

IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN MENDALAM MELALUI PROJECT-BASED LEARNING YANG DIDUKUNG AI-BASED MICROLEARNING TERHADAP HASIL BELAJAR TEKNIK KOMPUTER DAN JARINGAN PADA MATERI SERANGAN SIBER KELAS XI SMK MUHAMMADIYAH 1 PEKANBARU

Syantia Artinda¹, Melly Novalia², Edi Ismanto³

Program Studi Pendidikan Informatika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muammadiyah Riau^{1,2,3}

e-mail: syantiaartinda@gmail.com¹, mellynovalia@umri.ac.id², edi.ismanto@umri.a.id³

Diterima: 24/08/2026; Direvisi: 29/09/2026; Diterbitkan: 13/10/2026

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh rendahnya hasil belajar peserta didik pada materi serangan siber di kelas XI Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ) SMK Muhammadiyah 1 Pekanbaru. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan implementasi Pembelajaran Mendalam melalui model *Project-Based Learning* (PjBL) berbantuan *AI-Based Microlearning* serta menganalisis perubahan hasil belajar peserta didik setelah penerapan pembelajaran tersebut. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pra-eksperimen dan desain *One Group Pretest-Posttest Design*. Subjek penelitian berjumlah 25 peserta didik kelas XI TKJ. Data dikumpulkan melalui tes hasil belajar, penilaian produk, penilaian presentasi, dan dokumentasi. Data dianalisis menggunakan uji normalitas, *Paired Sample t-Test*, N-Gain, dan ukuran efek menggunakan Cohen's d. *AI-Based Microlearning* digunakan sebagai penguatan konsep dengan menyajikan materi singkat mengenai jenis, karakteristik, dampak, dan pencegahan serangan siber sebelum peserta didik melakukan analisis kasus, diskusi kelompok, serta menyelesaikan proyek berupa poster edukasi dan presentasi. Hasil penilaian produk poster sebesar 88,3% dan presentasi sebesar 90,3%, keduanya berkategori sangat baik. Kedua hasil tersebut menggambarkan capaian peserta didik dalam aktivitas proyek dan tidak digunakan sebagai satu-satunya indikator keterlaksanaan keseluruhan pembelajaran. Rata-rata hasil belajar meningkat dari 61,46 pada pretest menjadi 83,39 pada posttest. Hasil *Paired Sample t-Test* menunjukkan perbedaan yang signifikan antara skor pretest dan posttest ($p < 0,001$). Nilai rata-rata N-Gain sebesar 0,569 berada pada kategori sedang, sedangkan Cohen's d sebesar 1,43 menunjukkan ukuran efek yang besar. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan Pembelajaran Mendalam melalui PjBL berbantuan *AI-Based Microlearning* berkaitan dengan peningkatan hasil belajar peserta didik; namun, peningkatan tersebut belum dapat sepenuhnya diatribusikan pada perlakuan karena penelitian tidak menggunakan kelompok kontrol. Integrasi ketiga pendekatan tersebut dapat menjadi alternatif strategi pembelajaran TKJ yang kontekstual dan berorientasi pada pemecahan masalah.

Kata kunci: *Pembelajaran Mendalam, Project-Based Learning, AI-Based Microlearning, Hasil Belajar, Serangan Siber.*

ABSTRACT

This study was motivated by the low learning outcomes of students in the cyberattack topic in the 11th-grade Computer and Network Engineering (TKJ) class at SMK Muhammadiyah 1 Pekanbaru. This study aimed to describe the implementation of Deep Learning through the

Project-Based Learning (PjBL) model supported by *AI-Based Microlearning* and to analyze changes in students' learning outcomes after the implementation of the learning approach. The study employed a quantitative approach using a pre-experimental method with a *One Group Pretest-Posttest Design*. The participants consisted of 25 students from the 11th-grade TKJ class. Data were collected through learning outcome tests, product assessments, presentation assessments, and documentation. The data were analyzed using normality tests, the *Paired Sample t-Test*, N-Gain, and effect size analysis using Cohen's d. *AI-Based Microlearning* was used as conceptual reinforcement by presenting concise learning materials on the types, characteristics, impacts, and prevention of cyberattacks before students conducted case analyses, participated in group discussions, and completed projects in the form of educational posters and presentations. The product assessment score for the posters was 88.3%, while the presentation assessment score was 90.3%, both categorized as very good. These scores reflected students' achievement in project activities and were not used as the sole indicators of the overall implementation of the learning process. The mean learning outcome score increased from 61.46 in the pretest to 83.39 in the posttest. The *Paired Sample t-Test* showed a significant difference between the pretest and posttest scores ($p < 0.001$). The mean N-Gain score was 0.569, categorized as moderate, while Cohen's d of 1.43 indicated a large effect size. These findings indicate that the implementation of Deep Learning through PjBL supported by *AI-Based Microlearning* was associated with improved student learning outcomes; however, the improvement cannot be fully attributed to the intervention because the study did not employ a control group. The integration of these three approaches may serve as an alternative strategy for contextual and problem-solving-oriented learning in Computer and Network Engineering.

Keywords: *Deep Learning; Project-Based Learning; AI-Based Microlearning; Learning Outcomes; Cyberattacks.*

PENDAHULUAN

Perkembangan transformasi digital telah mengubah kebutuhan kompetensi lulusan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), khususnya pada bidang Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ). Peserta didik tidak lagi hanya dituntut menguasai pengetahuan konseptual, tetapi juga memiliki kemampuan berpikir kritis, memecahkan masalah, berkolaborasi, dan beradaptasi terhadap perkembangan teknologi informasi. Salah satu kompetensi yang semakin penting adalah keamanan siber (cybersecurity) mengingat meningkatnya ancaman digital yang berdampak pada berbagai sektor kehidupan. Oleh karena itu, pembelajaran pada materi serangan siber harus dirancang secara kontekstual agar mampu membekali peserta didik dengan kompetensi yang sesuai dengan kebutuhan dunia kerja dan perkembangan industri digital (Agustian & Arafat, 2021; Arsyad et al., 2024).

Namun, pembelajaran cybersecurity pada tingkat SMK masih menghadapi tantangan dalam menghubungkan konsep teoritis dengan penerapan praktis. Materi serangan siber memiliki karakteristik yang kompleks karena mencakup berbagai jenis ancaman, mekanisme serangan, dampak keamanan, serta strategi mitigasi yang memerlukan kemampuan analisis. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru mata pelajaran Teknik Komputer dan Jaringan di SMK Muhammadiyah 1 Pekanbaru, pembelajaran materi serangan siber masih didominasi oleh penyampaian teori sehingga peserta didik belum memperoleh pengalaman belajar yang melibatkan analisis kasus nyata dan penyelesaian masalah secara kontekstual. Kondisi tersebut berdampak terhadap pemahaman peserta didik mengenai jenis, karakteristik,

dampak, dan upaya pencegahan serangan siber. Hal ini diperkuat oleh hasil evaluasi awal yang menunjukkan bahwa hanya 26,9% peserta didik mencapai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM), sedangkan 73,1% peserta didik lainnya belum mencapai ketuntasan belajar. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara tuntutan kompetensi keamanan siber dalam pendidikan vokasi dengan proses pembelajaran yang masih berorientasi pada penyampaian materi.

Sejalan dengan implementasi Kurikulum Merdeka, Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*) menekankan *mindful learning*, *meaningful learning*, dan *joyful learning* untuk membangun pemahaman konseptual melalui keterlibatan aktif, analisis, evaluasi, dan refleksi (Feri, 2025; Syafi'i & Darnaningsih, 2025; Weng et al., 2023). Pendekatan ini relevan dengan materi serangan siber yang menuntut pemahaman terhadap jenis ancaman, dampak, dan strategi pencegahan. Untuk mendukung penerapannya, *Project-Based Learning* (PjBL) memberikan pengalaman belajar autentik melalui proyek berbasis masalah nyata serta dapat meningkatkan hasil belajar, keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan kesiapan kerja peserta didik vokasi (Nuralita et al., 2025; Fitri et al., 2025; Yusri et al., 2024). Namun, penelitian terdahulu umumnya masih menempatkan PjBL sebagai model utama dan belum secara khusus mengintegrasikan penguatan konsep berbasis AI dalam bentuk *microlearning* sebelum tahap analisis kasus dan penyelesaian proyek

Selain pemilihan model pembelajaran, penggunaan media inovatif juga penting untuk mendukung efektivitas pembelajaran. Perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) melahirkan berbagai inovasi, salah satunya adalah *AI-Based Microlearning*, yang dalam penelitian ini digunakan sebagai penguatan konsep melalui materi singkat dan terstruktur tentang jenis serangan siber, karakteristik ancaman, dampak, dan strategi pencegahan sebelum peserta didik memasuki aktivitas PjBL. Materi tersebut menjadi dasar untuk identifikasi masalah, analisis kasus, diskusi kelompok, pembuatan poster edukasi, dan presentasi. *AI-Based Microlearning* tidak diposisikan sebagai sistem yang secara otomatis mempersonalisasi atau mengadaptasi materi berdasarkan algoritme, melainkan sebagai dukungan teknologi berbasis AI untuk menyusun dan/atau menyajikan konten ringkas sebagai *conceptual scaffolding* bagi pemahaman awal peserta didik. Oleh karena itu, klaim “adaptif” atau “dipersonalisasi” tidak digunakan apabila tidak terdapat penyesuaian otomatis berdasarkan profil, respons, atau performa individual peserta didik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *AI-Based Microlearning* dapat mendukung pemahaman konsep, performa akademik, dan pengalaman belajar (Aulia et al., 2025; Prasetyo et al., 2025; Kurniawan et al., 2025), namun dalam penelitian ini temuan tersebut digunakan sebagai dasar dukungan terhadap proses belajar, bukan sebagai bukti adanya personalisasi otomatis.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dirujuk dalam kajian ini, terdapat kecenderungan bahwa setiap pendekatan masih dibahas pada fokus yang berbeda. Penelitian mengenai Pembelajaran Mendalam lebih banyak menekankan keterlibatan kognitif, proses refleksi, dan pembangunan pemahaman secara bermakna (Feri, 2025; Syafi'i & Darnaningsih, 2025; Weng et al., 2023). Penelitian tentang PjBL lebih banyak berfokus pada aktivitas proyek, keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan kompetensi vokasional (Nuralita et al., 2025; Fitri et al., 2025; Yusri et al., 2024). Sementara itu, penelitian terkait AI dan *microlearning* lebih banyak menempatkan teknologi sebagai media atau dukungan pembelajaran untuk membantu penyajian materi, pengalaman belajar, dan pemahaman konsep (Aulia et al., 2025; Prasetyo et al., 2025; Kurniawan et al., 2025).

Copyright (c) 2026 SECONDARY: Jurnal Inovasi Pendidikan Menengah



Dengan demikian, *research gap* penelitian ini tidak hanya didasarkan pada pernyataan bahwa ketiga pendekatan tersebut “jarang digunakan bersama”. Berdasarkan karakteristik penelitian yang dirujuk, bukti empiris yang tersedia masih menunjukkan fokus yang relatif terpisah: Pembelajaran Mendalam berorientasi pada kedalaman proses kognitif dan refleksi; PjBL berorientasi pada penerapan pengetahuan melalui proyek autentik; sedangkan AI dan *microlearning* lebih banyak digunakan sebagai dukungan penyajian atau penguatan materi. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini belum menunjukkan rancangan pembelajaran yang secara eksplisit menempatkan AI-Based *Microlearning* sebagai tahap *conceptual scaffolding* sebelum aktivitas PjBL dan selanjutnya mengarahkan proses proyek tersebut berdasarkan prinsip Pembelajaran Mendalam, khususnya pada pembelajaran serangan siber di pendidikan vokasi. Dengan demikian, kesenjangan yang dikaji terletak pada konfigurasi pedagogis dan urutan fungsi ketiga komponen tersebut, bukan semata-mata pada keberadaan masing-masing pendekatan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada kombinasi tiga dimensi, yaitu desain pembelajaran, fungsi pedagogis AI-Based *Microlearning*, dan konteks penerapan pada materi serangan siber di pendidikan vokasi. AI-Based *Microlearning* ditempatkan sebagai tahap penguatan konsep sebelum aktivitas PjBL agar peserta didik memperoleh landasan konseptual sebelum menganalisis permasalahan autentik, sekaligus berfungsi sebagai *conceptual scaffolding* untuk mendukung identifikasi masalah, analisis kasus, dan pengembangan produk proyek. Secara operasional, pembelajaran dimulai dengan penguatan konsep melalui AI-Based *Microlearning*, dilanjutkan dengan identifikasi studi kasus, diskusi kelompok, pembuatan poster edukasi, presentasi, dan refleksi, sedangkan prinsip Pembelajaran Mendalam diwujudkan melalui aktivitas memahami konsep, mengaitkannya dengan kasus nyata, mengembangkan solusi, dan merefleksikan hasil pembelajaran. Implementasi pembelajaran dinilai melalui capaian aktivitas proyek, terutama kualitas poster dan presentasi, sementara hasil belajar diukur melalui perubahan skor pretest dan posttest, *Paired Sample t-Test*, N-Gain, dan ukuran efek. Karena penelitian menggunakan desain satu kelompok tanpa kelompok kontrol, hasil analisis diinterpretasikan sebagai perubahan hasil belajar setelah penerapan pembelajaran dan tidak digunakan untuk menyimpulkan hubungan sebab-akibat secara mutlak.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan implementasi Pembelajaran Mendalam melalui *Project-Based Learning* dengan dukungan AI-Based *Microlearning* serta menganalisis perubahan hasil belajar peserta didik pada materi serangan siber kelas XI Teknik Komputer dan Jaringan di SMK Muhammadiyah 1 Pekanbaru. Secara khusus, penelitian ini memosisikan AI-Based *Microlearning* sebagai penguatan konseptual sebelum aktivitas proyek, PjBL sebagai sarana penerapan konsep melalui pemecahan masalah autentik, dan Pembelajaran Mendalam sebagai kerangka yang mengarahkan peserta didik untuk memahami, menerapkan, serta merefleksikan pengetahuan yang dipelajari. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif strategi pembelajaran inovatif yang mendukung implementasi Kurikulum Merdeka, memperkuat kompetensi keamanan siber peserta didik, serta berkontribusi terhadap pengembangan pembelajaran vokasi berbasis teknologi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pra-eksperimen (*pre-experimental design*) melalui desain *One Group Pretest-Posttest Design* untuk

Copyright (c) 2026 SECONDARY: Jurnal Inovasi Pendidikan Menengah



<https://doi.org/10.51878/secondary.v6i1>

menganalisis perubahan hasil belajar peserta didik setelah penerapan Pembelajaran Mendalam melalui model *Project-Based Learning* (PjBL) berbantuan *AI-Based Microlearning* pada materi serangan siber. Pengukuran dilakukan melalui pretest sebelum perlakuan dan posttest setelah perlakuan, dan penelitian dilaksanakan di SMK Muhammadiyah 1 Pekanbaru pada semester genap tahun ajaran 2025/2026. Penggunaan desain satu kelompok memiliki beberapa ancaman validitas internal, yaitu *history*, *maturation*, *testing effect*, dan *instrumentation*. *History* berkaitan dengan kemungkinan adanya kejadian lain selama penelitian yang dapat memengaruhi hasil belajar; *maturation* berkaitan dengan perubahan alami peserta didik selama proses penelitian; *testing effect* dapat muncul karena peserta didik telah mengerjakan pretest sebelum posttest; sedangkan *instrumentation* berkaitan dengan kemungkinan perubahan prosedur pengukuran atau penskoran. Untuk meminimalkan ancaman tersebut, penelitian menggunakan indikator, instrumen, prosedur pelaksanaan, dan pedoman penskoran yang konsisten pada pretest dan posttest. Namun, karena tidak menggunakan kelompok kontrol, perubahan skor tidak dapat sepenuhnya diinterpretasikan sebagai akibat langsung dari perlakuan.

Subjek penelitian ini adalah 25 peserta didik kelas XI Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ) SMK Muhammadiyah 1 Pekanbaru yang dipilih menggunakan teknik sampling jenuh. Teknik tersebut digunakan karena seluruh anggota populasi pada kelas yang menjadi lokasi penelitian dijadikan sebagai sampel penelitian. Pemilihan subjek didasarkan pada pertimbangan bahwa peserta didik telah memiliki pengetahuan dasar komputer dan jaringan yang mendukung pembelajaran materi serangan siber. Peserta didik mengikuti seluruh rangkaian penelitian mulai dari pretest, implementasi Pembelajaran Mendalam melalui PjBL berbantuan *AI-Based Microlearning*, hingga posttest. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah implementasi Pembelajaran Mendalam melalui PjBL dengan dukungan *AI-Based Microlearning*, sedangkan variabel terikatnya adalah hasil belajar peserta didik yang diukur melalui tes hasil belajar. Penilaian produk dan presentasi digunakan untuk menggambarkan capaian peserta didik dalam aktivitas proyek, bukan sebagai pengukuran utama hasil belajar kognitif.

Prosedur penelitian dilaksanakan melalui tiga tahap utama, yaitu pretest, pemberian perlakuan, dan posttest. Pada tahap awal, peserta didik diberikan pretest untuk memperoleh gambaran kemampuan awal pada materi serangan siber sebelum mengikuti pembelajaran. Selanjutnya, peserta didik mengikuti Pembelajaran Mendalam menggunakan model PjBL yang didukung *AI-Based Microlearning*, dengan materi singkat mengenai jenis, karakteristik, dampak, dan pencegahan serangan siber digunakan sebagai penguatan konsep sebelum kegiatan proyek. Setelah memperoleh penguatan konsep, peserta didik melakukan identifikasi permasalahan, menganalisis studi kasus, berdiskusi dalam kelompok, membuat poster edukasi mengenai serangan siber, mempresentasikan hasil proyek, dan melakukan refleksi pembelajaran. Setelah seluruh rangkaian pembelajaran selesai, peserta didik diberikan posttest untuk mengetahui perubahan hasil belajar setelah mengikuti pembelajaran.

Instrumen penelitian terdiri atas tes hasil belajar, lembar penilaian produk, lembar penilaian presentasi, dan dokumentasi. Tes hasil belajar berbentuk soal uraian yang mengukur kemampuan mengidentifikasi jenis serangan, menjelaskan karakteristik ancaman, menganalisis dampak, dan menentukan strategi pencegahan serangan siber. Instrumen awal terdiri atas 20 butir soal yang diuji validitas menggunakan korelasi *Product Moment Pearson*, dengan hasil 11 butir valid dan 9 butir tidak valid; oleh karena itu, hanya 11 butir valid yang digunakan pada pretest dan posttest. Uji reliabilitas menggunakan Cronbach's Alpha karena setiap butir uraian

menghasilkan skor numerik yang dapat digunakan untuk mengukur konsistensi internal antarbutir, dengan hasil koefisien sebesar 0,795 yang menunjukkan instrumen reliabel. Penskoran setiap butir soal menggunakan rubrik skala 0–4, yaitu skor 4 untuk jawaban sangat tepat dan lengkap, skor 3 untuk jawaban tepat tetapi belum sepenuhnya lengkap, skor 2 untuk jawaban yang menunjukkan pemahaman sebagian, skor 1 untuk jawaban yang sangat terbatas, dan skor 0 untuk jawaban tidak relevan atau tidak dijawab. Rubrik mempertimbangkan ketepatan konsep, kelengkapan penjelasan, kemampuan analisis, dan ketepatan strategi pencegahan. Dengan 11 butir soal, skor maksimum adalah 44 dan selanjutnya dikonversi ke skala 0–100. Rubrik dan prosedur penskoran yang sama digunakan pada pretest dan posttest untuk menjaga konsistensi pengukuran.

Instrumen penilaian produk digunakan untuk menilai poster edukasi serangan siber yang dikembangkan berdasarkan hasil analisis kelompok terhadap kasus keamanan digital. Penilaian produk mencakup ketepatan konsep, relevansi informasi, kreativitas penyajian, dan sistematika penyampaian pesan, sedangkan instrumen presentasi menilai penguasaan materi, kemampuan komunikasi, penyampaian solusi, dan kemampuan menjawab pertanyaan. Hasil penilaian produk dan presentasi digunakan untuk menggambarkan capaian peserta didik dalam aktivitas proyek dan tidak diposisikan sebagai satu-satunya indikator keterlaksanaan keseluruhan pembelajaran. Dengan demikian, instrumen penelitian tidak hanya mengukur perubahan hasil belajar kognitif, tetapi juga memberikan gambaran mengenai kualitas produk dan kemampuan peserta didik dalam mengomunikasikan hasil proyek.

Analisis data dilakukan untuk mengetahui perubahan hasil belajar peserta didik setelah penerapan Pembelajaran Mendalam melalui PjBL berbantuan *AI-Based Microlearning*. Uji normalitas Shapiro-Wilk terlebih dahulu digunakan terhadap skor pretest dan posttest karena jumlah subjek penelitian sebanyak 25 peserta didik, dengan kriteria data berdistribusi normal apabila nilai signifikansi $> 0,05$. Jika asumsi normalitas terpenuhi, analisis dilanjutkan menggunakan *Paired Sample t-Test* pada taraf signifikansi 0,05 untuk menguji perbedaan skor sebelum dan sesudah pembelajaran, dengan nilai Sig. 0,000 dilaporkan sebagai $p < 0,001$. Analisis juga dilengkapi dengan N-Gain untuk menggambarkan tingkat peningkatan hasil belajar serta Cohen's d untuk menunjukkan besarnya perbedaan secara terstandar. Berdasarkan rata-rata pretest sebesar 61,46 dengan simpangan baku 18,74 dan rata-rata posttest sebesar 83,39 dengan simpangan baku 10,86, diperoleh Cohen's d sebesar 1,43 yang menunjukkan ukuran efek besar. Dengan demikian, *Paired Sample t-Test*, N-Gain, dan Cohen's d digunakan secara saling melengkapi untuk menunjukkan signifikansi perbedaan, tingkat peningkatan, dan besarnya perubahan hasil belajar, tetapi tidak digunakan untuk membuktikan hubungan sebab-akibat secara mutlak karena penelitian tidak melibatkan kelompok kontrol; oleh karena itu, hasil diinterpretasikan sebagai perubahan hasil belajar setelah penerapan pembelajaran pada kelompok yang diteliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil Uji Validitas Instrumen

Uji validitas dilakukan untuk mengetahui tingkat ketepatan setiap butir soal dalam mengukur hasil belajar peserta didik pada materi Serangan Siber. Pengujian menggunakan korelasi *Product Moment Pearson*. Kriteria pengujian menyatakan bahwa butir soal dinyatakan valid apabila nilai $r_{hitung} > r_{tabel}$ pada taraf signifikansi 5%.

Copyright (c) 2026 SECONDARY: Jurnal Inovasi Pendidikan Menengah

 <https://doi.org/10.51878/secondary.v6i1>

Tabel 1. Hasil Uji Validitas Instrumen

Jumlah Soal	Soal Valid	Soal Tidak Valid
20	11	9

Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian validitas menunjukkan bahwa instrumen penelitian telah melalui tahap evaluasi untuk memastikan kesesuaian setiap butir soal dengan indikator kompetensi yang diukur. Proses seleksi instrumen dilakukan untuk memperoleh butir soal yang mampu merepresentasikan kemampuan peserta didik pada materi serangan siber. Butir soal yang memenuhi kriteria validitas kemudian digunakan dalam pengukuran hasil belajar pada tahap pretest dan posttest. Dengan demikian, instrumen yang digunakan dalam penelitian telah memenuhi persyaratan awal sebagai alat pengumpulan data kemampuan kognitif peserta didik.

Hasil Uji Reliabilitas Instrumen

Uji reliabilitas dilakukan untuk mengetahui tingkat konsistensi instrumen dalam mengukur hasil belajar peserta didik. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa instrumen mampu memberikan hasil yang relatif tetap atau konsisten apabila digunakan pada kondisi yang sama. Dengan demikian, reliabilitas menjadi salah satu indikator penting dalam menentukan kelayakan instrumen sebagai alat pengumpulan data penelitian. Pengujian reliabilitas dilakukan menggunakan koefisien *Cronbach's Alpha*. Ringkasan hasil uji reliabilitas disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen

Instrumen	<i>Cronbach's Alpha</i>	Kategori
Pretest	0.795	Reliabel
Posttest	0.795	Reliabel

Berdasarkan Tabel 2, hasil uji reliabilitas menunjukkan bahwa instrumen penelitian memiliki tingkat konsistensi yang memadai dalam mengukur hasil belajar peserta didik. Konsistensi tersebut menunjukkan bahwa instrumen mampu memberikan hasil pengukuran yang relatif stabil ketika digunakan pada kondisi penelitian yang sama. Hal ini memperkuat kelayakan instrumen sebagai alat ukur untuk memperoleh data perubahan kemampuan peserta didik sebelum dan sesudah pembelajaran. Dengan adanya instrumen yang reliabel, hasil analisis terhadap peningkatan hasil belajar dapat dilakukan dengan tingkat kepercayaan yang lebih baik.

Implementasi Pembelajaran Mendalam melalui Project-Based Learning dengan Dukungan AI-Based Microlearning

Implementasi Pembelajaran Mendalam melalui *Project-Based Learning* (PjBL) dengan dukungan *AI-Based Microlearning* dilaksanakan melalui penguatan konsep, analisis studi kasus, diskusi kelompok, penyusunan poster edukasi, presentasi hasil proyek, dan refleksi. Penilaian aktivitas proyek mencakup produk poster dan presentasi. Produk poster memperoleh skor rata-rata 88,3% dengan kategori sangat baik, sedangkan presentasi memperoleh 90,3% dengan kategori sangat baik. Penilaian produk mencakup ketepatan konsep, relevansi informasi,

keaktivitas penyajian, dan sistematika penyampaian pesan, sedangkan penilaian presentasi meliputi penguasaan materi, kemampuan komunikasi, penyampaian solusi, dan kemampuan menjawab pertanyaan. Hasil tersebut menunjukkan capaian peserta didik dalam menghasilkan dan mengomunikasikan produk proyek, tetapi tidak digunakan sebagai satu-satunya indikator keterlaksanaan keseluruhan proses pembelajaran. Rekapitulasi hasil penilaian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Penilaian Produk dan Presentasi

Aspek Penilaian	Persentase (%)	Kategori
Produk Poster	88,3	Sangat Baik
Presentasi	90,3	Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 3, pelaksanaan pembelajaran berbasis proyek menunjukkan bahwa peserta didik mampu menyelesaikan aktivitas pembelajaran sesuai dengan tahapan yang telah dirancang. Hasil penilaian menunjukkan bahwa proyek yang dihasilkan dan kemampuan penyampaian hasil proyek telah memenuhi kriteria pembelajaran yang ditetapkan. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa peserta didik tidak hanya memahami konsep serangan siber, tetapi juga mampu mengaplikasikan pengetahuan tersebut dalam bentuk produk pembelajaran. Selain itu, kegiatan presentasi memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengembangkan kemampuan komunikasi dan menjelaskan solusi terkait permasalahan keamanan siber.

Hasil Belajar Peserta Didik

Hasil belajar peserta didik diperoleh melalui pelaksanaan pretest sebelum diberikan perlakuan dan setelah implementasi Pembelajaran Mendalam melalui *Project-Based Learning* dengan dukungan *AI-Based Microlearning*. Analisis deskriptif dilakukan untuk mengetahui perubahan hasil belajar peserta didik yang meliputi jumlah sampel, nilai minimum, nilai maksimum, rata-rata (*mean*), dan simpangan baku (*standard deviation*). Ringkasan hasil analisis disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Pretest dan Posttest

Keterangan	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Pre-Test	25	24,24	96,97	61,46	18,74
Post-Test	25	63,64	100	83,39	10,86

Berdasarkan Tabel 4, hasil pengukuran menunjukkan adanya perubahan capaian belajar peserta didik setelah mengikuti pembelajaran menggunakan Pembelajaran Mendalam melalui PjBL berbantuan *AI-Based Microlearning*. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa peserta didik mengalami perkembangan pemahaman setelah memperoleh pengalaman belajar melalui kombinasi aktivitas penguatan konsep dan penyelesaian proyek. Selain peningkatan kemampuan secara umum, hasil pengukuran juga menunjukkan perubahan distribusi nilai yang menggambarkan peningkatan pencapaian belajar peserta didik secara lebih merata. Temuan ini menjadi dasar untuk melakukan analisis lanjutan mengenai perbedaan hasil belajar sebelum dan sesudah penerapan pembelajaran.

Hasil Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil belajar peserta didik berdistribusi normal sebagai salah satu prasyarat sebelum dilakukan pengujian hipotesis menggunakan statistik parametrik. Data yang diuji meliputi nilai pretest dan posttest hasil belajar peserta didik pada materi Serangan Siber. Pengujian normalitas dilakukan menggunakan uji *Shapiro-Wilk*. Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi (Sig.) lebih besar dari 0,05. Ringkasan hasil uji normalitas disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas

Variabel	Sig.	Keterangan
Pretest	0.912	Normal
Posttest	0.101	Normal

Berdasarkan Tabel 5, hasil pengujian menunjukkan bahwa data hasil belajar memenuhi asumsi normalitas yang diperlukan dalam analisis statistik parametrik. Pemenuhan asumsi tersebut menunjukkan bahwa pola distribusi data tidak mengalami penyimpangan yang signifikan dari distribusi normal. Oleh karena itu, data pretest dan posttest dapat digunakan untuk analisis lanjutan menggunakan pengujian statistik parametrik. Hasil ini memastikan bahwa metode analisis yang digunakan dalam penelitian sesuai dengan karakteristik data yang diperoleh.

Hasil Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *Paired Sample t-Test* untuk mengetahui pengaruh implementasi Pembelajaran Mendalam melalui Project-Based Learning dengan dukungan *AI-Based Microlearning* terhadap hasil belajar peserta didik.

Tabel 6. Hasil Uji Paired Sample t-Test

Variabel	Sig.	Keputusan
Pretest–Posttest	0,001	H ₀ ditolak

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan capaian belajar peserta didik antara kondisi sebelum dan setelah penerapan pembelajaran. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan kemampuan peserta didik setelah mengikuti pembelajaran yang dirancang melalui integrasi Pembelajaran Mendalam, PjBL, dan AI-Based Microlearning. Namun, karena penelitian menggunakan desain satu kelompok tanpa kelompok kontrol, perubahan tersebut perlu dipahami sebagai peningkatan setelah perlakuan dan belum sepenuhnya menunjukkan hubungan sebab-akibat secara mutlak. Hasil pengujian ini memberikan bukti empiris bahwa penerapan pembelajaran tersebut diikuti oleh perubahan hasil belajar peserta didik.

Hasil Uji N-Gain

Analisis N-Gain dilakukan untuk mengetahui tingkat peningkatan hasil belajar peserta didik setelah diberikan perlakuan.

Tabel 7. Hasil Uji N-Gain	
Rata-rata N-Gain	Kategori
0,569	Sedang

Berdasarkan Tabel 7, hasil analisis N-Gain menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan peserta didik setelah pembelajaran berada pada tingkat efektivitas tertentu. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penerapan Pembelajaran Mendalam melalui PjBL berbantuan AI-Based Microlearning mampu mendukung peningkatan hasil belajar, meskipun tingkat peningkatannya masih berada pada kategori menengah. Hal ini menunjukkan bahwa strategi pembelajaran yang diterapkan telah memberikan kontribusi terhadap perkembangan pemahaman peserta didik pada materi serangan siber. Namun, optimalisasi penerapan pembelajaran masih diperlukan melalui pengembangan durasi pembelajaran, variasi aktivitas proyek, dan penerapan pada cakupan peserta didik yang lebih luas.

Hasil Ukuran Efek (*Effect Size*)

Selain signifikansi statistik dan N-Gain, besarnya perubahan hasil belajar dianalisis menggunakan Cohen's *d*. Berdasarkan rata-rata pretest sebesar 61,46 dengan simpangan baku 18,74 dan rata-rata posttest sebesar 83,39 dengan simpangan baku 10,86, diperoleh Cohen's *d* = 1,43 berdasarkan simpangan baku gabungan. Nilai tersebut termasuk ukuran efek besar, yang menunjukkan bahwa perbedaan skor pretest dan posttest memiliki besaran terstandar yang besar pada kelompok yang diteliti. Meskipun demikian, ukuran efek tersebut tetap harus ditafsirkan bersama keterbatasan desain pra-eksperimen dan tidak menunjukkan efek kausal secara mandiri.

Tabel 8. Hasil Ukuran Efek		
Analisis	Nilai	Interpretasi
Cohen's <i>d</i>	1,43	Besar

Berdasarkan Tabel 8, hasil analisis ukuran efek, perubahan hasil belajar yang terjadi setelah penerapan pembelajaran memiliki besaran yang kuat secara praktis, sehingga perbedaan antara capaian sebelum dan sesudah pembelajaran tidak hanya bermakna secara statistik. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan skor pada kelompok yang diteliti memiliki magnitudo yang besar. Namun, interpretasi tersebut tetap perlu dilakukan secara hati-hati karena desain penelitian tidak menggunakan kelompok kontrol, sehingga ukuran efek tidak dapat dijadikan dasar untuk menyimpulkan bahwa seluruh perubahan hasil belajar semata-mata disebabkan oleh perlakuan yang diberikan.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Pembelajaran Mendalam melalui model *Project-Based Learning* (PjBL) dengan dukungan *AI-Based Microlearning* berkaitan dengan peningkatan hasil belajar peserta didik pada materi Serangan Siber. Perubahan tersebut dapat dipahami dari rangkaian aktivitas pembelajaran yang menggabungkan penguatan konsep, analisis kasus, pemecahan masalah, pembuatan produk, presentasi, dan refleksi. Aktivitas tersebut selaras dengan indikator kemampuan kognitif yang diukur, yaitu mengidentifikasi jenis serangan, menjelaskan karakteristik ancaman, menganalisis dampak, dan menentukan strategi pencegahan. Dengan demikian, peningkatan skor tidak hanya menunjukkan perubahan nilai

secara umum, tetapi juga mengindikasikan berkembangnya pemahaman peserta didik terhadap konsep dan penerapannya dalam konteks keamanan siber. Meskipun demikian, hasil penelitian perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena menggunakan desain pra-eksperimen *One Group Pretest-Posttest Design* tanpa kelompok kontrol, sehingga perubahan yang terjadi belum dapat sepenuhnya dipastikan sebagai akibat langsung dari perlakuan.

Pembelajaran Mendalam dalam penelitian ini berperan sebagai kerangka pedagogis yang mengarahkan peserta didik untuk memahami konsep secara sadar, menghubungkannya dengan permasalahan nyata, serta merefleksikan hasil belajar. Melalui pendekatan *mindful learning*, *meaningful learning*, dan *joyful learning*, peserta didik tidak hanya menerima informasi secara langsung, tetapi juga terlibat dalam proses menghubungkan konsep dengan permasalahan nyata yang berkaitan dengan keamanan siber. Aktivitas identifikasi masalah, analisis kasus serangan siber, penyusunan solusi, dan refleksi pembelajaran memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Temuan ini sejalan dengan penelitian Feri (2025) serta Syafi'i dan Darnaningsih (2025), yang menjelaskan bahwa penerapan Pembelajaran Mendalam dapat meningkatkan kualitas proses belajar melalui keterlibatan aktif peserta didik. Selain itu, hasil penelitian ini juga mendukung temuan Weng et al. (2023) yang menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran yang melibatkan aktivitas konstruksi pengetahuan dapat mendorong terjadinya proses *deep learning*. Dalam konteks penelitian ini, kemungkinan peningkatan kemampuan menganalisis dampak dan menentukan strategi pencegahan dapat dijelaskan oleh adanya aktivitas yang meminta peserta didik menghubungkan pengetahuan konseptual dengan permasalahan keamanan siber yang bersifat kontekstual.

PjBL memiliki fungsi yang berbeda, yaitu menyediakan ruang bagi peserta didik untuk menerapkan konsep melalui penyelesaian proyek autentik. Pembuatan poster edukasi dan presentasi menuntut peserta didik menyeleksi informasi, menyusun hubungan antara jenis ancaman, karakteristik, dampak, dan langkah pencegahan, kemudian mengomunikasikannya kepada orang lain. Proses tersebut dapat memperkuat pemahaman karena peserta didik tidak hanya menerima informasi, tetapi harus mengorganisasi dan menggunakan kembali pengetahuan dalam bentuk produk. Aktivitas diskusi kelompok juga memungkinkan terjadinya pertukaran gagasan dan klarifikasi pemahaman selama penyelesaian proyek. Temuan tersebut sejalan dengan Yusri et al. (2024), Fitri et al. (2025), dan Nuralita et al. (2025), yang menunjukkan bahwa PjBL mendukung pengalaman belajar kontekstual, pemecahan masalah, dan keterampilan peserta didik pada pendidikan vokasi. Almulla (2020) juga menjelaskan bahwa PjBL dapat meningkatkan keterlibatan peserta didik melalui aktivitas belajar berbasis permasalahan autentik. Namun, penelitian ini tidak menguji PjBL secara terpisah, sehingga perubahan hasil belajar tidak dapat diatribusikan secara khusus hanya kepada PjBL.

AI-Based Microlearning dalam penelitian ini ditempatkan sebagai tahap penguatan konsep sebelum peserta didik memasuki kegiatan analisis kasus dan penyelesaian proyek. Materi disajikan dalam unit singkat mengenai jenis serangan siber, karakteristik ancaman, dampak, dan strategi pencegahan, sehingga peserta didik memiliki landasan konseptual sebelum menggunakan pengetahuan tersebut dalam aktivitas proyek. Dengan posisi tersebut, AI-Based Microlearning lebih tepat dipahami sebagai *conceptual scaffolding* dalam rangkaian pembelajaran dan bukan sebagai variabel yang diuji kontribusinya secara terpisah. Oleh karena itu, hasil penelitian ini tidak digunakan untuk menyatakan bahwa AI-Based Microlearning secara mandiri menyebabkan peningkatan hasil belajar. Temuan Aulia (2025), Prasetyo et al. (2025), dan Prasetyo et al. (2025) mendukung temuan ini.

(2025), dan Kurniawan et al. (2025) menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi berbasis AI dalam pembelajaran dapat mendukung pemahaman konsep, pengalaman belajar, dan keterlibatan peserta didik. Namun, dalam penelitian ini penggunaan AI terbatas pada dukungan penyusunan dan/atau penyajian materi *microlearning* dan tidak diposisikan sebagai sistem yang secara otomatis melakukan personalisasi atau adaptasi berdasarkan profil individual peserta didik. Dengan demikian, interpretasi hasil difokuskan pada fungsi AI sebagai bagian dari penguatan konsep sebelum proyek, sesuai dengan penggunaan teknologi yang benar-benar diterapkan dalam penelitian.

Keterkaitan antara aktivitas pembelajaran dan indikator tes juga dapat menjelaskan perubahan skor yang terjadi. Kemampuan mengidentifikasi jenis serangan dan menjelaskan karakteristik ancaman diperkuat melalui materi singkat pada tahap awal pembelajaran, sedangkan kemampuan menganalisis dampak dikembangkan melalui analisis studi kasus. Selanjutnya, kemampuan menentukan strategi pencegahan digunakan ketika peserta didik berdiskusi, menyusun poster edukasi, dan menjelaskan solusi pada saat presentasi. Kesesuaian antara aktivitas pembelajaran dan kompetensi yang diukur kemungkinan membantu peserta didik mengorganisasi pengetahuan dari tingkat pengenalan konsep menuju penerapan dan analisis. Namun, karena penelitian belum menyajikan hasil pretest dan posttest berdasarkan masing-masing indikator, belum dapat ditentukan kemampuan kognitif mana yang mengalami peningkatan paling besar.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi *Pembelajaran Mendalam (Deep Learning Approach)*, *Project-Based Learning (PjBL)*, dan *AI-Based Microlearning* dalam satu rancangan pembelajaran pada materi serangan siber di SMK. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa PjBL mampu meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi, kemampuan pemecahan masalah, kreativitas, serta keterlibatan aktif peserta didik melalui pengalaman belajar yang berbasis permasalahan autentik (Almulla, 2020). Sementara itu, perkembangan kecerdasan buatan dalam pendidikan menunjukkan bahwa teknologi AI memiliki potensi besar dalam menyediakan pembelajaran yang adaptif, personal, dan responsif terhadap kebutuhan individu peserta didik (UNESCO, 2021; Kasneci et al., 2023). Pendekatan pembelajaran berbasis unit kecil seperti *microlearning* juga semakin relevan dalam lingkungan pembelajaran digital karena mampu mendukung fleksibilitas belajar, penguatan memori, dan akses terhadap materi secara berkelanjutan (Leong et al., 2021). Dalam penelitian ini, ketiga perspektif tersebut diterapkan melalui urutan penguatan konsep berbasis AI-Based Microlearning, penerapan konsep melalui PjBL, serta aktivitas memahami, mengaitkan, dan merefleksikan pengetahuan dalam kerangka Pembelajaran Mendalam.

Perubahan hasil belajar yang ditemukan juga perlu dipertimbangkan bersama faktor-faktor alternatif selain perlakuan. Karena tidak terdapat kelompok kontrol, peserta didik mungkin mengalami *testing effect* karena telah mengerjakan pretest dan menjadi lebih familiar dengan ruang lingkup soal ketika mengikuti posttest. Perubahan kemampuan secara alami selama periode penelitian (*maturation*), pengalaman belajar lain di luar perlakuan (*history*), interaksi dengan guru dan teman sebaya, serta meningkatnya motivasi karena memperoleh pengalaman pembelajaran yang berbeda juga mungkin memengaruhi skor. Selain itu, faktor *instrumentation* dapat memengaruhi hasil apabila terdapat perbedaan dalam prosedur pengukuran atau penskoran, meskipun penelitian telah menggunakan instrumen dan rubrik yang sama pada pretest dan posttest. Oleh karena itu, hasil penelitian lebih tepat menunjukkan adanya

perubahan hasil belajar setelah penerapan rangkaian pembelajaran daripada membuktikan hubungan sebab-akibat secara mutlak.

Secara praktis, hasil penelitian memberikan implikasi bagi pembelajaran Teknik Komputer dan Jaringan, khususnya pada materi keamanan siber yang menuntut kemampuan memahami konsep sekaligus menerapkannya dalam situasi nyata. Penguatan konsep sebelum proyek dapat membantu peserta didik menyiapkan pengetahuan awal, sedangkan PjBL menyediakan konteks penerapan melalui analisis masalah dan penyusunan produk. Pembelajaran Mendalam selanjutnya memberi kerangka agar aktivitas tersebut tidak berhenti pada penyelesaian tugas, tetapi juga melibatkan pemaknaan dan refleksi terhadap konsep yang dipelajari. Karakteristik tersebut sejalan dengan kebutuhan pendidikan vokasi yang menekankan keterhubungan antara pengetahuan dan penerapannya dalam menghadapi permasalahan dunia kerja (OECD, 2021). Namun, temuan penelitian ini sebaiknya diposisikan sebagai bukti awal mengenai potensi penerapan rancangan pembelajaran tersebut, bukan sebagai bukti bahwa strategi ini lebih efektif dibandingkan dengan model pembelajaran lainnya.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Pertama, penggunaan desain *One Group Pretest-Posttest Design* tanpa kelompok kontrol menyebabkan perubahan skor belum dapat dipisahkan secara pasti dari kemungkinan pengaruh *history*, *maturation*, *testing effect*, dan faktor lain di luar perlakuan. Kedua, jumlah subjek terbatas pada satu kelas di satu sekolah sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan secara luas pada seluruh konteks pendidikan vokasi. Ketiga, analisis belum dilakukan terhadap perubahan skor pada masing-masing indikator kemampuan kognitif, sehingga belum dapat diketahui apakah peningkatan lebih besar terjadi pada kemampuan mengidentifikasi jenis serangan, menjelaskan karakteristik ancaman, menganalisis dampak, atau menentukan strategi pencegahan. Keempat, penelitian belum mengumpulkan data penggunaan AI secara rinci, seperti frekuensi akses, pola interaksi, respons peserta didik, atau perbedaan penggunaan antarindividu, sehingga peran spesifik AI dalam proses pembelajaran belum dapat dianalisis secara terpisah. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat menggunakan desain eksperimen dengan kelompok kontrol, jumlah sampel yang lebih besar, analisis hasil belajar per indikator, serta data penggunaan AI yang lebih rinci untuk memperoleh pemahaman yang lebih kuat mengenai mekanisme perubahan hasil belajar.

KESIMPULAN

Penerapan Pembelajaran Mendalam melalui *Project-Based Learning* (PjBL) dengan dukungan *AI-Based Microlearning* pada materi serangan siber di kelas XI TKJ SMK Muhammadiyah 1 Pekanbaru diikuti oleh peningkatan hasil belajar peserta didik. Rata-rata skor meningkat dari 61,46 pada pretest menjadi 83,39 pada posttest, dengan N-Gain sebesar 0,569 yang termasuk kategori sedang dan Cohen's *d* sebesar 1,43 yang menunjukkan ukuran perubahan yang besar. Dalam rancangan pembelajaran, *AI-Based Microlearning* digunakan sebagai penguatan konsep sebelum peserta didik melakukan analisis kasus dan aktivitas proyek melalui PjBL dalam kerangka Pembelajaran Mendalam. Namun, karena penelitian menggunakan desain satu kelompok tanpa kelompok kontrol dan hanya melibatkan 25 peserta didik dari satu kelas di satu sekolah, peningkatan tersebut tidak dapat diinterpretasikan sebagai bukti kausal bahwa perubahan hasil belajar sepenuhnya disebabkan oleh perlakuan dan tidak dapat digeneralisasikan secara luas. Oleh karena itu, temuan ini lebih tepat dipandang sebagai bukti awal mengenai penerapan rancangan pembelajaran tersebut pada materi serangan siber,

yang selanjutnya perlu diuji melalui penelitian dengan kelompok kontrol dan sampel yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, B., & Arafat, M. Y. (2021). Implementasi Augmented Reality pada Mata Pelajaran Komputer dan Jaringan Dasar di SMK Nufa Citra Mandiri Berbasis Android. *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 5(4), 553. <https://doi.org/10.32493/informatika.v5i4.8181>
- Almulla, M. A. (2020). The effectiveness of the project-based learning (PBL) approach as a way to engage students in learning. *SAGE Open*, 10(3), 1–15. <https://doi.org/10.1177/2158244020938702>
- Arsyad, A. A. J., Tamrin, U., Lande, J. P., & Umar, N. (2024). Meningkatkan Kesadaran Remaja Terhadap Phishing Melalui Literasi Digital: Studi Kasus di SMK Darussalam Makassar. *Jurnal Pengabdian Literasi Digital Indonesia*, 3(2), 60–71. <https://jurnal.relawantik.or.id/abdimas/article/view/122>
- Aulia, R. N., Nina, A. R., Albader, K. S., & Zarkasi, B. Q. (2026). Efektivitas Penerapan Microlearning terhadap Retensi Belajar Mahasiswa di Perguruan Tinggi: Studi Literatur. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 3(3). <https://doi.org/10.47134/jtp.v3i3.2599>
- Feri, M. (2025). Penerapan Pembelajaran Mendalam Melalui *Joyful, Meaningful*, dan *Mindful Learning*: Tinjauan Literatur. *Ibtida: Jurnal Pendidikan Dasar*, 5(2). <https://doi.org/10.33507/ibtida.v5i2.3495>
- Fitri, H. M., Khaerunnisa, P., Setiawan, E., & Wardoyo, S. (2025). Peningkatan Keterampilan Pra-Vokasional Siswa SMK melalui Project-Based Learning (PjBL): Studi Literatur. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Indonesia (JPPI)*, 5(1), 307–318. <https://doi.org/10.53299/jppi.v5i1.996>
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kurniawan, S., Rahman, M. A., & Sugiarno, Y. (2025). Pengembangan Media Pembelajaran Adaptif Menggunakan Pemrograman Berbasis AI dan Psikologi Pendidikan di SMPN 2 Candi. *Journal of Information System and Education Development*, 3(2). <https://doi.org/10.62386/jised.v3i2.131>
- Leong, K., Sung, A., Au, D., & Blanchard, C. (2021). A review of the trend of microlearning. *Journal of Work-Applied Management*, 13(1), 88–102. <https://doi.org/10.1108/JWAM-10-2020-0044>
- Nuralita, A. D. A., Subali, B., Nugroho, S. E., Wiyanto, W., & Mohd Yusof, M. M. (2025). Mapping Project-Based Learning E-Modules Through a Systematic Literature Review. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 11(2), 418–434. <https://doi.org/10.21831/jipi.v11i2.87903>
- OECD. (2021). *OECD Skills Outlook 2021: Learning for Life*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/0ae365b4-en>
- Prasetyo, A., Utami, Y., & Handayani, S. (2025). Penerapan Artificial Intelligence untuk Siswa/i SMK Swasta Mustafa Perbaungan. *Jurnal Hasil Pengabdian Masyarakat (JURIBMAS)*, 4(1), 38–43. <https://doi.org/10.62712/juribmas.v4i1.359>

- Syafi'i, A., & Darnanengsih. (2025). Pendekatan Pembelajaran Berbasis *Deep Learning: Mindful Learning, Meaningful Learning*, dan *Joyful Learning*. *Al-Mumtaz: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 2(1). <https://e-jurnal.iainsorong.ac.id/index.php/Al-Mumtaz/article/view/1991>
- Weng, C., Chen, C., & Ai, X. (2023). A pedagogical study on promoting students' deep learning through design-based learning. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(4), 1653–1674. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09789-4>
- Yusri, R., Yusof, A. M., & Sharina, A. (2024). A systematic literature review of project-based learning: research trends, methods, elements, and frameworks. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 13(5), 3345–3359. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i5.27875>