal Administrasi dan Manajemen Pendidikan*, **3**(1), 68–82. DOI: https://doi.org/10.59373/kharisma.v3i1.47.

Herlambang, A.D., Budiman, B., dan Wardhono, W.S. (2022). Interactive procedural knowledge learning resources development in the context of competency-based training instructional approach and interactive

media design subjects for information technology vocational high school. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education),* **7**(1), 76–83. DOI: https://doi.org/10.21831/elinvo.v7i1.48215.

Kromer, R. dan Gruhier, E. (2023). Design teaching integrating additive manufacturing constraints. *Proceedings of The Design Society*, **3**, 1327-1336. DOI: https://doi.org/10.1017/pds.2023.133.

Kurniawati, E. dan Rindrayani, S.R. (2025). Pendekatan kuantitatif dengan penelitian survei: Studi kasus dan implikasinya. *SOSIAL: Jurnal Ilmiah Pendidikan, dan Ilmu Pendidikan Sosial*, **3**(1), 65-69. DOI: https://doi.org/10.62383/sosial.v3i1.596.

Listyanda, R.F., Yogiswara, C.W., Arbye, S., Drana, S., Putra, H., Palupi, R.A., Wahananto, I., dan Taufik, I. (2025). Peningkatan keterampilan dan keahlian CAD 3D untuk mendukung pelatihan 3D printing. *Madaniya*, **6**(4), 2844–2851. DOI: https://doi.org/10.53696/27214834.1526.

Love, D.M. (2022). Technological problem solving: An investigation of differences associated with levels of task success. *International Journal of Technology and Design Education*, **32**(3), 1725–1753. DOI: https://doi.org/10.1007/s10798-021-09675-5.

Mahardika, P.K.Y., Astuti, N.P.E., dan Numertayasa, I.W. (2025). Analisis kesulitan guru sekolah dasar dalam pembuatan media pembelajaran. *Jurnal Basicedu*, **9**(4), 904–912. DOI: https://doi.org/10.31004/basicedu.v9i4.10311.

Manihuruk, E.E. dan Siregar, S. (2026). Penerapan media pembelajaran video animasi 3D dengan model problem based learning untuk meningkatkan hasil belajar elemen dasar-dasar teknik konstruksi dan perumahan siswa kelas X TKP. *Strategy: Jurnal Inovasi Strategi dan Model Pembelajaran*, **5**(4), 755–763. DOI: https://doi.org/10.51878/strategi.v5i4.8383.

Mazlan, M.A., Anas, M.A., Aiman, N., Izmin, N., dan Abdullah, A.H. (2023). Effects of infill density, wall perimeter and layer height in fabricating 3D printing products. *Materials*, **16**(2), 695. DOI: https://doi.org/10.3390/ma16020695.

Muharam, R.S., Afrilia, U.A., dan Sudarma, S. (2025). Revitalisasi pendidikan vokasi berbasis kebutuhan industri 4.0: Implikasi kebijakan pendidikan di daerah sub-urban. *Diajar: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, **4**(3), 425–436. DOI: https://doi.org/10.54259/diajar.v4i3.4440.

Mujiarto, S., Taufik, I., Rokhmat, M.J.A., Nissa, N.K., dan 'Ulyan, M. (2025). Peningkatan keterampilan dan kompetensi siswa SMK dalam menghadapi era revolusi industri 4.0 melalui pelatihan 3D printing. *JURPIKAT (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*, **6**(4), 2520–2529. DOI: https://doi.org/10.37339/jurpikat.v6i4.2801.

Olakotan, O., Samuriwo, R., Ismaila, H., dan Atiku, S. (2025). Usability challenges in electronic health records: Impact on documentation burden and clinical workflow: A scoping review. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, **31**(4), e70189. DOI: https://doi.org/10.1111/jep.70189.

Özeren, Ö., Özeren, E.B., Top, S.M., dan Qurraie, B.S. (2023). Learning-by-Doing using 3D printers : Digital fabrication studio experience in architectural education. *Journal of Engineering Research*, **11**(3), 100135. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100135.

Ratnavel, R., Viswanath, S., Subramanian, J., dan Selvaraj, V.K. (2022). Predicting the optimal input parameters for the desired print quality using machine learning. *Micromachines*, **13**(12), 2231. DOI: https://doi.org/10.3390/mi13122231.

Rohmat, R., Ferlania, D.A.F., Abdullah, I., Umam, K., Arrahman, M.A., dan Iqbal, D.A. (2025). Introduction and training of rapid prototyping using 3D printing technology at SMA Muhammadiyah 10 Sugio Lamongan. *Karya Nyata: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, **2**(2), 235-242. DOI: https://doi.org/10.62951/karyanyata.v2i2.1616.

Setiyawan, A., Soeharto, S., Maričić, M., dan Lavicza, Z. (2026). Integrating 3D modeling and printing in automotive component prototyping: Perceptions of pre-service vocational teachers. *Technology, Knowledge and Learning*, **31**, 2061-2084. DOI: https://doi.org/10.1007/s10758-025-09918-7.

Solikin, M., Yudianto, A., dan Adiyasa, I.W. (2022). The development of learning media of 2-stroke engine manufactured by 3D print for distance learning. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, **28**(1), 121–129. DOI: https://doi.org/10.21831/jptk.v28i1.47499.

Tarial, T., Suratno, S., dan Idrus, A. (2022). Pengembangan media pembelajaran konstruksi dan utilitas gedung berbantuan sketchup 3D untuk kompetensi keahlian desain pemodelan dan informasi. *Jurnal Manajemen Pendidikan dan Ilmu Sosial (JMIPIS)*, **3**(2), 829–840. DOI: https://doi.org/10.38035/jmpis.v3i2.1173.

Tejera, M., Galiç, S., dan Lavicza, Z. (2026). 3D modelling and printing in teacher education: A systematic literature review. *Journal for STEM Education Research*, **9**(1), 1-32. DOI: https://doi.org/10.1007/s41979-025-00147-2.

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

Ugaldi, F., Dulnuan, A., Canuto, P.P., Hiteg, D., dan Hiteg, N. (2025). Impact of 3D-printed models on elementary students' space science learning: Mixed methods and classroom action research study. *STEM Education*, **5**(6), 1102–1131. DOI: https://doi.org/10.3934/steme.2025047.

Wijnia, L., Noordzij, G., dan Arends, L. R. (2024). The effects of problem-based, project - based, and case - based learning on students' motivation: A meta analysis. *Educational Psychology Review*, **36**, 29. DOI: https://doi.org/10.1007/s10648-024-09864-3.