


Peran Pembelajaran Berbasis CAD terhadap Penguasaan Kompetensi Gambar Teknik di Pendidikan Vokasi: Tinjauan Literatur (2021–2025)

Arisman Telaumbanua*¹, Rena Ria Zalukhu²

¹Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nias, Kota Gunungsitoli, Sumatera Utara, Indonesia.

²Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Nias, Kota Gunungsitoli, Sumatera Utara, Indonesia.
 E-mail: arismant9@gmail.com

* Corresponding Author

 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i3.5510>

ARTICLE INFO

Article history

Received: 24 Jan 2026

Revised: 28 Jan 2026

Accepted: 13 Feb 2026

Kata Kunci:

Augmented Reality;
 Beban Kognitif;
 Computer-Aided Design;
 Gambar Teknik;
 Kompetensi;
 Pembelajaran Berbasis
 Proyek; Pendidikan
 Vokasi

Keywords

Augmented Reality;
 Cognitive Load;
 Computer-Aided Design;
 Project-Based Learning;
 Technical Drawing;
 Vocational Education;
 Work Competency



ABSTRACT

Transformasi digital dan tuntutan industri mendorong pendidikan vokasi untuk memperkuat kompetensi gambar teknik melalui pembelajaran berbasis *Computer-Aided Design* (CAD). Artikel ini meninjau literatur periode 2021–2025 untuk memetakan kontribusi pembelajaran CAD terhadap penguasaan kompetensi gambar teknik, strategi pedagogik yang efektif, pendekatan asesmen, serta faktor pendukung dan penghambat implementasinya pada satuan pendidikan vokasi. Tinjauan dilakukan menggunakan pendekatan *structured literature review* dan dilaporkan mengikuti prinsip PRISMA 2020 guna menjamin transparansi dan keterulangan kajian. Sebanyak 32 studi yang memenuhi kriteria inklusi disintesis secara tematik. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis CAD berperan signifikan dalam: (1) meningkatkan akurasi, konsistensi standar gambar, dan produktivitas *drafting* melalui visualisasi 2D/3D serta kemudahan revisi; (2) memperkuat kemampuan visualisasi spasial dan pemahaman proyeksi melalui integrasi CAD dengan prinsip proyeksi ortografis serta dukungan teknologi *augmented reality* (AR); (3) meningkatkan kesiapan kerja peserta didik melalui keselarasan dengan *workflow* industri berbasis CAD/BIM dan praktik dokumentasi digital; (4) meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar ketika dipadukan dengan *project-based learning*, *problem-based learning*, *case method*, dan multimedia interaktif; serta (5) menuntut dukungan kompetensi guru, ketersediaan perangkat dan lisensi, serta desain instruksional yang mampu mengelola beban kognitif peserta didik. Artikel ini mengusulkan sebuah kerangka implementasi pembelajaran CAD vokasi yang mengintegrasikan tujuan kompetensi, tugas autentik berbasis industri, *scaffolding* beban kognitif, dan rubrik asesmen unjuk kerja sebagai acuan pengembangan pembelajaran gambar teknik di pendidikan vokasi.

Digital transformation and increasing industry demands have urged vocational education to strengthen technical drawing competencies through Computer-Aided Design (CAD)-based learning. This article reviews literature published between 2021 and 2025 to map the contributions of CAD-based instruction to the mastery of technical drawing competencies, effective pedagogical strategies, assessment approaches, and enabling and constraining factors influencing its implementation in vocational education settings. The review employed a structured literature review approach and was reported in accordance with PRISMA 2020 principles to ensure transparency and replicability. A total of 32 studies that met the inclusion criteria were synthesized thematically. The findings indicate that CAD-based learning plays a significant role in: (1) improving drawing accuracy, standard consistency, and drafting productivity through 2D/3D visualization and efficient revision processes; (2) strengthening spatial visualization skills and projection understanding through the integration of CAD with orthographic projection principles and the support of augmented reality (AR) technologies; (3) enhancing students' work readiness by aligning learning activities with CAD/BIM-based industrial workflows and digital documentation practices; (4) increasing learner engagement and motivation when combined with project-based learning, problem-based learning, case methods, and interactive multimedia; and (5) requiring adequate teacher competencies, access to hardware and software licenses, and

instructional designs that effectively manage learners' cognitive load. This article proposes a vocational CAD learning implementation framework that integrates competency-oriented objectives, industry-based authentic tasks, cognitive load scaffolding, and performance-based assessment rubrics as a reference for developing technical drawing instruction in vocational education



This is an open access article under the CC–BY–SA license.

How to Cite: Aprianus Telaumbanua et al (2026). Peran Pembelajaran Berbasis CAD terhadap Penguasaan Kompetensi Gambar Teknik di Pendidikan Vokasi: Tinjauan Literatur (2021–2025) . <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i3.5510>

PENDAHULUAN

Kompetensi gambar teknik merupakan salah satu pilar utama dalam pendidikan vokasi pada bidang manufaktur, konstruksi, otomotif, desain produk, dan arsitektur. Kompetensi ini tidak hanya berkaitan dengan kemampuan membaca dan membuat gambar kerja, tetapi juga mencakup pemahaman standar gambar teknik, proyeksi ortografis, sistem dimensi dan toleransi, anotasi teknis, serta kemampuan komunikasi visual yang akurat antarbidang kerja. Dalam praktik industri kontemporer, gambar teknik berfungsi sebagai bahasa teknis universal yang menghubungkan proses perencanaan, produksi, dan pengendalian mutu, sehingga penguasaan kompetensi ini menjadi prasyarat penting bagi kesiapan kerja lulusan vokasi.

Seiring dengan percepatan transformasi digital di sektor industri, praktik gambar teknik mengalami pergeseran signifikan dari pendekatan manual menuju lingkungan kerja digital berbasis *computer-aided design* (CAD) dan *building information modeling* (BIM). Teknologi ini memungkinkan integrasi gambar 2D dengan model 3D, kolaborasi desain secara daring, dokumentasi teknis yang konsisten, serta pengelolaan revisi berbasis standar industri (Koziar et al., 2025; NATSPEC, 2021, 2025; Papuraj et al., 2025). Dalam konteks ini, pendidikan vokasi dituntut untuk tidak hanya mengajarkan keterampilan menggambar, tetapi juga membekali peserta didik dengan literasi digital dan kemampuan menggunakan perangkat lunak CAD yang relevan dengan kebutuhan dunia kerja. Agenda global penguatan TVET juga menegaskan pentingnya integrasi teknologi digital dalam pembelajaran untuk meningkatkan relevansi, kualitas, dan daya saing lulusan (UNESCO-UNEVOC, 2025; Yang & Wu, 2024).

Meskipun CAD telah diadopsi secara luas dalam pembelajaran gambar teknik, implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan pedagogis. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa peserta didik kerap mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan hubungan antara representasi dua dimensi dan bentuk tiga dimensi, melakukan interpretasi proyeksi secara tepat, serta memahami konsep dimensi dan toleransi secara konsisten. Tantangan tersebut semakin kompleks ketika siswa harus secara simultan mempelajari konsep gambar teknik dan menguasai antarmuka serta prosedur perangkat lunak CAD, yang berpotensi meningkatkan beban kognitif dan menghambat pemahaman konseptual (Noetel et al., 2022; Ouwehand et al., 2025). Oleh karena itu, efektivitas pembelajaran berbasis CAD tidak dapat dipahami semata-mata sebagai digitalisasi aktivitas menggambar, melainkan sangat dipengaruhi oleh desain pembelajaran, pemilihan strategi instruksional, dan pendekatan asesmen yang digunakan.

Dalam lima tahun terakhir, berbagai studi empiris di bidang pendidikan vokasi telah mengeksplorasi beragam pendekatan pembelajaran gambar teknik berbasis CAD, seperti pengembangan modul AutoCAD, penerapan *project-based learning* dan *problem-based learning*, pemanfaatan multimedia interaktif, serta integrasi *augmented reality* untuk mendukung visualisasi spasial (Septiantoro & Widaningsih, 2022; Pujiastuti et al., 2025; Budi et al., 2025; Nuryanto et al., 2025; Busono et al., 2025). Hasil-hasil penelitian tersebut umumnya menunjukkan dampak positif terhadap hasil belajar kognitif dan psikomotor, kemampuan spasial, serta motivasi dan keterlibatan belajar peserta didik. Namun demikian, temuan-temuan tersebut masih tersebar dan dilaporkan dalam konteks, desain pembelajaran, serta indikator hasil yang beragam.

Hingga kini, masih terbatas kajian yang secara sistematis mensintesis bukti empiris terkini mengenai kontribusi pembelajaran berbasis CAD terhadap pengembangan kompetensi gambar teknik

pada pendidikan vokasi. Selain itu, pemetaan komprehensif terkait model pembelajaran yang dominan, praktik asesmen kompetensi, serta faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi CAD di lingkungan pendidikan vokasi juga masih jarang dilaporkan secara terintegrasi. Kekosongan sintesis ini berpotensi menyulitkan pendidik dan pengambil kebijakan dalam merancang pembelajaran CAD yang efektif, terstruktur, dan selaras dengan kebutuhan industri.

Berdasarkan celah tersebut, artikel ini menyajikan tinjauan sistematis terhadap penelitian periode 2021–2025 yang membahas pembelajaran gambar teknik berbasis CAD pada pendidikan vokasi. Sintesis ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai kontribusi pembelajaran CAD terhadap kompetensi gambar teknik, pendekatan pembelajaran dan asesmen yang digunakan, serta faktor-faktor kunci yang memengaruhi implementasinya, sehingga dapat menjadi rujukan praktis dan teoretis bagi pengembangan pembelajaran gambar teknik vokasi berbasis teknologi.

Berbeda dari tinjauan sebelumnya yang umumnya membahas CAD dalam konteks pendidikan teknik secara umum atau berfokus pada aspek perangkat lunak tertentu, artikel ini secara khusus mensintesis peran pembelajaran berbasis CAD terhadap penguasaan kompetensi gambar teknik dalam konteks pendidikan vokasi. Kebaruan kajian ini terletak pada integrasi temuan empiris terkini (2021–2025) yang mengaitkan CAD dengan visualisasi spasial, desain instruksional berbasis *cognitive load theory*, strategi pedagogik autentik (PBL/PjBL dan *case method*), pemanfaatan AR, serta keselarasan dengan praktik industri CAD–BIM. Selain itu, artikel ini tidak hanya merangkum dampak pembelajaran, tetapi juga menghasilkan kerangka konseptual dan kerangka implementasi praktis yang dapat digunakan sebagai rujukan pengembangan pembelajaran gambar teknik berbasis teknologi di SMK dan pendidikan vokasi.

METODE

Artikel ini menggunakan *Structured Literature Review* dengan pendekatan sintesis tematik untuk memetakan, mengintegrasikan, dan menafsirkan temuan penelitian terkait pembelajaran berbasis *Computer-Aided Design* (CAD) pada kompetensi gambar teknik di pendidikan vokasi dan teknik. Pelaporan kajian mengikuti prinsip PRISMA 2020 (Page et al., 2021) guna menjamin transparansi dan keterlacakan proses, yang meliputi perumusan pertanyaan kajian, strategi penelusuran, seleksi studi, penilaian kelayakan, serta pelaporan hasil seleksi.

Struktur dan alur penulisan kajian ini juga merujuk pada panduan metodologis kajian sistematis dan *structured review* yang menekankan konsistensi proses sintesis, kejelasan kriteria, serta justifikasi tematik (Randles & Finnegan, 2023; Shehata, 2025), termasuk pedoman ringkas *systematic review/meta-analysis* berbasis PRISMA untuk artikel pendidikan dan teknologi pembelajaran (Martinez et al., 2025). Pendekatan ini dipilih untuk memungkinkan integrasi berbagai desain penelitian (eksperimen, R&D, PTK, survei adopsi teknologi, dan *review*) yang lazim dalam kajian pendidikan teknik.

Strategi Penelusuran dan Sumber Data

Penelusuran literatur dilakukan pada laman penerbit jurnal ilmiah dan repositori terbuka yang menyediakan metadata lengkap, meliputi tahun publikasi, penulis, judul, dan outlet publikasi. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia dengan *Boolean operators* AND/OR.

Kata kunci dalam bahasa Inggris meliputi:

(“CAD learning” OR AutoCAD OR SolidWorks OR “Fusion 360”) AND
 (“technical drawing” OR “engineering graphics” OR “engineering drawing”) AND
 (vocational OR TVET OR “vocational high school”).

Sementara itu, kata kunci dalam bahasa Indonesia meliputi:

(pembelajaran CAD OR AutoCAD OR SolidWorks OR Fusion 360) AND
 (gambar teknik OR gambar kerja OR proyeksi ortografis) AND
 (vokasi OR SMK OR TVET).

Sumber literatur yang ditelaah mencakup studi empiris, penelitian dan pengembangan (R&D) media atau modul pembelajaran, penelitian tindakan kelas (PTK/*classroom action research*), studi

adopsi teknologi oleh guru, serta *systematic review* yang relevan dengan pembelajaran CAD, *engineering graphics*, BIM, dan AR dalam konteks pendidikan teknik dan vokasi. Protokol kajian disusun secara konseptual sebelum proses penelusuran literatur untuk meminimalkan bias seleksi dan menjamin konsistensi proses sintesis.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Studi yang disertakan dalam tinjauan ini dipilih berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ditetapkan secara ketat untuk memastikan relevansi, konsistensi temporal, dan kualitas ilmiah. Kriteria inklusi meliputi:

1. Artikel yang dipublikasikan pada rentang tahun 2021–2025.
2. Studi yang membahas pembelajaran berbasis Computer-Aided Design (CAD) yang secara langsung berkaitan dengan kompetensi gambar teknik (*engineering drawing/engineering graphics*), mencakup aspek gambar 2D/3D, proyeksi, drafting, interpretasi gambar teknik, dan dokumentasi teknis.
3. Penelitian yang dilakukan dalam konteks pendidikan vokasi/TVET/SMK atau pendidikan teknik yang relevan sebagai rujukan pedagogik.

Kriteria eksklusi meliputi:

1. Artikel yang dipublikasikan di luar rentang tahun 2021–2025.
2. Studi yang hanya membahas desain produk atau rekayasa teknis tanpa fokus pada aspek pembelajaran, pengajaran, atau asesmen.
3. Sumber non-ilmiah atau publikasi yang tidak menyediakan informasi metodologis minimal, sehingga tidak memungkinkan dilakukan penilaian kualitas penelitian.

Penilaian Kualitas dan Sintesis Data

Penilaian kualitas studi dalam artikel ini tidak dibatasi pada satu instrumen *critical appraisal* tertentu, melainkan menggunakan pendekatan *quality screening pragmatis*. Pendekatan ini dipilih untuk mengakomodasi keragaman desain penelitian dan jenis publikasi yang disintesis. Adapun kriteria penilaian kualitas meliputi:

1. kesesuaian antara tujuan dan metode penelitian,
2. kejelasan konteks dan karakteristik sampel,
3. transparansi prosedur dan instrumen penelitian,
4. kecukupan dan ketepatan teknik analisis data, serta
5. pelaporan keterbatasan studi.

Pendekatan ini sejalan dengan temuan Smith et al. (2025) yang menekankan bahwa penggunaan *quality appraisal tools* dalam *systematic review* bersifat bervariasi dan perlu disesuaikan dengan tujuan sintesis serta karakteristik studi yang ditelaah.

Sintesis data dilakukan secara tematik, dengan mengelompokkan temuan penelitian ke dalam empat tema utama sebagai berikut:

- 1 T1 Dampak pada kompetensi, meliputi akurasi dan kepatuhan terhadap standar gambar, efisiensi dan produktivitas kerja, kemampuan spasial dan proyeksi, serta kesiapan kerja lulusan.
- 2 T2 Strategi pedagogik dan media, mencakup penerapan *Project-Based Learning* (PjBL), *Problem-Based Learning* (PBL), *case method*, penggunaan multimedia, *microlearning*, serta teknologi *Augmented/Extended Reality* (AR/XR).
- 3 T3 Asesmen, meliputi pendekatan dan instrumen penilaian kompetensi gambar teknik berbasis CAD.
- 4 T4 Faktor implementasi, yang mencakup kompetensi guru, ketersediaan fasilitas dan perangkat lunak, dukungan kebijakan institusi, beban kognitif peserta didik, serta tingkat adopsi teknologi.

Pendekatan sintesis tematik ini memungkinkan penarikan kesimpulan yang komprehensif mengenai tren, tantangan, dan peluang pengembangan pembelajaran berbasis CAD pada kompetensi gambar teknik dalam konteks pendidikan vokasi dan teknik.

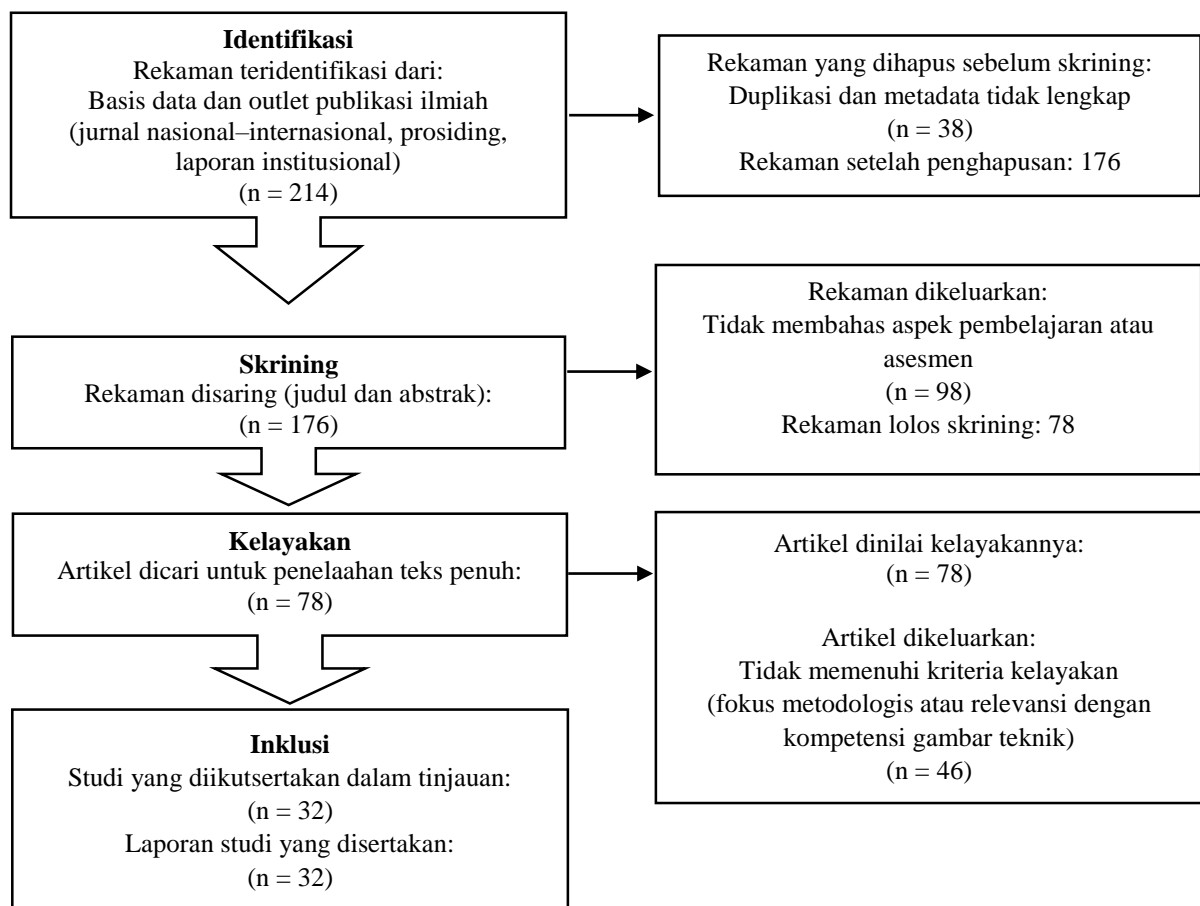
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Pelaporan PRISMA Ringkas (Alur Seleksi Studi)

Pencarian literatur dilakukan melalui penelusuran terarah pada jurnal dan outlet publikasi ilmiah yang menyediakan metadata lengkap dan dapat ditelusuri ulang, mencakup jurnal nasional dan internasional, prosiding konferensi, serta laporan institusional. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan keterwakilan penelitian pendidikan vokasi yang banyak dipublikasikan di luar basis data komersial tertentu. Mesin pencari akademik dan laman penerbit digunakan sebagai sarana penelusuran, sementara seleksi studi tetap dikendalikan melalui kriteria inklusi–eksklusi dan alur PRISMA 2020 (Page et al., 2021). Sebanyak 214 rekaman teridentifikasi melalui penelusuran basis data ilmiah pada periode 2021–2025. Setelah penghapusan duplikasi dan metadata tidak lengkap, tersisa 176 rekaman yang disaring berdasarkan judul dan abstrak. Sebanyak 98 artikel dikeluarkan karena tidak membahas aspek pembelajaran atau asesmen. Sebanyak 78 artikel ditelaah pada tahap *full-text*, dan 46 artikel dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria kelayakan. Dengan demikian, sebanyak 32 studi memenuhi kriteria inklusi dan disintesis secara tematik.

Proses seleksi studi dilakukan secara bertahap mengikuti alur PRISMA 2020 dalam versi ringkas untuk menyesuaikan dengan karakteristik sumber terbuka yang ditinjau, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur seleksi studi (adaptasi PRISMA 2020, ringkas)

Untuk menjaga transparansi proses seleksi, alasan eksklusi studi pada tahap telaah teks penuh dirangkum pada Tabel 1. Eksklusi dilakukan berdasarkan ketidaksesuaian fokus pedagogik, keterbatasan pelaporan metodologis, serta relevansi kompetensi gambar teknik yang ditelaah.

Tabel 1. Alasan Eksklusi Studi pada Tahap Full-Text (n = 46)

No	Alasan Eksklusi	Jumlah Studi
1	Fokus pada desain produk/rekayasa teknis tanpa konteks pembelajaran atau asesmen	15
2	Metodologi penelitian tidak dijelaskan secara memadai	11
3	Konteks non-pendidikan (industri murni, <i>profesional practice</i>)	8

4	Kompetensi tidak terkait langsung dengan gambar teknik/CAD	7
5	Duplikasi versi publikasi (prosiding–jurnal)	5
Total		46

Berdasarkan hasil seleksi, sebanyak 32 studi memenuhi kriteria inklusi dan selanjutnya dianalisis menggunakan pendekatan sintesis tematik. Matriks sintesis tematik pada Tabel 2 menyajikan ringkasan fokus temuan, jenis dan konteks studi, serta implikasi utama yang dikelompokkan ke dalam empat tema (T1–T4).

Tabel 2. Matriks Sintesis Tematik Pembelajaran Berbasis CAD dan Kompetensi Gambar Teknik (2021–2025)

Tema	Fokus Utama Temuan	Konteks & Jenis Studi (n)	Ringkasan Sintesis	Sumber Kunci
T1. Dampak CAD terhadap kompetensi gambar teknik	Akurasi gambar, konsistensi standar, produktivitas drafting	Eksperimen & kuasi (7); R&D media/modul (6)	CAD meningkatkan ketepatan geometri, dimensi, dan kerapian gambar; revisi lebih efisien dibanding metode manual	Pujiastuti et al. (2025); Koziar et al. (2025); Busono et al. (2025)
	Visualisasi spasial & pemahaman proyeksi 2D–3D	Eksperimen (6); Review (3)	Integrasi CAD dengan proyeksi ortografis dan AR memperkuat transisi 2D–3D dan kemampuan spasial	Gutiérrez de Ravé et al. (2025); Tiwari et al. (2024a, 2024b)
	Kesiapan kerja & relevansi industri	Review sistematis & laporan (4)	CAD/BIM selaras dengan workflow industri dan dokumentasi digital; meningkatkan employability	NATSPEC (2021; 2025); Papuraj et al. (2025)
T2. Strategi pedagogik & media	PBL/PjBL terintegrasi CAD	PTK (4); Eksperimen (4)	PBL/PjBL meningkatkan capaian kompetensi, kolaborasi, dan problem solving melalui tugas autentik	Nuryanto et al. (2025); Fauzansyah et al. (2025)
	Case method & e-modul interaktif	R&D (4)	Case method menggeser fokus dari perintah software ke pemecahan masalah gambar kerja	Budi et al. (2025)

Tema	Fokus Utama Temuan	Konteks & Jenis Studi (n)	Ringkasan Sintesis	Sumber Kunci
	Multimedia & microlearning	R&D (3); Studi implementasi (2)	Multimedia efektif bila menerapkan prinsip segmentasi & koherensi; microlearning perlu alignment kompetensi	Busono et al. (2025); Septiantoro & Widaningsih (2022)
T3. Asesmen kompetensi gambar teknik	Rubrik unjuk kerja CAD	Review & pengembangan instrumen (4)	Asesmen berbasis rubrik lebih valid daripada tes objektif; menilai produk & proses kerja	Merzdorf et al. (2024)
	Asesmen spasial diagnostik	Review & eksperimen (3)	Tes spasial awal membantu penentuan scaffolding dan personalisasi pembelajaran	McNea et al. (2025); Porat et al. (2024)
T4. Faktor implementasi	Kompetensi guru (TPVK/TPACK, AI-TPACK)	Survei & review (5)	Keberhasilan implementasi CAD bergantung pada integrasi pedagogi-teknologi-konten	Rahmawati (2021); Setiyawan et al. (2025)
	Infrastruktur, lisensi & kebijakan	Review & laporan institusional (3)	Akses perangkat dan lisensi memengaruhi intensitas latihan dan kualitas pembelajaran	Autodesk (2025a; 2025b); UNESCO-UNEVOC (2025)
	Beban kognitif & desain instruksional	Review (3)	Desain CLT-aware menurunkan extraneous load dan meningkatkan efektivitas belajar CAD	Noetel et al. (2022); Ouwehand et al. (2025)

2. Dampak Pembelajaran CAD terhadap Penguasaan Kompetensi Gambar Teknik (Tema T1)

a. Akurasi, ketelitian, dan produktivitas drafting

Sejumlah studi pengembangan media dan modul pembelajaran menunjukkan bahwa penggunaan CAD berkontribusi signifikan terhadap konsistensi elemen gambar teknik meliputi kualitas garis, ketepatan dimensi, penggunaan simbol, serta pengelolaan layer dan meningkatkan efisiensi revisi dibandingkan metode menggambar manual. Pengembangan media AutoCAD 2D berbasis model ADDIE pada konteks konstruksi jalan dan jembatan, misalnya, menghasilkan produk yang dinilai layak dan berpotensi meningkatkan efektivitas pembelajaran praktik (Pujiastuti et al., 2025). Temuan serupa dilaporkan pada pengembangan

multimedia interaktif AutoCAD berbasis *Articulate Storyline* yang dirancang untuk mengatasi keterbatasan media sebelumnya dan memfasilitasi latihan prosedural secara terstruktur (Busono et al., 2025). Dalam perspektif yang lebih luas, tinjauan sistematis tentang dampak CAD dan BIM dalam pengajaran *engineering graphics* menegaskan peningkatan kemampuan visualisasi, analisis, dan kolaborasi mahasiswa, meskipun masih terdapat disparitas tingkat adopsi antar institusi pendidikan (Koziar et al., 2025). CAD mendukung indikator unjuk kerja utama dalam gambar teknik, seperti ketepatan geometri, ketepatan dimensi, keterbacaan anotasi, dan kerapian tata letak. Indikator-indikator ini dapat dioperasionalisasikan secara jelas dalam bentuk rubrik penilaian kinerja (Merzdorf et al., 2024).

- b. Visualisasi spasial dan pemahaman proyeksi (2D–3D)
Kemampuan visualisasi spasial memiliki korelasi yang kuat dengan performa akademik pada bidang teknik dan arsitektur; intervensi pelatihan spasial terbukti mampu meningkatkan capaian belajar pada konteks tertentu (Porat et al., 2024). Dalam pembelajaran gambar teknik, integrasi CAD dengan prinsip proyeksi ortografis melalui pendekatan CADOP dilaporkan efektif dalam memperkuat pemahaman konseptual proyeksi sekaligus keterampilan operasional CAD (Gutiérrez de Ravé et al., 2025). Selain itu, tinjauan tentang asesmen kemampuan spasial menegaskan pentingnya penggunaan instrumen diagnosis spasial agar pembelajaran dapat disesuaikan melalui *targeted scaffolding* (McNea et al., 2025). Teknologi Augmented Reality (AR) muncul sebagai pendekatan yang kuat untuk menjembatani pemahaman representasi 2D–3D. Studi EDINAR menunjukkan bahwa penggunaan AR pada mata kuliah *engineering drawing* berpengaruh terhadap performa belajar (Tiwari et al., 2024b), visualisasi spasial, dan beban kognitif mahasiswa (Tiwari et al., 2024a). Review sistematis AR dalam pendidikan teknik juga mengonfirmasi dampak positif AR terhadap visualisasi, interaksi, dan motivasi belajar, meskipun masih terdapat kesenjangan pada aspek desain pembelajaran (Suhail et al., 2024). Pada ranah *engineering graphics*, AR dipandang berpotensi memediasi pemahaman representasi grafis secara lebih intuitif (Ivanov et al., 2024) dan mendukung inklusivitas dengan membantu mahasiswa yang memiliki tantangan spasial (Sun et al., 2024).
- c. Kesiapan kerja dan keselarasan dengan praktik industri (CAD–BIM dan alur dokumentasi)
Bukti lintas sumber menegaskan bahwa kompetensi gambar teknik yang relevan dengan dunia kerja semakin terintegrasi dengan Building Information Modeling (BIM) dan praktik dokumentasi digital. Laporan *BIM Education – Global* dari NATSPEC menunjukkan perkembangan sekaligus disparitas implementasi pendidikan BIM di berbagai negara, termasuk tantangan kurikulum dan kapasitas sumber daya manusia (NATSPEC, 2021; 2025). Review sistematis BIM dalam *construction project management* menekankan pentingnya pembelajaran berbasis praktik (*hands-on*), kolaborasi lintas disiplin, dan peningkatan kompetensi dosen (Papuraj et al., 2025). Sementara itu, review integrasi BIM dengan *offsite construction* menyoroti tren teknologi baru dan kebutuhan kompetensi digital yang saling berkelindan dengan pembelajaran berbasis model (Doan et al., 2025). Temuan-temuan ini memperkuat argumen bahwa pembelajaran CAD di pendidikan vokasi sebaiknya dikemas dalam tugas autentik yang merepresentasikan alur kerja industri secara nyata (Koziar et al., 2025; NATSPEC, 2025).

3. Strategi Pedagogik Dominan dan Efektif (Tema T2)

- a. PBL/PjBL terintegrasi CAD: tugas autentik dan alur kerja industri
Pendekatan *Problem-Based Learning* (PBL) dan *Project-Based Learning* (PjBL) banyak digunakan karena menempatkan CAD sebagai alat untuk menghasilkan artefak teknis, seperti *part drawing*, *assembly*, dan gambar kerja. Penelitian tindakan kelas tentang penerapan PjBL dalam pembelajaran 3D CAD menggunakan Autodesk Fusion 360 melaporkan peningkatan kemampuan kreativitas, kolaborasi, komunikasi, serta kompetensi gambar 3D mahasiswa (Nuryanto et al., 2025). Studi lain pada konteks gambar teknik vokasi juga menunjukkan peningkatan capaian belajar dan penguasaan kompetensi melalui PBL terintegrasi CAD (Fauzansyah et al., 2025).
Sintesis tematik menunjukkan bahwa desain PjBL berbasis CAD yang efektif umumnya memiliki karakteristik:

1. proyek berbasis kebutuhan nyata (misalnya komponen mesin atau bangunan sederhana),
 2. *milestone* berjenjang (sketsa–proyeksi–model–gambar kerja–plot), dan
 3. rubrik performa yang menilai kualitas produk sekaligus proses kerja (Merzdorf et al., 2024).
- b. *Case method* dan e-modul interaktif
- Case method* relevan dalam pembelajaran CAD karena menggeser fokus dari penguasaan perintah perangkat lunak ke kemampuan menyelesaikan kasus gambar kerja. Pengembangan e-modul AutoCAD berbasis *case method* pada mata kuliah pemodelan konstruksi gedung bertingkat menunjukkan tingkat kelayakan yang tinggi berdasarkan penilaian ahli dan respons mahasiswa (Budi et al., 2025). Pendekatan ini sejalan dengan arah pendidikan vokasi yang menekankan pemecahan masalah autentik dan kesiapan kerja (UNESCO-UNEVOC, 2025; Yang, 2024).
- c. Multimedia interaktif dan *microlearning*
- Desain multimedia yang baik dapat meningkatkan hasil belajar dan mengelola beban kognitif, tetapi efektivitasnya sangat bergantung pada penerapan prinsip desain instruksional seperti segmentasi, koherensi, dan minimisasi redundansi (Noetel et al., 2022). Pengembangan multimedia interaktif AutoCAD berbasis *Articulate Storyline* mencerminkan tren pemanfaatan media interaktif untuk mendukung latihan prosedural (Busono et al., 2025). Selain itu, *microlearning* melalui video pendek juga berkembang, seperti pemanfaatan platform TikTok sebagai media tutorial AutoCAD di SMK (Septiantoro & Widaningsih, 2022). Namun, pendekatan ini memerlukan *instructional alignment* yang kuat agar konten tidak bersifat fragmentaris, melainkan tersusun sebagai rangkaian latihan berjenjang sesuai kompetensi.
- d. AR/XR sebagai jembatan pemahaman 2D–3D
- AR terbukti efektif ketika diposisikan sebagai jembatan konseptual, bukan sekadar inovasi teknologi. Studi EDINAR menunjukkan pengaruh AR terhadap performa belajar *engineering drawing* (Tiwari et al., 2024b) serta hubungannya dengan visualisasi spasial dan beban kognitif (Tiwari et al., 2024a). Review sistematis AR di pendidikan teknik memperkuat temuan tersebut sekaligus menekankan perlunya desain pembelajaran yang lebih matang (Suhail et al., 2024). Dalam konteks *engineering graphics*, AR juga berkontribusi dalam memperkaya representasi grafis (Ivanov et al., 2024) dan mendukung pembelajaran yang lebih inklusif (Sun et al., 2024).
- #### 4. Asesmen Kompetensi Gambar Teknik dalam Konteks CAD (Tema T3)
- a. Rubrik unjuk kerja dan metrik kualitas gambar
- Kompetensi gambar teknik tidak memadai jika hanya diukur melalui tes objektif. Review tentang asesmen sketsa dalam pendidikan teknik menunjukkan bahwa metrik yang paling sering digunakan meliputi akurasi, perspektif, kualitas garis, anotasi, dan estetika (Merzdorf et al., 2024). Dalam konteks CAD, metrik tersebut dapat diterjemahkan ke dalam rubrik yang menilai:
- a. ketepatan geometri dan proyeksi,
 - b. ketepatan dimensi dan toleransi,
 - c. kepatuhan terhadap standar (ISO/ASME/SNI sesuai konteks),
 - d. keterbacaan layout, pengelolaan layer, jenis garis, dan anotasi,
 - e. efisiensi proses kerja (manajemen file, penamaan, *revision control*), serta
 - f. kualitas pengambilan keputusan desain pada tugas PBL/PjBL.
- b. Asesmen spasial sebagai diagnosis awal
- Scoping review tentang asesmen spasial menekankan pentingnya pemilihan instrumen yang selaras dengan tujuan pembelajaran dan konteks pendidikan (McNea et al., 2025). Hubungan antara kemampuan spasial dan performa akademik pada bidang teknik dan arsitektur juga telah dikonfirmasi (Porat et al., 2024). Oleh karena itu, asesmen spasial sederhana pada tahap awal pembelajaran dapat berfungsi sebagai diagnosis untuk menentukan kebutuhan *scaffolding*, seperti latihan proyeksi bertahap atau dukungan AR.

5. Faktor Penentu Keberhasilan Implementasi (Tema T4)

- a. Kompetensi guru: TPVK/TPACK, kompetensi digital, dan AI-TPACK
Keberhasilan implementasi CAD sangat bergantung pada kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi, pedagogi, dan konten. Studi tentang TPVK (varian TPACK untuk pendidikan vokasi) menunjukkan bahwa kesiapan guru vokasi di Indonesia masih memerlukan penguatan, terutama pada komponen integrasi teknologi dengan pedagogi vokasional (Rahmawati, 2021). Tantangan kompetensi digital juga dipengaruhi oleh faktor eksternal (akses perangkat dan internet, pelatihan) dan faktor internal (keyakinan serta kepercayaan diri guru) (Rahmawati et al., 2025). Adopsi e-learning oleh guru vokasi dipengaruhi oleh faktor-faktor dalam *Technology Acceptance Model* (TAM), khususnya persepsi kemanfaatan dan kemudahan penggunaan (Rahmat et al., 2025). Dalam konteks perkembangan teknologi terkini, pengukuran AI-TPACK pada guru vokasi menunjukkan arah baru integrasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran, yang relevan mengingat ekosistem CAD semakin terhubung dengan otomasi dan AI (Setiyawan et al., 2025).
- b. Infrastruktur, lisensi, dan akses
Ketersediaan perangkat dan lisensi perangkat lunak memengaruhi intensitas serta kualitas latihan CAD. Program akses pendidikan dari penyedia perangkat lunak dapat menjadi solusi (Autodesk, 2025a; 2025b), namun tetap memerlukan kesiapan infrastruktur sekolah serta dukungan kebijakan institusional.
- c. Beban kognitif dan desain instruksional
Cognitive Load Theory (CLT) sangat relevan dalam pembelajaran CAD karena kompleksitas perangkat lunak berpotensi meningkatkan *extraneous load* jika instruksi tidak terstruktur. Editorial dan *special issue* tentang tren CLT menekankan pentingnya inovasi desain instruksional dan pengelolaan kompleksitas materi (Ouwehand et al., 2025). Selain itu, overview review multimedia menunjukkan bahwa penerapan prinsip desain multimedia berpengaruh signifikan terhadap hasil belajar dan beban kognitif (Noetel et al., 2022). Dengan demikian, modul dan video pembelajaran CAD perlu dirancang dengan segmentasi yang jelas, *worked examples*, serta urutan fitur dari tingkat dasar ke lanjutan.

Secara keseluruhan, sintesis tematik menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis Computer-Aided Design (CAD) berkontribusi signifikan terhadap penguasaan kompetensi gambar teknik di pendidikan vokasi ketika diimplementasikan secara terarah dan terintegrasi. Dampak positif CAD tampak pada peningkatan akurasi dan konsistensi elemen gambar, efisiensi proses drafting, penguatan visualisasi spasial dan pemahaman proyeksi, serta peningkatan kesiapan kerja melalui keselarasan dengan praktik industri berbasis CAD–BIM. Efektivitas tersebut diperkuat oleh penerapan strategi pedagogik aktif seperti Project-Based Learning, Problem-Based Learning, dan case method yang menempatkan CAD sebagai alat pemecahan masalah autentik, bukan sekadar perangkat lunak menggambar. Selain itu, asesmen berbasis rubrik unjuk kerja terbukti lebih valid dalam mengukur kompetensi gambar teknik dibandingkan tes objektif, sementara asesmen spasial awal berfungsi sebagai diagnosis untuk menentukan kebutuhan scaffolding pembelajaran. Di sisi lain, keberhasilan implementasi pembelajaran CAD sangat dipengaruhi oleh kompetensi guru dalam mengintegrasikan pedagogi, teknologi, dan konten, ketersediaan infrastruktur serta lisensi perangkat lunak, dan desain instruksional yang sadar beban kognitif. Sintesis lintas tema ini menjadi dasar perumusan kerangka konseptual dan kerangka implementasi pembelajaran CAD yang disajikan pada bagian berikutnya.

Sintesis lintas tema selanjutnya diintegrasikan ke dalam sebuah kerangka konseptual untuk menjelaskan keterkaitan antara konteks, proses pembelajaran, dan luaran kompetensi gambar teknik berbasis CAD. Kerangka konseptual tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kerangka Konseptual Peran Pembelajaran CAD terhadap Kompetensi Gambar Teknik (2021–2025)

Komponen	Dimensi Utama	Deskripsi	Rujukan Kunci
Input (Konteks)	Kebutuhan industri CAD–BIM	Tuntutan kompetensi gambar teknik yang selaras dengan workflow dokumentasi digital dan BIM	NATSPEC (2021, 2025); Papuraj et al. (2025)
	Kompetensi guru	Integrasi pedagogi, teknologi, dan konten (TPVK/TPACK), kompetensi digital, serta faktor penerimaan teknologi (TAM)	Rahmawati (2021); Rahmat et al. (2025); Rahmawati et al. (2025)
	Infrastruktur & lisensi	Ketersediaan perangkat keras, perangkat lunak, dan akses lisensi pendidikan CAD	Autodesk (2025a, 2025b)
Proses (Pembelajaran)	Strategi pedagogik	PjBL/PBL dan <i>case method</i> untuk menempatkan CAD sebagai alat pemecahan masalah autentik	Nuryanto et al. (2025); Budi et al. (2025)
	Media pembelajaran	E-modul, multimedia interaktif, dan <i>microlearning</i> untuk latihan prosedural berjenjang	Busono et al. (2025); Septiantoro & Widaningsih (2022)
	Teknologi pendukung	AR/XR sebagai jembatan konseptual pemahaman representasi 2D–3D	Tiwari et al. (2024a, 2024b); Suhail et al. (2024)
	Desain instruksional	Desain pembelajaran sadar beban kognitif (<i>CLT-aware</i>) melalui segmentasi dan <i>worked examples</i>	Ouwehand et al. (2025); Noetel et al. (2022)
	Asesmen pembelajaran	Rubrik unjuk kerja CAD dan asesmen spasial diagnostik	Merzdorf et al. (2024); McNea et al. (2025)
Output (Kompetensi)	Kualitas produk gambar teknik	Akurasi geometri, ketepatan dimensi, kepatuhan standar, dan keterbacaan layout	Merzdorf et al. (2024); Pujiastuti et al. (2025)
	Visualisasi spasial	Pemahaman proyeksi dan representasi 2D–3D	Gutiérrez de Ravé et al. (2025); Tiwari et al. (2024a)
	Kesiapan kerja	Keselarasan kompetensi dengan workflow industri CAD–BIM	Koziar et al. (2025); NATSPEC (2025)
	Motivasi & engagement	Peningkatan keterlibatan belajar melalui media interaktif dan AR	Suhail et al. (2024); Septiantoro & Widaningsih (2022)

Untuk menjembatani temuan konseptual dengan praktik pembelajaran, artikel ini mengusulkan kerangka implementasi pembelajaran CAD yang dapat diterapkan pada pendidikan vokasi dan SMK. Kerangka implementasi tersebut dirangkum pada Tabel 4 sebagai panduan praktis bagi guru dan pengembang kurikulum.

Tabel 4. Kerangka Implementasi Pembelajaran CAD untuk SMK/Pendidikan Vokasi

Tahap	Komponen Implementasi	Uraian Singkat	Rujukan
1	Pemetaan kompetensi	Identifikasi kompetensi inti gambar teknik: standar gambar, proyeksi, dimensi–toleransi, layout/plotting, serta manajemen file dan revisi	Koziar et al. (2025)
2	Diagnostik awal	Tes konsep proyeksi dasar dan asesmen spasial ringan untuk menentukan kebutuhan <i>scaffolding</i>	McNea et al. (2025); Porat et al. (2024)

3	Desain CLT-aware	Modul ringkas dan video tersegmentasi dengan urutan <i>worked example</i> → <i>completion task</i> → <i>independent practice</i>	Ouwehand et al. (2025); Noetel et al. (2022)
4	Tugas autentik PjBL/PBL	Proyek komponen/produk/bagian bangunan dengan <i>milestone</i> jelas dan konteks industri	Nuryanto et al. (2025); Hidayat (2025)
5	Media multi-format	Integrasi e-modul <i>case method</i> , multimedia interaktif, dan <i>microlearning</i>	Budi et al. (2025); Busono et al. (2025); Septiantoro & Widaningsih (2022)
6	Asesmen berbasis rubrik	Penilaian kualitas gambar, efisiensi proses, refleksi belajar, serta asesmen spasial lanjutan	Merzdorf et al. (2024); McNea et al. (2025)

B. Pembahasan

1. CAD efektif untuk kompetensi gambar teknik vokasi

Sintesis menunjukkan tiga mekanisme dominan. Pertama, representasi visual kaya yaitu CAD memudahkan manipulasi tampilan dan verifikasi geometri sehingga mendukung transisi 2D–3D (Koziar et al., 2025; Gutiérrez de Ravé et al., 2025). Kedua, umpan balik cepat dan revisi iteratif yakni revisi dimensi/annotasi lebih efisien sehingga porsi latihan meningkat dan fokus berpindah ke kualitas komunikasi teknis (Pujiastuti et al., 2025; Busono et al., 2025). Ketiga, keselarasan praktik industri yakni CAD/BIM menjadi prasyarat literasi kerja di banyak sektor; laporan NATSPEC menegaskan perkembangan dan kebutuhan penguatan BIM/CAD dalam pendidikan (NATSPEC, 2021, 2025; Papuraj et al., 2025).

2. CAD tidak otomatis meningkatkan kompetensi: peran desain instruksional

Tanpa desain bertahap, CAD dapat meningkatkan *extraneous cognitive load*. Prinsip CLT menekankan pengelolaan kompleksitas materi dan urutan penyajian (Ouweland et al., 2025). Overview review multimedia juga menekankan bahwa desain yang buruk (mis. instruksi tumpang tindih, redundansi teks–visual, tanpa segmentasi) dapat menurunkan efektivitas (Noetel et al., 2022). Karena itu, modul/video CAD harus disusun *competency-aligned*, tersegmentasi, dan memanfaatkan *worked examples*.

3. AR/XR efektif jika “konseptual”, bukan kosmetik

AR paling kuat untuk konsep proyeksi, irisan, dan interpretasi 2D–3D. Namun, AR dapat menambah beban kognitif jika antarmuka kompleks atau aktivitas tidak terarah (Tiwari et al., 2024a). Review sistematis menunjukkan AR meningkatkan visualisasi dan motivasi, tetapi menuntut desain pedagogik matang (Suhail et al., 2024). Dengan demikian, AR sebaiknya dipakai selektif pada “titik sulit” dalam kurikulum.

4. Implikasi asesmen: rubrik performa + diagnosis spasial

Rubrik unjuk kerja perlu menilai kualitas output dan proses kerja CAD. Temuan metrik asesmen sketsa memberi dasar indikator rubrik (Merzdorf et al., 2024). Asesmen spasial direkomendasikan sebagai diagnosis awal untuk personalisasi *scaffolding* (McNea et al., 2025; Porat et al., 2024).

5. Implikasi bagi Guru dan Pendidikan Vokasi

Temuan tinjauan ini memberikan sejumlah implikasi praktis bagi pengembangan pembelajaran gambar teknik di pendidikan vokasi. Pertama, guru disarankan memposisikan CAD bukan sekadar sebagai alat menggambar digital, melainkan sebagai sarana untuk melatih komunikasi teknis dan pemecahan masalah melalui tugas autentik berbasis konteks industri. Kedua, desain pembelajaran perlu memperhatikan prinsip *cognitive load theory* dengan menyusun materi secara bertahap, memanfaatkan *worked examples*, serta mengintegrasikan multimedia yang tersegmentasi. Ketiga, penggunaan teknologi pendukung seperti *augmented reality* sebaiknya difokuskan pada konsep-konsep sulit, khususnya visualisasi proyeksi dan representasi 2D–3D. Keempat, asesmen kompetensi gambar teknik perlu mengutamakan rubrik unjuk kerja yang menilai kualitas produk dan proses kerja CAD secara holistik. Secara institusional, hasil kajian ini menegaskan pentingnya penguatan kompetensi guru, penyediaan akses lisensi perangkat lunak, serta kebijakan pendukung agar implementasi pembelajaran CAD di SMK dan pendidikan vokasi dapat berjalan efektif dan berkelanjutan.

6. Keterbatasan

Tinjauan ini membatasi publikasi 2021–2025 dan menekankan sumber terbuka/metadata jelas; karena itu studi berbayar atau yang tidak mudah ditelusuri mungkin tidak tercakup. Selain itu, variasi konteks (SMK, perguruan tinggi vokasi, teknik umum) membuat generalisasi perlu dilakukan dengan mempertimbangkan fasilitas dan kurikulum lokal.

SIMPULAN

Literatur 2021–2025 menunjukkan pembelajaran berbasis CAD berperan kuat dalam meningkatkan penguasaan kompetensi gambar teknik di pendidikan vokasi, khususnya akurasi gambar, pemahaman proyeksi standar, visualisasi spasial, serta kesiapan kerja melalui keselarasan dengan praktik industri. Efektivitas tertinggi terjadi saat CAD diintegrasikan dengan strategi tugas autentik (PBL/PjBL, *case method*), didukung multimedia yang dirancang baik, dan dikelola dengan prinsip beban kognitif. Keberhasilan implementasi bergantung pada kompetensi guru (TPVK/TPACK, kompetensi digital, penerimaan teknologi), ketersediaan infrastruktur lisensi, serta asesmen unjuk kerja berbasis rubrik yang valid dan diagnosis spasial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak yang sudah berkontribusi dalam penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- Antonietti, C., Stefanini, A., & Marchetti, A. (2022). Can teachers' digital competence influence technology acceptance in educational contexts? *Computers in Human Behavior*, 132, 107266. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107266>
- Autodesk. (2024). *Learn Fusion for CAM in 90 minutes*. <https://www.autodesk.com>
- Autodesk. (2025a). *Autodesk student access to education downloads*. <https://www.autodesk.com>
- Autodesk. (2025b). *Autodesk Fusion: Free software for students and educators*. <https://www.autodesk.com>
- Budi, L., Julianto, E. N., Mayasari, R., Istianah, Husain, C. S. A., & Ar-Rafi, F. D. (2025). Development of interactive e-module for AutoCAD learning based on case method in the multi-storey building construction modeling course. In *Proceedings of the 6th Vocational Education International Conference (VEIC 2024)* (pp. 105–111). Atlantis Press.
- Busono, T., Mardiana, R., & Pertiwi, F. A. (2025). Development of interactive multimedia learning based on Articulate Storyline for AutoCAD learning in basic vocational subjects at vocational high school. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 8(3), 182–197. <https://doi.org/10.24036/jptk.v8i3.45823>
- Chiu, T. K. F., et al. (2025). Developing intelligent-TPACK (I-TPACK) framework in the era of AI. *Interactive Learning Environments*.
- De Cassai, A., Pasin, L., & Boscolo, A. (2025). Methodological standards for conducting high-quality systematic reviews. *Biology*, 14(8), 973. <https://doi.org/10.3390/biology14080973>
- Doan, D. T., Atencio, E., Muñoz La Rivera, F., & Alnajjar, O. (2025). A systematic literature review of building information modelling (BIM) and offsite construction (OSC) integration: Emerging technologies and future trends. *Applied Sciences*, 15(18), 9981. <https://doi.org/10.3390/app15189981>
- EQUATOR Network. (2025). *PRISMA 2020 reporting guideline entry and checklists*. <https://www.equator-network.org>
- Fauzansyah, T. A., Edyan, R., & Hakiki, M. (2025). Project based Learning Integrated with CAD Software to Improve Technical Drawing Skills. *Juwara: Jurnal Wawasan Dan Aksara*, 5(1), 115–125. <https://doi.org/10.58740/juwara.v5i1.406>
- Farkhan, R. (2025). Development of job sheet in technical drawing subject to improve learning outcomes. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin (Undiksha)*.
- Gutiérrez de Ravé, S., Gutiérrez de Ravé, E., & Jiménez-Hornero, F. J. (2025). Integrating CAD and orthographic projection in descriptive geometry education: A comparative analysis with Monge's system. *Education Sciences*, 15(11), 1492. <https://doi.org/10.3390/educsci15111492>

- Hagan, D. E., Aryanti, T., & Saleh, I. (2025). Trends of BIM integration in construction education: A bibliometric-based visualization analysis. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 10(1), 125–136. <https://doi.org/10.30822/arteks.v10i1.3763>
- Hidayat, H. R. (2025). Effect of project-based learning on vocational high school students' learning outcomes in CAD/technical drawing concepts. *IDEGURU: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, 10(1), 2269-2274. <https://doi.org/10.51169/ideguru.v10i3.2163>
- Ivanov, V., Pavlenko, I., Evtuhov, A., & Trojanowska, J. (2024). Augmented reality for engineering graphics. In *Springer Tracts in Mechanical Engineering*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-44641-2>
- Kala, N. (2023). Effect of instructional design based on cognitive load on understanding subjects with different element interactivity levels. *Australasian Journal of Educational Technology*, 39(4), 468-489. <https://doi.org/10.36681/tused.2023.027>
- Koziar, M., Hubal, H., Burchak, I., Botviniev, M., & Saveliev, D. (2025). The impact of CAD software on the teaching of engineering graphics: A systematic review. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 13(1), 17-39. <https://doi.org/10.21533/pen.v13.i1.278>
- Martinez, E. C., et al. (2025). A comprehensive guide to conduct a systematic review and meta-analysis in medical research. *Journal of Clinical Medicine*, 14(3), xxx. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000041868>
- McNea, M., Tanner, D., Lane, D., & Cole, R. (2025). A focused look at spatial assessment in technology and engineering education: A systematic scoping review. *European Journal of Engineering Education*. <https://doi.org/10.1080/03043797.2025.2572027>
- Merzdorf, H. E., Weaver, M., Jaison, D., et al. (2024). Sketching assessment in engineering education: A systematic literature review. *Journal of Engineering Education*, 113(2), 345–368. <https://doi.org/10.1002/jee.20560>
- NATSPEC. (2021). *BIM education – Global 2021 update report* (Version 8.0). NATSPEC Construction Information.
- NATSPEC. (2025). *BIM education – Global 2025 update report* (Version 12.0). NATSPEC Construction Information.
- Noetel, M., Griffith, S., Delaney, O., Sanders, T., & Parker, P. (2022). Multimedia design for learning: An overview of reviews with meta-meta-analysis. *Review of Educational Research*, 92(3), 413–456. <https://doi.org/10.3102/003465432210818>
- Nuryanto, A., Ngadiyono, Y., & Widodo, S. F. A. (2025). Implementation of project-based learning in CAD education to support machine design drawing skills (Autodesk Fusion 360). In *Proceedings of the International Conference on Engineering Innovation (ICEI 2024)*. Atlantis Press.
- Ouwehand, K., Lespiau, F., Tricot, A., & Paas, F. (2025). Cognitive load theory: Emerging trends and innovations. *Education Sciences*, 15(4), 458. <https://doi.org/10.3390/educsci15040458>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Papuraj, X., et al. (2025). Integrating building information modelling (BIM) into construction project management curricula: A systematic literature review. *Buildings*, 15(1), 130. <https://doi.org/10.3390/buildings15010130>
- Porat, R., et al. (2024). The role of spatial ability in academic success. *Education Sciences*, 14(11), 1237. <https://doi.org/10.3390/educsci14111237>
- Pujiastuti, E., Rofi'i, R., & Suhari, S. (2025). Development of AutoCAD 2D learning media with the ADDIE model. *Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 6(1), 396–414.

- Rahmat, R. E., Hadi, S., Syafmaini, I. E., et al. (2025). Factors influencing vocational teachers' e-learning adoption: A technology acceptance model approach. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 15(2). <https://doi.org/10.21831/jpv.v15i2.86375>
- Rahmawati, A. (2021). Vocational teachers' perspective toward technological pedagogical vocational knowledge (TPVK) for 21st century learning. *Open Engineering*, 11, 40–50. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0040>
- Rahmawati, S., Prestridge, S., Abdullah, A. G., & Widiaty, I. (2025). Unpacking the digital competence challenge in vocational education: A case from Indonesia. *Social Sciences & Humanities Open*, 9, 100655. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.100655>
- Randles, R., & Finnegan, A. (2023). Guidelines for writing a systematic review. *Nurse Education Today*, 125, 105803. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2023.105803>
- Setiyawan, A., Soeharto, S., & Wijaya, T. T. (2025). Measuring teachers' competencies for AI integration: Development and validation of the AI-TPACK in vocational education. *Computers and Education Open*, 9, 100319. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100319>
- Shehata, N., et al. (2025). Conducting a high-quality systematic review: Steps from protocol to reporting. *The Journal of Rheumatology*, 52(7), 636–644.
- Smith, V., Smith, A., Carroll, L., et al. (2025). Quality appraisal tools used in qualitative evidence syntheses of maternity care research: A scoping review. *Midwifery*, 148, 104479. <https://doi.org/10.1016/j.midw.2025.104479>
- Suhail, N., Bahroun, Z., & Ahmed, V. (2024). Augmented reality in engineering education: Enhancing learning and application. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1461145. <https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1461145>
- Sun, L., Chandramouli, M., & Chew, K. J. (2024). Augmented reality: Bridging the inclusivity gap in engineering graphics education through spatial skills enhancement. In *ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*.
- Septiantoro, R., & Widaningsih, L. (2022). The development of AutoCAD tutorial video using TikTok as learning media. In *Proceedings of the International Conference on Innovation in Education (ICIEVE 2021)*. Atlantis Press.
- Tiwari, A. S. ., & Bhagat, K. K. (2024). Comparative Analysis of Augmented Reality in Engineering Drawing Course: Assessing Spatial Visualization and Cognitive Load with Marker-Based, Markerless, and Web-Based Approaches. *Australasian Journal of Educational Technology*, 40(6), 19–36. <https://doi.org/10.14742/ajet.9217>
- Tiwari, A. S., Bhagat, K. K., & Lampropoulos, G. (2024). Designing and evaluating an augmented reality system for an engineering drawing course. *Smart Learning Environments*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00289-z>
- Tiwari, A. S., Rao, T. S. S., Mitra, U., & Bhagat, K. K. (2024). Acceptance of an augmented reality application in an engineering drawing course. In Z. Altinay, M. Chang, R. Kuo, & A. Tlili (Eds.), *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2024)* (pp. 227–228). IEEE
- UNESCO-UNEVOC. (2025). *Digital transformation in global TVET: Policy priorities and strategies*. UNESCO-UNEVOC.
- Wong, P., & Abbasnejad, B. (2025). A systematic review of criteria influencing BIM and immersive technologies integration. *ITcon*, 30, 243-297, <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2025.011>
- Yang, X., & Wu, W. (2024). Advancing digital transformation in TVET through international cooperation: Approaches by the UNESCO Chair on Digitalization in TVET. *Vocation, Technology & Education*, 1(2). <https://doi.org/10.54844/vte.2024.0585>