



Integrasi Nilai Etika Ilmiah Melalui *Project-Based Learning* dalam Pembelajaran Matematika: *Systematic Literature Review*

Syifa Zia Muharni

Sekolah Pascasarjana, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis integrasi nilai-nilai etika ilmiah dalam pembelajaran matematika melalui penerapan *Project-Based Learning* (PjBL). Kajian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya membangun karakter ilmiah peserta didik di era pendidikan abad ke-21 yang menuntut integritas, tanggung jawab, dan kolaborasi dalam proses pembelajaran. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Systematic Literature Review* (SLR) berdasarkan pedoman PRISMA 2020. Sumber data diperoleh dari basis data Scopus dengan rentang tahun publikasi 2021–2025. Dari total 1.112 artikel yang ditelusuri, hanya 11 artikel yang memenuhi kriteria inklusi. Hasil sintesis menunjukkan bahwa penerapan PjBL dalam pembelajaran matematika secara konsisten meningkatkan kemampuan kognitif, afektif, dan etis peserta didik di berbagai jenjang pendidikan, mulai dari sekolah dasar hingga perguruan tinggi, termasuk calon guru. Nilai-nilai seperti kejujuran akademik, tanggung jawab ilmiah, kerja sama, refleksi kritis, dan empati sosial terinternalisasi secara alami melalui kegiatan proyek yang kontekstual dan kolaboratif. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa PjBL tidak hanya efektif sebagai strategi pedagogis, tetapi juga sebagai kerangka pendidikan etis yang menumbuhkan karakter ilmiah peserta didik. Secara teoretis, penelitian ini memperluas konsep PjBL sebagai pendekatan pembelajaran berbasis pengalaman dan refleksi moral, sedangkan secara praktis memberikan dasar bagi guru untuk merancang pembelajaran matematika yang berorientasi pada integritas ilmiah dan penguatan karakter.

Kata Kunci: *Etika Ilmiah; Karakter Ilmiah, Project-Based Learning; Pembelajaran Matematika*

Abstract

This study aims to analyse the integration of scientific ethical values in mathematics learning through the application of Project-Based Learning (PjBL). This study is motivated by the importance of building the scientific character of students in the 21st-century education era, which requires integrity, responsibility, and collaboration in the learning process. The method used in this study is a Systematic Literature Review (SLR) based on the PRISMA 2020 guidelines. The data source was obtained from the Scopus database with a publication year range of 2021–2025. Of the total 1,112 articles searched, only 11 articles met the inclusion criteria. The results of the synthesis show that the application of PjBL in mathematics learning consistently improves the cognitive, affective, and ethical abilities of students at various levels of education, ranging from elementary school to college, including prospective teachers. Values such as academic honesty, scientific responsibility, cooperation, critical reflection, and social empathy are internalised naturally through contextual and collaborative project activities. These findings reinforce the view that PjBL is not only effective as a pedagogical strategy, but also as an ethical educational framework that fosters students' scientific character. Theoretically, this study expands on the concept of PjBL as an experiential learning approach and moral reflection, while practically providing a basis for teachers to design mathematics learning that is oriented towards scientific integrity and character building.

Keywords: *Mathematics Learning, Project-Based Learning, Scientific Ethics, Scientific Character*

Copyright (c) 2025 Syifa Zia Muharni

PENDAHULUAN

Berbagai tantangan dalam pendidikan abad ke-21 menuntut integrasi antara kemampuan kognitif, afektif, dan nilai-nilai etika ilmiah dalam proses pembelajaran. Pembelajaran matematika, yang sering dianggap abstrak dan terpisah dari konteks kehidupan nyata, menghadapi tuntutan baru untuk menumbuhkan karakter ilmiah seperti kejujuran, tanggung jawab, dan objektivitas (Viro et al., 2020). Dalam konteks ini, *Project-Based Learning* (PjBL) muncul sebagai pendekatan yang potensial untuk mengintegrasikan nilai-nilai etika ilmiah dalam proses pembelajaran karena menekankan pada pengalaman belajar kontekstual, kolaboratif, dan reflektif. Dikarenakan pentingnya penerapan nilai etika ilmiah dalam pembelajaran matematika berakar pada pandangan bahwa matematika bukan sekadar kumpulan rumus, melainkan cara berpikir yang memerlukan kejujuran intelektual dan dedikasi terhadap kebenaran ilmiah (Rehman et al., 2025). Maka dengan sebab itu, melalui proyek matematis, peserta didik dapat belajar menghadapi kompleksitas data, berargumentasi secara rasional, serta mempertanggungjawabkan hasil temuannya secara etis.

Sebagaimana penelitian terdahulu menunjukkan bahwa PjBL efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kolaboratif peserta didik, namun belum banyak yang menyoroti dimensi etika ilmiah dalam konteks pembelajaran matematika (Haatainen & Aksela, 2021). Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan meninjau literatur secara sistematis untuk menemukan pola integrasi nilai etika ilmiah dalam penerapan PjBL pada pembelajaran matematika. Oleh karena itu, pendidikan matematika harus menanamkan nilai-nilai etika ilmiah sejak dini melalui strategi pembelajaran yang autentik dan bermakna (Uden et al., 2023). Pendekatan PjBL yang berbasis pada pemecahan masalah nyata memberikan ruang bagi pengembangan nilai-nilai tersebut.

Penelitian ini menempatkan PjBL sebagai alternatif solusi yang dapat mengintegrasikan dimensi afektif dan moral ke dalam pembelajaran berbasis konsep. Dalam praktiknya, proyek-proyek matematika yang menuntut kolaborasi, penalaran, dan pelaporan hasil dapat menjadi wahana internalisasi etika ilmiah seperti transparansi dan tanggung jawab (AlAli, 2024). Dengan demikian, PjBL bukan hanya pendekatan pedagogis, melainkan juga sarana pembentukan karakter ilmiah peserta didik. Selain itu, dari perspektif sosial-konstruktivis, proses belajar melalui proyek menempatkan peserta didik sebagai pembangun pengetahuan aktif dalam lingkungan yang menuntut interaksi etis antarindividu (Luneeva & Zakirova, 2017). Dalam hal ini, nilai-nilai ilmiah seperti kerja sama dan tanggung jawab tim menjadi bagian integral dari pengalaman belajar. Masalah utama yang muncul dalam berbagai penelitian adalah kurangnya desain pembelajaran yang secara eksplisit mengintegrasikan dimensi etika dalam kegiatan PjBL. Sebagian besar fokus hanya pada peningkatan hasil kognitif peserta didik, bukan pada pembentukan etika ilmiah (Holmes & Hwang, 2016). Hal ini menunjukkan perlunya pendekatan holistik yang menggabungkan aspek moral dan intelektual dalam praktik pembelajaran.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi, mensintesis, dan menganalisis literatur tentang praktik integrasi nilai etika ilmiah dalam PBL di pembelajaran matematika. Hasilnya diharapkan memberikan pemahaman mendalam mengenai bagaimana nilai etika ilmiah dapat diinternalisasi melalui strategi pembelajaran berbasis proyek. Kegunaan penelitian ini tidak hanya bersifat teoretis, tetapi juga praktis. Secara teoretis, hasilnya dapat memperluas kerangka konseptual tentang hubungan antara PBL dan pengembangan etika ilmiah. Secara praktis, temuan ini dapat menjadi acuan bagi pendidik dalam merancang pembelajaran matematika yang berorientasi pada karakter dan integritas ilmiah.

Berdasarkan paparan di atas, penelitian ini difokuskan untuk mengidentifikasi dan mensintesis hasil-hasil penelitian terkini mengenai penerapan *Project-Based Learning* (PjBL) dalam pembelajaran matematika serta hubungannya dengan penguatan nilai-nilai etika ilmiah. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi bentuk dan karakteristik implementasi *Project-Based Learning* (PjBL) dalam pembelajaran matematika dalam kurun waktu 2021–2025; (2) mendeskripsikan bagaimana nilai-nilai etika ilmiah, seperti kejujuran akademik, tanggung jawab, kerja kolaboratif, refleksi, dan

kepedulian sosial, diintegrasikan dalam pelaksanaan PjBL; serta (3) menganalisis kecenderungan tematik dan implikasi hasil penelitian yang menunjukkan kontribusi PjBL terhadap pembentukan karakter ilmiah peserta didik di era pendidikan abad ke-21. Dalam penelitian ini, nilai etika ilmiah didefinisikan sebagai seperangkat prinsip moral yang mendasari perilaku ilmiah, meliputi kejujuran akademik, objektivitas, dan tanggung jawab terhadap hasil penelitian atau tugas ilmiah. Sementara itu, Project-Based Learning (PjBL) dimaknai sebagai model pembelajaran berbasis proyek yang menekankan penyelesaian masalah nyata melalui kolaborasi dan investigasi. Kajian ini mencakup analisis penerapan PjBL dalam pembelajaran matematika di berbagai jenjang, mulai dari sekolah dasar hingga perguruan tinggi, termasuk calon guru. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teori dan praktik pendidikan matematika yang beretika, serta mendukung arah kebijakan pendidikan yang menekankan integritas akademik dan penguatan karakter ilmiah peserta didik di era digital.

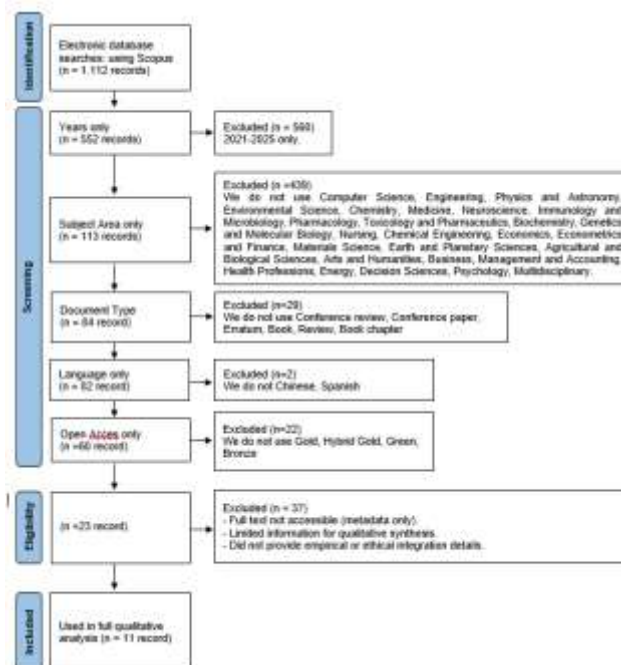
METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang disusun berdasarkan pedoman PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) sebagaimana dikembangkan oleh Page et al. (2021) Untuk menjamin transparansi, keterlacakan, dan replikasi proses tinjauan sistematis. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan karakter penelitian kualitatif yang berfokus pada makna dan interpretasi literatur, bukan sekadar penghitungan kuantitatif. Tahapan penelitian mengikuti empat langkah utama dalam alur PRISMA, yakni *identification*, *screening*, *eligibility*, dan *included*. Sehingga diperoleh data sebagai berikut:

1. *Identification*. Penelusuran artikel menggunakan basis data Scopus dengan menggunakan query TITLE-ABS-KEY ("project-based learning" OR "project-based learning" OR PjBL) AND TITLE-ABS-KEY (mathematic* OR "mathematics education" OR "elementary mathematics"). Hasil penelusuran awal memperoleh 1.112 artikel. Selanjutnya dilakukan penyaringan berdasarkan tahun publikasi untuk menjaga kebaruan penelitian. Hanya artikel yang terbit antara tahun 2021 dan 2025 yang dipertahankan, sehingga 560 artikel dikeluarkan dari analisis awal. Dengan demikian, sebanyak 552 artikel dilanjutkan ke tahap berikutnya.
2. *Screening*. Tahap *screening* dilakukan dengan seleksi berdasarkan bidang subjek (*subject area*) dengan mengecualikan disiplin ilmu yang tidak relevan seperti *Computer Science*, *Medicine*, *Engineering*, *Chemistry*, *Psychology*, dan *Economics*. Setelah tahap ini, tersisa 113 artikel. Kemudian penyaringan jenis dokumen dilakukan dengan hanya mempertahankan *journal articles* dan mengecualikan *conference papers*, *reviews*, *books*, *chapters*, dan *errata*. Kemudian disaring berdasarkan bahasa publikasi, dengan mempertahankan hanya artikel berbahasa Inggris sehingga 2 artikel nonrelevan dikeluarkan. Terakhir, dipilih hanya artikel yang berstatus *Open Access* untuk menjamin keterbukaan data dan kemudahan akses.
3. *Eligibility*. Pada tahap *eligibility*, seluruh 60 artikel yang lolos diseleksi lebih lanjut berdasarkan akses penuh, relevansi empiris, dan keterkaitan dengan fokus penelitian, yaitu integrasi nilai-nilai etika ilmiah melalui *Project-Based Learning* dalam pembelajaran matematika. Dari hasil bacaan berdasarkan *abstrak*, 23 artikel dinyatakan memenuhi kriteria substansial dan empiris untuk dianalisis. Namun, setelah dilakukan peninjauan lebih mendalam terhadap ketersediaan teks lengkap dan relevansi konteks, hanya 11 artikel yang memenuhi seluruh syarat kelayakan, yakni akses penuh, relevansi tinggi, dan kesesuaian dengan fokus nilai etika ilmiah.
4. *Included*. Pada tahap *included*, dihasilkan 11 artikel akhir yang memiliki relevansi tinggi. Kedua belas artikel ini digunakan sebagai sumber dalam analisis kualitatif dan sintesis tematik penelitian ini. Analisis dilakukan untuk menelaah bagaimana *Project-Based Learning* (PjBL) diimplementasikan dalam hal pembelajaran matematika, serta bagaimana nilai-nilai etika ilmiah

seperti kejujuran akademik, tanggung jawab ilmiah, kerja kolaboratif, refleksi moral, dan kepedulian sosial diintegrasikan ke dalam proses belajar.

Alur seleksi artikel dari tahap identifikasi hingga inklusi divisualisasikan dalam Gambar 1 (Metode PRISMA), yang menggambarkan proses sistematis penyaringan data hingga diperoleh 11 artikel yang layak untuk dianalisis.



Gambar 1. Metode PRISMA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan hasil analisis terhadap 11 artikel yang memiliki akses penuh (full text), diperoleh ringkasan temuan sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut. Tabel ini memuat penulis dan tahun, judul penelitian, dan hasil temuan.

Tabel 1. Analisis Artikel

No.	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Temuan
1.	(Syamra & Suryadi, 2025)	<i>Comparing Project-Based Learning and Integrated STEM Approach in Enhancing Scientific Creativity in Renewable Energy Education</i>	Penelitian ini menyebutkan efektivitas dua model pembelajaran, yaitu <i>Project-Based Learning</i> (PjBL) dan <i>Project-Based Learning berbasis STEM</i> (PjBL-STEM), dalam meningkatkan kreativitas ilmiah peserta didik pada topik energi terbarukan. Penelitian kuasi-eksperimen ini melibatkan 69 peserta didik yang dibagi menjadi dua kelompok: eksperimen (PjBL-STEM) dan kontrol (PjBL biasa). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok yang mengikuti pembelajaran PjBL-STEM memperoleh skor kreativitas ilmiah yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok PjBL konvensional, dengan nilai rata-rata 78,53 berbanding 72,42. Perbedaan ini signifikan secara statistik ($p = 0,003$), menandakan bahwa integrasi pendekatan STEM dalam PjBL mampu meningkatkan kemampuan siswa dalam <i>fluency</i> (kelancaran ide), <i>flexibility</i> (keluwesan berpikir), dan <i>originality</i> (keunikan gagasan).

No.	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Temuan
2.	(Lazić et al., 2021)	<i>The Influence of Project-Based Learning on Student Achievement in Elementary Mathematics Education</i>	Pada hasil penelitian ini, penerapan <i>Project-Based Learning</i> (PjBL) dalam pembelajaran matematika di sekolah dasar memberikan peningkatan signifikan terhadap prestasi belajar peserta didik, baik bagi peserta didik berkemampuan tinggi maupun rendah. Melalui serangkaian proyek nyata seperti <i>Funfair</i> , <i>Baking Cookies</i> , <i>Mathematical Fairy Tale</i> , hingga <i>History on Tape</i> , peserta didik diajak mengintegrasikan konsep matematis dengan kehidupan sehari-hari seperti mengukur panjang, waktu, dan volume. Lebih dari sekadar peningkatan akademik, penelitian ini memperlihatkan bahwa kegiatan proyek membangun tanggung jawab, kolaborasi, dan kejujuran ilmiah peserta didik melalui keterlibatan aktif dalam eksplorasi dan evaluasi hasil kerja mereka. Peserta didik belajar mengevaluasi data, menghormati kontribusi rekan, serta merefleksikan kesalahan dan hasil dengan sikap terbuka dan ilmiah. Nilai-nilai seperti kerja sama, disiplin, ketelitian, dan rasa ingin tahu tumbuh secara alami selama proses penyelidikan dan presentasi proyek.
3.	(Yusuf et al., 2023)	<i>Integration of STEM Project-Based Learning into 21st Century Learning and Innovation Skills (4Cs) in Vocational Education Using SEM Model Analysis</i>	Penelitian ini mengintegrasikan model <i>Project-Based Learning</i> berbasis STEM (STEM-PjBL) ke dalam pembelajaran untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21 (4Cs): <i>critical thinking, creativity, collaboration, dan communication</i> pada peserta didik di sekolah menengah. Menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis <i>Structural Equation Modeling</i> (SEM) terhadap 283 responden, penelitian ini menemukan bahwa STEM-PjBL memiliki pengaruh positif signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis, kolaborasi, dan kreativitas, namun pengaruhnya terhadap kemampuan komunikasi masih tergolong lemah.
4.	(Jiménez-gaona & Vivanco-Galván, 2024)	<i>Biotechnology project-based learning encourages learning and mathematics application</i>	Penelitian ini membandingkan kelompok eksperimen yang menggunakan pendekatan PjBL dengan kelompok kontrol yang belajar secara tradisional. Hasil uji statistik menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,001$) antara kelompok eksperimen dan kontrol pada seluruh aspek pembelajaran matematika, termasuk pemahaman fungsi, kemampuan pemodelan matematis, dan motivasi belajar. Melalui kegiatan ini, mahasiswa tidak hanya menerapkan fungsi eksponensial dan logaritmik, tetapi juga belajar menerapkan prinsip-prinsip etika ilmiah seperti kejujuran dalam pelaporan data, ketelitian dalam eksperimen, kolaborasi tim, dan tanggung jawab terhadap hasil penelitian.
5.	(Selimi et al., 2025)	<i>Enhancing High School Students' Mathematics Achievement and Skills Development through</i>	Pada penelitian ini, penerapan pendekatan STEM-PjBL secara kolaboratif di sekolah menengah atas meningkatkan prestasi matematika, kemampuan berpikir kritis, serta keterampilan abad ke-21 seperti komunikasi, kerja sama, dan pemecahan masalah. Melalui proyek ini, peserta didik menerapkan konsep geometri dua dan tiga dimensi dalam mendesain, memodelkan, dan mencetak komponen rumah menggunakan teknologi seperti Autodesk Fusion 360, CNC

No.	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Temuan
		<i>Integrated STEM-PBL: A Collaborative Action Research Study</i>	router, dan printer 3D (lihat Gambar 1–3, hlm. 6–7). Kegiatan proyek dilakukan dalam siklus planning–action–observation–reflection, dan hasil pengamatan menggunakan checklist menunjukkan peningkatan konsisten dalam keterampilan penelitian (70% → 90%), komunikasi (75% → 85%), kerja tim (60% → 85%), dan pemecahan masalah (85%). Peserta didik tidak hanya mampu menghitung volume, luas, dan rasio geometri dengan benar, tetapi juga menunjukkan pemahaman mendalam terhadap konsep ketetapan volume (<i>volume invariance</i>) serta penerapan logika matematis dalam hal nyata.
6.	(Kusmaryono & Basir, 2024)	<i>Learning Media Projects with YouTube Videos: A Dynamic Tool for Improving Mathematics Achievement</i>	Pada penelitian ini, proyek pembuatan media pembelajaran berbasis YouTube video project merupakan bentuk <i>Project-Based Learning</i> (PjBL) digital yang efektif dalam meningkatkan prestasi belajar matematika dan minat belajar peserta didik, sekaligus membangun nilai-nilai etika ilmiah dan profesionalitas calon guru matematika. Mahasiswa pembuat video dituntut untuk mengolah data, menyampaikan materi secara akurat, dan menjaga orisinalitas konten, sementara peserta didik dilatih untuk belajar mandiri dan reflektif dengan menonton ulang video hingga memahami konsep matematis. Penelitian ini melibatkan 100 peserta, terdiri dari 10 mahasiswa calon guru matematika dan 90 peserta didik SMP. Mahasiswa bertindak sebagai perancang dan pembuat video pembelajaran matematika
7.	(Septiadevana & Abdullah, 2024)	<i>Developing STEM Project-Based Learning Module for Primary School Teachers: A Need Analysis</i>	Pada penelitian ini, disoroti pengembangan modul <i>Project-Based Learning</i> berbasis STEM (STEM-PjBL) untuk guru sekolah dasar di Indonesia guna menumbuhkan literasi ilmiah dan kemampuan berpikir kritis peserta didik sejak dini. Lebih dari 97% guru menyatakan setuju bahwa modul PjBL-STEM perlu dikembangkan, karena dapat memfasilitasi pembelajaran sains yang bermakna serta meningkatkan literasi ilmiah dan berpikir kritis peserta didik. Temuan ini tidak hanya menekankan kebutuhan pedagogis, tetapi juga menggambarkan relevansi nilai etika ilmiah dalam konteks pembelajaran berbasis proyek. Modul yang diusulkan menjadi wadah integrasi antara pembelajaran konseptual dan pembentukan karakter ilmiah, yang sangat penting untuk pendidikan abad ke-21.
8.	(Sie & Lin, 2025)	<i>Effects of Psychological Capital and Cognition on STEM Learning in IoT Smart Energy-Saving Projects</i>	Pada penelitian ini, mengkaji bagaimana <i>Project-Based Learning</i> (PjBL) dalam hal proyek <i>Internet of Things</i> (IoT) <i>Smart Energy-Saving House</i> dapat memperkuat kapasitas psikologis (<i>psychological capital</i>) dan kognisi STEM peserta didik, serta bagaimana kedua aspek ini berinteraksi dalam mendukung keberhasilan pembelajaran berbasis proyek. Dalam proyek IoT tersebut, peserta didik merancang dan membangun rumah hemat energi berbasis sensor, melibatkan perancangan sirkuit, analisis data energi, dan pemrograman. Peneliti menegaskan bahwa kapital psikologis dan kemampuan kognitif merupakan dua fondasi

No.	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Temuan
			etika ilmiah dalam PjBL-STEM. Peserta didik yang menunjukkan tingkat tinggi <i>hope</i> dan <i>resilience</i> lebih mampu menghadapi kegagalan eksperimen dengan sikap ilmiah mereka memperbaiki kesalahan, mendiskusikan hasil dengan tim, dan melakukan perhitungan ulang berdasarkan bukti, bukan asumsi.
9.	(Ndiung & Menggo, 2024)	<i>Project-Based Learning in Fostering Creative Thinking and Mathematical Problem-Solving Skills: Evidence from Primary Education in Indonesia</i>	Pada penelitian ini, diuji secara empiris efektivitas <i>Project-Based Learning</i> (PjBL) dalam meningkatkan keterampilan berpikir kreatif dan pemecahan masalah matematis (<i>Mathematical Problem-Solving Skills</i>) peserta didik sekolah dasar di Indonesia. Hasilnya menunjukkan bahwa peserta didik yang mengikuti pembelajaran dengan PjBL memiliki skor lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol dengan metode konvensional (ceramah). Proses tersebut mendorong peserta didik untuk aktif bereksperimen, bekerja secara kolaboratif, dan belajar bertanggung jawab terhadap hasil proyeknya. Guru bertindak bukan sebagai pengajar utama, melainkan sebagai fasilitator dan penilai proses reflektif, sehingga peserta didik belajar mengembangkan scientific <i>habits of mind</i> berpikir logis, kritis, dan etis.
10.	(Rehman et al., 2025)	<i>Altering Students' Attitudes Towards Learning Mathematics Through Project-Based Learning: A Mathematics Project</i>	Pada penelitian ini, ditemukan bahwa PjBL mendorong partisipasi aktif, rasa tanggung jawab, serta kejujuran ilmiah dalam proses pembelajaran. Seperti pada saat peserta didik belajar memecahkan masalah dan melaporkan hasil kelompok secara mandiri, menunjukkan kesadaran akan proses belajar yang berbasis bukti. Dan juga pada saat peserta didik diminta menjelaskan hasil proyek dan alasan matematis di balik jawaban mereka, bukan sekadar menyalin dari teman atau buku. Hal demikian tercermin selama diskusi proyek.
11.	(Poonputta & Sakorn, 2025)	<i>Developing Pre-Service Teachers' Mathematics Teaching Skills and Attitude through Project-Based Learning and Reflective Learning</i>	Pada penelitian ini, integrasi PjBL dan <i>Reflective Learning</i> dapat meningkatkan keterampilan mengajar matematika dan sikap profesional calon guru. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai-nilai etika ilmiah dapat diinternalisasi secara alami melalui kegiatan proyek dan refleksi sistematis, bukan sekadar melalui teori moral pendidikan. Hal demikian meliputi kejujuran akademik dalam pencatatan hasil pembelajaran dan pelaporan refleksi. Tanggung jawab sosial dan profesional dalam menangani perbedaan kemampuan peserta didik. Refleksi kritis dan kesadaran diri ilmiah yaitu dalam mengevaluasi dan memperbaiki pendekatan berdasarkan bukti empiris serta empati dan humanisasi dalam pembelajaran, yang menguatkan makna moral dari profesi pendidik.

Berdasarkan hasil sintesis dari sebelas artikel yang dianalisis, ditemukan tiga fokus utama yang menggambarkan implementasi dan integrasi nilai etika ilmiah dalam *Project-Based Learning* (PjBL) pada pembelajaran matematika. Ketiga fokus tersebut meliputi: (1) pola implementasi PjBL dalam berbagai hal pembelajaran matematika, (2) integrasi nilai-nilai etika ilmiah dalam pelaksanaan PjBL,

dan (3) kecenderungan tematik serta implikasi penelitian terhadap penguatan karakter ilmiah peserta didik.

Implementasi *Project-Based Learning* (PjBL) dalam Pembelajaran Matematika

Berdasarkan hasil dari sebelas artikel yang dianalisis, ditemukan bahwa penerapan *Project-Based Learning* (PjBL) dalam pembelajaran matematika menghasilkan peningkatan yang konsisten pada aspek kognitif, afektif, dan etika ilmiah peserta didik dan mahasiswa sebagai peserta didik di berbagai jenjang pendidikan dan juga calon guru. PjBL menempatkan peserta didik sebagai subjek aktif dalam eksplorasi dan konstruksi pengetahuan, sejalan dengan teori konstruktivisme Piaget dan pendekatan belajar bermakna Ausubel, yang menekankan keterlibatan aktif dan refleksi terhadap pengalaman belajar.

Temuan dari Lazić et al. (2021) Menunjukkan peningkatan signifikan pada prestasi belajar matematika peserta didik sekolah dasar melalui proyek-proyek nyata seperti *Funfair* dan *Baking Cookies* yang mengaitkan konsep matematika dengan kehidupan sehari-hari. Data ini mengindikasikan bahwa makna kontekstual dari proyek membantu peserta didik membangun hubungan antara simbol matematis dan pengalaman nyata. Hal ini sejalan dengan teori *Situated Learning* dalam Junaidin (2022), di mana pengetahuan lebih mudah dipahami ketika dikaitkan dengan konteks sosial dan praktik autentik. Selain peningkatan akademik, penelitian ini juga mencatat tumbuhnya nilai-nilai kolaborasi, refleksi ilmiah, dan kejujuran akademik yang menjadi bagian integral dari proses PjBL. Secara serupa pada Selimi et al. (2025) Ditemukan bahwa integrasi STEM-PjBL di tingkat SMA meningkatkan kemampuan berpikir kritis, komunikasi, dan pemecahan masalah melalui aktivitas mendesain model geometri tiga dimensi menggunakan perangkat digital. Keberhasilan peserta didik dalam menghitung volume dan rasio geometri bukan hanya cerminan pemahaman konseptual, tetapi juga hasil dari pembelajaran berbasis *hands-on inquiry*, yang menurut teori *Experiential Learning* Kolb mendorong siklus pembelajaran reflektif antara pengalaman, pengamatan, dan abstraksi konseptual. Hasil ini menegaskan bahwa kebermaknaan proyek dalam PjBL berperan penting dalam memperdalam pemahaman konsep matematis.

Penelitian Jiménez-Gaona & Vivanco-Galván (Jiménez-gaona & Vivanco-Galván, 2024)) Memperluas temuan tersebut pada konteks pendidikan tinggi, dengan menunjukkan bahwa penerapan PjBL pada pembelajaran bioteknologi-matematika tidak hanya meningkatkan kemampuan pemodelan matematis ($p < 0,001$), tetapi juga memperkuat motivasi dan etika ilmiah mahasiswa. Keterlibatan aktif dalam eksperimen dan pelaporan data melatih mahasiswa untuk berpikir logis dan bertanggung jawab terhadap hasil penelitian mereka. Fakta ini dapat dijelaskan dengan teori *Self-Determination*, yang menegaskan bahwa dukungan terhadap otonomi dan tanggung jawab belajar memperkuat motivasi intrinsik peserta didik, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap performa akademik dan kesejahteraan psikologis (Guay, 2022).

Lebih lanjut, Ndiung & Menggo (2024) dan Rehman et al. (2025) menunjukkan bahwa PjBL berkontribusi signifikan terhadap pengembangan keterampilan berpikir kreatif dan sikap positif terhadap matematika. Data empiris menunjukkan perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kontrol pada kemampuan pemecahan masalah matematis dan sikap belajar. Hal ini memperlihatkan bahwa PjBL tidak hanya mengubah performa akademik, tetapi juga kognisi afektif, memperkuat *growth mindset* peserta didik untuk menghadapi tantangan matematis dengan rasa percaya diri. Dengan demikian, pembelajaran berbasis proyek membangun hubungan erat antara pengetahuan konseptual dan regulasi diri dalam belajar. Selain itu, Poonputta & Sakorn (2025) menekankan peran refleksi dalam memperdalam dampak PjBL terhadap calon guru matematika. Integrasi antara PjBL dan *Reflective Learning* meningkatkan kesadaran profesional dan empati pedagogis, di mana calon guru belajar mengevaluasi strategi pembelajaran berdasarkan bukti empiris. Secara teoretis, hal ini mendukung pandangan Schön tentang *Reflective Practitioner*, bahwa refleksi adalah jantung dari profesionalisme pendidikan, terutama ketika pembelajaran berbasis proyek menjadi sarana menanamkan etika ilmiah dan tanggung jawab sosial.

Menariknya, temuan Sie & Lin (2025) Menyoroti aspek psikologis dari PjBL, keberhasilan proyek tidak hanya bergantung pada kemampuan kognitif, tetapi juga pada kapital psikologis (*hope, resilience, optimism*) peserta didik dalam menghadapi tantangan eksperimen. Data tersebut menegaskan pentingnya dimensi afektif dalam PjBL-STEM, karena peserta didik dengan ketahanan mental tinggi cenderung lebih mampu memperbaiki kesalahan eksperimental dan berpikir berbasis bukti, bukan asumsi, mencerminkan terbentuknya scientific habits of mind yang diidealkan dalam pendidikan abad ke-21. Secara keseluruhan, dari integrasi temuan tersebut dapat disimpulkan bahwa *Project-Based Learning* dalam pembelajaran matematika efektif karena menghubungkan hal nyata dengan konsep abstrak, membangun etika ilmiah melalui kerja kolaboratif, serta memperkuat motivasi intrinsik dan kapasitas reflektif peserta didik. Dalam kerangka teoritis yang lebih luas, PjBL berakar kuat pada paradigma konstruktivisme sosial, di mana proses belajar dipandang sebagai kolaborasi aktif dalam komunitas praktik yang berorientasi pada pemecahan masalah nyata. Dengan demikian, fakta-fakta empiris dalam data mendukung argumen bahwa pembelajaran bermakna dan beretika hanya dapat tumbuh melalui pengalaman yang otentik, reflektif, dan berbasis proyek.

Integrasi Nilai Etika Ilmiah dalam Pelaksanaan PjBL

Project-Based Learning (PjBL) merupakan salah satu model yang berperan penting sebagai media internalisasi nilai-nilai etika ilmiah dalam pembelajaran matematika. Nilai-nilai utama yang diidentifikasi meliputi kejujuran akademik, tanggung jawab ilmiah, kerja sama, refleksi kritis, dan empati sosial. Proses integrasi nilai-nilai ini tidak dilakukan melalui pengajaran eksplisit, tetapi melalui pengalaman belajar kontekstual, kolaboratif, dan reflektif selama pelaksanaan proyek. Sebagaimana pada penelitian oleh Poonputta dan Sakorn (2025) Menegaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang dipadukan dengan refleksi sistematis meningkatkan kesadaran moral peserta didik dan calon guru terhadap proses ilmiah. Mereka belajar untuk mengevaluasi keakuratan data, merevisi strategi pembelajaran, dan mengambil tanggung jawab atas hasil eksperimen mereka sendiri. Hal ini sejalan dengan temuan Rehman, Huang, dan Mahmood (2025), yang menemukan bahwa PjBL dapat mengubah sikap negatif peserta didik terhadap matematika menjadi positif melalui proses kolaboratif yang menanamkan kejujuran akademik dan tanggung jawab terhadap hasil kerja kelompok. Dalam kerangka teori konstruktivisme sosial Vygotsky, pembelajaran bermakna terjadi ketika peserta didik membangun pemahaman melalui interaksi sosial dan refleksi personal terhadap pengalaman belajar. Integrasi etika ilmiah dalam PjBL mencerminkan *learning by doing* oleh Dewey (1986), di mana nilai-nilai moral dan ilmiah tidak ditransfer secara verbal, tetapi dikonstruksi melalui keterlibatan aktif dalam proses inkuiri. Selaras dengan pandangan ini, Rahmawati et al. (2021) Menunjukkan bahwa penggunaan dilema stories dalam PjBL-STEM mendorong peserta didik iswa untuk menimbang aspek moral dari persoalan ilmiah dan bertanggung jawab terhadap keputusan eksperimen mereka.

Temuan penelitian ini memperkuat gagasan bahwa PjBL bukan sekadar pendekatan pedagogis, tetapi juga kerangka etis yang mengembangkan integritas ilmiah dan karakter profesional peserta didik. Penelitian oleh Christopher dan Pinias (2025) Menegaskan pentingnya menggabungkan PjBL dengan pembelajaran berbasis transformasi (*transformative learning*), karena keduanya menumbuhkan refleksi kritis dan kesadaran sosial guru terhadap dampak ilmiah dan moral dari proses pembelajaran. Selain itu, penelitian Sie dan Lin (2025) Ditemukan bahwa *psychological capital* seperti ketekunan, harapan, dan ketangguhan dalam proyek STEM secara signifikan memengaruhi kemampuan pemecahan masalah dan kemandirian belajar peserta didik, yang merupakan bentuk penerapan nilai tanggung jawab ilmiah.

Meskipun sebagian besar penelitian menunjukkan efektivitas integrasi nilai etika ilmiah dalam PjBL, beberapa penelitian juga menyoroti tantangan implementasinya. Kusmaryono dan Basir (2024) melaporkan bahwa penggunaan media digital seperti YouTube-based project learning membutuhkan pengawasan guru agar peserta didik tidak hanya fokus pada produk akhir, tetapi juga memahami etika dalam proses ilmiah seperti validitas data dan kredibilitas sumber. Sementara itu, Tang et al. (2024) menemukan bahwa dalam proyek yang dipilih secara mandiri (*self-selected STEM projects*),

peserta didik lebih termotivasi secara intrinsik dan mengembangkan kesadaran moral terhadap dampak sosial proyek mereka, tetapi keberhasilan ini sangat tergantung pada bimbingan reflektif dari guru. Dengan demikian, PjBL menjadi media ideal untuk menerapkan pendekatan ini karena menyediakan ruang bagi pengalaman otentik, kerja kolaboratif, dan refleksi etis.

Implikasi praktis dari temuan ini menunjukkan bahwa guru perlu merancang proyek yang tidak hanya menekankan hasil produk atau solusi matematis, tetapi juga proses ilmiah yang mengandung nilai-nilai kejujuran, kerja sama, dan tanggung jawab. Pelatihan guru juga perlu mencakup aspek *ethical scaffolding* agar mampu menuntun peserta didik dalam menghadapi dilema moral ilmiah selama proyek. Secara teoretis, penelitian ini memperkuat posisi PjBL sebagai pendekatan pembelajaran yang menggabungkan ranah kognitif dan afektif, menghasilkan peserta didik yang tidak hanya kompeten secara akademik tetapi juga berintegritas secara ilmiah. Sebagai refleksi kritis, hasil penelitian ini mengungkap bahwa efektivitas integrasi etika ilmiah dalam PjBL sangat bergantung pada desain proyek, intensitas refleksi, dan kualitas interaksi antara guru dan peserta didik. Sehingga integrasi nilai etika ilmiah dalam PjBL menjadikan pembelajaran matematika lebih bermakna, karena peserta didik tidak hanya belajar tentang “apa” dan “bagaimana” pada berpikir ilmiahnya, tetapi juga “mengapa” mereka harus melakukannya dengan integritas, tanggung jawab, dan kesadaran moral.

Kecenderungan Tematik dan Implikasi Penelitian

Kecenderungan tematik baru dalam penelitian *Project-Based Learning* (PjBL) pada pembelajaran matematika bergerak dari fokus kognitif menuju penguatan karakter ilmiah dan nilai etika dalam praktik pembelajaran. Secara umum, terdapat tiga arah perkembangan utama: (1) integrasi PjBL dengan pendekatan STEM dan *digital-based learning*, (2) penguatan dimensi reflektif dan kolaboratif guru maupun peserta didik, (3) pembentukan nilai-nilai etika ilmiah dalam perihal pendidikan abad ke-21.

Penelitian oleh Suryadi (2025) dan Selimi et al. (2025) memperlihatkan dominasi tema STEM-PjBL yang menekankan integrasi antardisiplin dan kontekstualisasi konsep matematika ke dalam permasalahan dunia nyata. Model ini dinilai efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kolaboratif, sekaligus menanamkan tanggung jawab ilmiah peserta didik terhadap hasil proyeknya. Temuan ini memperkuat teori konstruktivisme sosial Vygotsky, yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun melalui interaksi sosial, pengalaman langsung, dan refleksi terhadap hal-hal kehidupan nyata. Sementara itu, kecenderungan lain yang muncul adalah penerapan reflektif PjBL dan transformatif PjBL, yang menggabungkan unsur kesadaran moral dan empati sosial ke dalam kegiatan proyek. Penelitian oleh Poonputta dan Sakorn (2025) menegaskan bahwa pembelajaran reflektif dalam PjBL mampu menumbuhkan integritas profesional calon guru matematika melalui evaluasi diri dan refleksi etis terhadap proses pembelajaran. Senada dengan itu, Christopher dan Pinias (2025) menemukan bahwa model PjBL berbasis transformasi sosial (*transformative STEAM education*) membantu calon guru memahami hubungan antara teori pendidikan dan tanggung jawab sosial ilmuwan pendidik. Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian PjBL terkini semakin berorientasi pada pembelajaran humanistik, yang tidak hanya membangun kemampuan intelektual, tetapi juga membentuk karakter ilmiah yang beretika. Selain itu, muncul pula tren penelitian digital PjBL yang memanfaatkan teknologi sebagai sarana inovatif dalam proses proyek.

Kusmaryono dan Basir (2024), misalnya, mengembangkan proyek berbasis YouTube learning media untuk meningkatkan literasi matematika dan tanggung jawab akademik peserta didik. Penggunaan teknologi digital terbukti memperluas ruang kolaborasi dan meningkatkan keterlibatan peserta didik, meskipun peneliti juga menyoroti risiko penurunan kedalaman refleksi etis jika peran guru tidak diarahkan sebagai fasilitator nilai. Penelitian Tang et al. (2024) memperkuat pandangan ini dengan menunjukkan bahwa proyek yang dipilih secara mandiri (*self-selected STEM projects*) meningkatkan otonomi dan tanggung jawab peserta didik, namun tetap memerlukan pendampingan guru agar integrasi nilai moral dan sosial tidak terabaikan. Secara tematik, arah penelitian ini memperluas konsep PjBL dari sekadar model pembelajaran berbasis proyek menjadi kerangka

pendidikan karakter ilmiah. PjBL yang terintegrasi dengan nilai-nilai etika ilmiah menciptakan pengalaman belajar yang *meaningful* karena peserta didik tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mengalami dan merefleksikan praktik ilmiah yang bertanggung jawab. Dari sisi praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan kompetensi guru matematika. Guru perlu memanfaatkan PjBL bukan hanya sebagai strategi peningkatan hasil belajar, tetapi juga sebagai wahana pembentukan karakter ilmiah melalui kegiatan reflektif dan kolaboratif. Kurikulum perlu memberi ruang bagi proyek-proyek autentik yang memungkinkan peserta didik berperan sebagai *young scientist* yang menjunjung etika dalam pengumpulan data, pengambilan keputusan, dan komunikasi hasil. Secara teoretis, temuan ini membuka arah baru dalam literatur PjBL, yaitu pengembangan model Reflective Ethical PjBL yang menempatkan refleksi moral dan tanggung jawab ilmiah sebagai komponen integral dalam desain pembelajaran berbasis proyek.

Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun integrasi nilai etika dalam PjBL memberikan dampak positif, keberhasilannya masih sangat bergantung pada kualitas perancangan proyek dan kemampuan guru dalam memfasilitasi proses refleksi. Sehingga, kecenderungan tematik penelitian terkini menunjukkan bahwa PjBL telah berevolusi dari sekadar metode pembelajaran berbasis proyek menjadi pendekatan pendidikan etis yang menumbuhkan karakter ilmiah, kolaboratif, dan reflektif pada peserta didik di berbagai jenjang pendidikan.

SIMPULAN

Hasil tinjauan sistematis terhadap sebelas artikel yang dianalisis menunjukkan bahwa *Project-Based Learning* (PjBL) berperan penting dalam mengintegrasikan nilai-nilai etika ilmiah dalam pembelajaran matematika. PjBL tidak hanya meningkatkan kemampuan konseptual dan berpikir kritis, tetapi juga menumbuhkan kejujuran akademik, tanggung jawab ilmiah, kerja kolaboratif, dan refleksi moral peserta didik. Nilai-nilai tersebut terbentuk melalui pengalaman belajar autentik dan reflektif, yang menempatkan peserta didik sebagai pembelajar aktif dan beretika. Secara teoretis, penelitian ini memperluas pemahaman tentang PjBL sebagai pendekatan pembelajaran etis yang memadukan ranah kognitif dan afektif dalam pendidikan matematika. Secara praktis, hasilnya menekankan pentingnya peran guru dalam merancang proyek yang tidak hanya berorientasi pada hasil akademik, tetapi juga menginternalisasi integritas ilmiah. Dari sisi kebijakan, temuan ini mendukung perlunya integrasi nilai etika ilmiah dalam kurikulum dan pelatihan guru untuk memperkuat karakter ilmiah di era pendidikan abad ke-21. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan model *Reflective Ethical* PjBL yang menekankan refleksi moral dan tanggung jawab sosial dalam pembelajaran matematika berbasis proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- AlAli, R. (2024). Enhancing 21st Century Skills Through Integrated STEM Education Using Project-Oriented Problem-Based Learning. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 53(2), 421–430. <https://doi.org/https://doi.org/10.30892/gtg.53205-1217>
- Christopher, M., & Pinias, C. (2025). Exploring the Balance Between Theory and Practice of Transformative Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics Teacher Education: A Systematic Literature Review. *Discover Education*, 0. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00695-0>
- Dewey, J. (1986). Experience and Education. *The Educational Forum* ISSN:, 1725(1986), 241–252. <https://doi.org/10.1080/00131728609335764>
- Guay, F. (2022). Applying Self-Determination Theory to Education: Regulations Types, Psychological Needs, and Autonomy Supporting Behaviors. *Canadian Journal of School Psychology*, 37(1), 75–92. <https://doi.org/10.1177/08295735211055355>

- Haatainen, O., & Aksela, M. (2021). Project-based learning in integrated science education : Active teachers ' perceptions and practices. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 9(1), 149–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.31129/LUMAT.9.1.1392>
- Holmes, V., & Hwang, Y. (2016). Exploring the effects of project-based learning in secondary mathematics education. *The Journal of Educational Research*, 109(5), 449–463. <https://doi.org/10.1080/00220671.2014.979911>
- Jiménez-gaona, Y., & Vivanco-Galván, O. (2024). Biotechnology Project-Based Learning Encourages Learning and Mathematics Application. *Frontiers in Education*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1364640>
- Junaidin. (2022). Pembelajaran dalam Pandangan Teori Belajar. *Jurnal Kajian Dan Penelitian Pendidikan Islam*, 16(1), 13–30. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20414/elhikmah.v16i1.6066>
- Kusmaryono, I., & Basir, M. A. (2024). Learning Media Projects with YouTube Videos: A Dynamic Tool for Improving Mathematics Achievement. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 13(2), 934–942. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i2.26720>
- Lazić, B. D., Knežević, J. B., & Maričić, S. M. (2021). The Influence of Project-Based Learning on Student Achievement in Elementary Mathematics Education. *South African Journal of Education*, 41(3), 1–10. <https://doi.org/10.15700/saje.v41n3a1909>
- Luneeva, O. L., & Zakirova, V. G. (2017). Integration of Mathematical and Natural-Science Knowledge in School Students' Project-Based Activity. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 8223(7), 2821–2840. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00720a>
- Ndiung, S., & Menggo, S. (2024). Project-Based Learning in Fostering Creative Thinking and Mathematical Problem-Solving Skills: Evidence from Primary Education in Indonesia. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research* *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 23(8), 289–308. <https://doi.org/10.26803/ijlter.23.8.15>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Bmj*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Poonputta, A., & Sakorn, W. (2025). Developing Pre-service Teachers' Mathematics Teaching Skills and Attitude through Project-Based Learning and Reflective Learning. *Educational Process: International Journal*, 16. <https://doi.org/10.22521/edupij.2025.16.216>
- Rahmawati, Y., Afrizal, A., Astari, D. D., Mardiah, A., Utami, D. B., & Muhab, S. (2021). The Integration of Dilemmas Stories with STEM Project-Based Learning: Analyzing Students' Thinking Skills Using Hess' Cognitive Rigor Matrix. *Journal of Technology and Science Education*, 11(2), 419–439. <https://doi.org/10.3926/jotse.1292>
- Rehman, N., Huang, X., & Mahmood, A. (2025). Altering Students' Attitudes Towards Learning Mathematics Through Project-Based Learning: A Mathematics Project. *South African Journal of Education*, 45(1), 1–14. <https://doi.org/10.15700/saje.v45n1a2491>
- Selimi, N., Berisha, F., & Vula, E. (2025). Enhancing High School Students' Mathematics Achievement and Skills Development Through Integrated STEM-PBL : A Collaborative Action Research Study. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 13(4), 321–335. <https://doi.org/10.30935/scimath/17311>

- Septiadevana, R., & Abdullah, N. (2024). Developing STEM Project-Based Learning Module for Primary School Teachers: A Need Analysis. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 13(4), 2585–2593. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i4.28894>
- Sie, Y.-J., & Lin, K.-Y. (2025). Effects of Psychological Capital and Cognition on STEM Learning in IoT Smart Energy-Saving Projects. *Journal of Baltic Science Education*, 24(2), 340–359. <https://doi.org/10.33225/jbse/25.24.340>
- Syamra, F. M., & Suryadi, A. (2025). Comparing Project-Based Learning and Integrated STEM Approach in Enhancing Scientific Creativity in Renewable Energy Education. *Pedagogical Research*, 10(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.29333/pr/16751>
- Tang, K., McLure, F., Williams, J., & Donnelly, C. (2024). Investigating the Role of Self-Selected STEM Projects in Fostering Student Autonomy and Self-Directed Learning. *The Australian Educational Researcher*, 51(5), 2355–2379. <https://doi.org/10.1007/s13384-024-00696-2>
- Uden, L., Sulaiman, F., Ching, G. S., & Jr, J. J. R. (2023). Integrated science, technology, engineering, and mathematics project-based learning for physics learning from neuroscience perspectives. June 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1136246>
- Viro, E., Lehtonen, D., Joutsenlahti, J., & Tahvanainen, V. (2020). Teachers' Perspectives on Project-Based Learning in Mathematics and Science. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 12–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.30935/scimath/9544>
- Yusuf, A. R., Sutadjī, E., & Sugandī, M. (2023). Integration of STEM Project-Based Learning into 21st Century Learning and Innovation Skills (4Cs) in Vocational Education Using SEM Model Analysis. *Hacettepe Eğitim Dergisi*, 38(4), 454–469. <https://doi.org/10.16986/HUJE.2023.499>