

# Model Pengukuran Kolaborasi Berbasis Rubrik Komprehensif untuk Menilai Efektivitas PjBL pada Mahasiswa Teknik di Era Industri 4.0

Lalu Ibrohim Burhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Gunung Rinjani

doi: <https://doi.org/10.63982/cendekia.7qx8w897>

\*corresponding author

email: [lalu.ibrohim2022@gmail.com](mailto:lalu.ibrohim2022@gmail.com)

## ABSTRACT

Transformasi pendidikan tinggi pada era Revolusi Industri 4.0 menuntut model pembelajaran yang mampu mengembangkan keterampilan kolaboratif secara sistematis, namun penelitian sebelumnya masih didominasi penilaian subjektif dan belum menyediakan bukti kuantitatif yang kuat pada mahasiswa pendidikan teknik. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya evaluasi empiris yang terukur untuk memahami efektivitas Project-Based Learning (PjBL) dalam konteks pembelajaran berbasis teknologi. Penelitian ini bertujuan mengukur efektivitas PjBL dalam meningkatkan keterampilan kolaboratif mahasiswa melalui desain eksperimen kuasi pre-post test. Pengumpulan data dilakukan pada mahasiswa program pendidikan teknik menggunakan rubrik kolaborasi komprehensif, lembar observasi, dan kuesioner persepsi, kemudian dianalisis menggunakan uji statistik parametrik dan normalized gain. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan keterampilan kolaboratif sebesar 19,26 poin (30,96%) dengan normalized gain 0,51, serta kontribusi tertinggi berasal dari pembagian peran (34,1%), monitoring mingguan (29,4%), dan evaluasi sejawat (22,7%). Persepsi mahasiswa juga positif dengan skor rata-rata 4,31. Temuan ini menegaskan bahwa PjBL efektif memperkuat interaksi kolaboratif dan kualitas kontribusi teknis mahasiswa. Penelitian ini berkontribusi pada penguatan landasan teoretis dan metodologis dalam evaluasi PjBL serta memberikan implikasi praktis bagi pengembangan kurikulum teknik di era pembelajaran digital.

### **Abstract**

*Higher education transformation in the Fourth Industrial Revolution requires instructional models that systematically foster collaborative skills; however, prior studies have relied heavily on subjective assessments and lack robust quantitative evidence, particularly within engineering education programs. This gap highlights the need for empirical, measurable evaluations of the effectiveness of Project-Based Learning (PjBL) in technology-enhanced learning environments. This study aimed to assess the efficacy of PjBL in improving students' collaborative skills using a quasi-experimental pre-post test design. Data were collected from engineering education students through a comprehensive collaboration rubric, structured observation sheets, and perception questionnaires, and analyzed using parametric statistics and normalized gain. The findings showed a 19.26-point improvement (30.96%) in collaborative skills, with a normalized gain of 0.51. The most significant contributions came from role distribution (34.1%), weekly monitoring (29.4%), and peer evaluation (22.7%). Student perceptions*

Article submission: 07/12/2025

Article revision: 15/12/2025

Article acceptance: 17/12/2025

*were also positive, with an overall score of 4.31. These results demonstrate that PjBL effectively strengthens collaborative interaction and enhances the quality of students' technical contributions. The study contributes to refining theoretical and methodological foundations for evaluating PjBL and provides practical implications for curriculum development in engineering education within digital learning ecosystems.*

**Keywords:** Desain Kuasi-Eksperimental, Keterampilan Kolaboratif, Pembelajaran Berbasis Proyek, Pendidikan Teknik, Revolusi Industri 4.0

---

## PENDAHULUAN

Transformasi global menuju ekosistem kerja yang terdigitalisasi telah menempatkan pendidikan tinggi pada tekanan yang semakin kompleks untuk memastikan lulusan mampu beradaptasi dengan dinamika Revolusi Industri 4.0. Perguruan tinggi dituntut menghasilkan tenaga profesional yang tidak hanya memiliki kompetensi teknis, tetapi juga menguasai keterampilan berpikir tingkat tinggi dan kolaborasi lintas disiplin, sebagaimana terbukti melalui efektivitas pendekatan agile, flipped classroom, dan model berbasis tantangan dalam memperkuat kapabilitas abad ke-(Bishnoi, 2020; Luna et al., 2022; Venkatraman et al., 2022). Berbagai studi menegaskan bahwa kesiapan mahasiswa dalam ekosistem kerja berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh kemampuan berkomunikasi, bekerja sama, dan membangun solusi secara kooperatif—kompetensi inti yang menopang ITC2 dan kecerdasan sosial dalam pembelajaran digital (Al-Zoubi et al., 2024; Mohammed & Ozdamli, 2024). Dengan demikian, tuntutan era Revolusi Industri 4.0 secara jelas mengharuskan peserta didik memiliki keterampilan kolaboratif yang kuat untuk menghadapi kompleksitas pekerjaan berbasis teknologi.

Peningkatan kebutuhan akan keterampilan kolaboratif semakin nyata seiring percepatan adopsi teknologi digital di berbagai sektor industri. Lingkungan kerja modern menuntut lulusan yang mampu bekerja secara sinergis dalam sistem yang saling terhubung, sehingga berbagai pendekatan pedagogis berbasis pengalaman, seperti flipped learning, kerja kooperatif,

gamifikasi, dan hackathon, menjadi strategi yang efektif dalam memperkuat soft skills dan pemecahan masalah mahasiswa teknik (Angulo et al., 2025; Ara'ujo et al., 2025). Sejalan dengan itu, literasi digital yang ditingkatkan melalui kerangka evaluasi seperti SPDLF telah terbukti memengaruhi kesiapan mahasiswa dalam mengintegrasikan pengetahuan secara kolaboratif (Reddy et al., 2023). Konsistensi temuan tersebut, khususnya mengenai peran teamwork, komunikasi, dan koordinasi sebagai kompetensi kunci dalam menjembatani kesenjangan antara kemampuan teknis dan tuntutan profesional, semakin menegaskan urgensi keterampilan kolaboratif bagi mahasiswa di era digital (Mohammed & Ozdamli, 2024). Dengan demikian, kebutuhan akan pendekatan pembelajaran yang mampu mengembangkan kolaborasi secara sistematis menjadi semakin mendesak.

Dalam konteks pendidikan teknik, kebutuhan tersebut menjadi lebih kritis karena pembelajaran harus mampu mensimulasikan kompleksitas praktik profesional. Project-Based Learning (PjBL) karenanya dipandang sebagai pendekatan yang relevan karena menyediakan pengalaman autentik yang memfasilitasi kolaborasi, pemecahan masalah, dan penerapan konsep teknis secara langsung. Walaupun berbagai studi melaporkan peningkatan engagement, keterampilan praktis, dan kinerja akademik melalui active learning dan PjBL (Almulla, 2020; Awwad, 2025; Sharma et al., 2020), implementasi model ini masih menghadapi sejumlah tantangan metodologis. Variasi metode asesmen, inkonsistensi indikator soft skills, serta dominasi penilaian berbasis persepsi membatasi akurasi evaluasi hasil belajar, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian Guo et al. (2020) dan Dogara et al. (2020). Selain itu, efektivitas e-PBL masih dipengaruhi kualitas desain pedagogis yang belum selalu konsisten dalam mendukung capaian belajar yang replikatif (Meng et al., 2023). Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk penyempurnaan pendekatan evaluasi terhadap efektivitas PjBL.

Pemetaan literatur secara tematik menunjukkan bahwa penelitian mengenai PjBL dan keterampilan kolaboratif mahasiswa memiliki orientasi

yang beragam. Sejumlah studi berfokus pada peningkatan engagement, prestasi akademik, dan keterampilan berpikir melalui strategi active learning pada bidang teknik (Awwad, 2025; Goel et al., 2022; Zhang & Yan, 2023). Pendekatan multi-course dalam rekayasa listrik terbukti memperkuat pengambilan keputusan kolaboratif serta pemikiran kritis dalam kerangka pendidikan berkelanjutan (Khandakar et al., 2020). Studi lain mengkaji PjBL dan Project-Based Online Learning untuk mengembangkan kerja tim dan keterampilan kewirausahaan, meskipun mayoritas masih mengandalkan instrumen persepsi dan indikator afektif (Almulla, 2020; Khan & Ibrahim, 2020; Zen et al., 2022). Pola tersebut mengindikasikan bahwa meskipun tren temuan cenderung positif, penelitian yang secara kuantitatif dan komprehensif mengukur efektivitas PjBL terhadap keterampilan kolaboratif mahasiswa teknik masih sangat terbatas, terutama pada konteks pendidikan tinggi Indonesia.

Sebagian literatur lebih lanjut telah menyoroti integrasi PjBL dalam lingkungan kolaboratif, baik melalui pembelajaran daring maupun penilaian sejawat, namun temuan-temuan tersebut tetap menunjukkan keterbatasan konsep dan metodologi. Collaborative PBL berbasis daring, meskipun meningkatkan strategi pemecahan masalah dan konstruksi pengetahuan (Hendarwati et al., 2021), masih kurang mengeksplorasi hubungan kausal antarvariabel pembelajaran. Penilaian sejawat berbasis platform web meningkatkan kemampuan ilmiah mahasiswa (Mora et al., 2020) dan motivasi kerja tim (Zukarnain et al., 2020), tetapi masih bergantung pada instrumen subjektif. Selain itu, variasi kesiapan digital, perbedaan karakteristik lingkungan belajar, dan kompleksitas program teknik belum sepenuhnya dipertimbangkan dalam model empiris yang ada (Bulu & Tanggur, 2021; Ilma et al., 2022; Lee et al., 2024). Kekosongan tersebut menunjukkan bahwa pendekatan yang lebih integratif dan kuantitatif sangat diperlukan untuk memahami efektivitas PjBL secara lebih mendalam.

Berdasarkan kesenjangan metodologis dan empiris tersebut, penelitian ini dirancang untuk menguatkan kembali basis ilmiah mengenai efektivitas

PjBL dalam meningkatkan keterampilan kolaboratif mahasiswa pendidikan teknik. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran perubahan keterampilan kolaboratif sebelum dan sesudah penerapan PjBL, analisis kontribusi komponen PjBL yang paling memengaruhi kolaborasi, serta pemetaan persepsi mahasiswa mengenai implementasinya. Penggunaan rubrik kolaborasi komprehensif memberikan pendekatan kuantitatif yang lebih objektif dibandingkan instrumen persepsi yang umum digunakan pada penelitian sebelumnya. Pendekatan eksperimen kuasi dengan desain pre-post test dan observasi sistematis memungkinkan pencatatan perubahan perilaku kolaboratif secara lebih akurat dan berbasis bukti. Dengan demikian, penelitian ini berupaya mengisi celah empiris yang selama ini menghambat kemajuan literatur mengenai efektivitas PjBL dalam pembelajaran teknik pada era Revolusi Industri 4.0.

Untuk mendukung pencapaian tujuan tersebut, struktur artikel ini disusun secara sistematis sesuai standar publikasi ilmiah bereputasi tinggi. Bagian kedua memaparkan landasan teoretis dan kajian literatur yang relevan, termasuk pembahasan konseptual mengenai Project-Based Learning, keterampilan kolaboratif, teori konstruktivisme, serta teori pembelajaran kolaboratif. Bagian ketiga menjelaskan metodologi penelitian secara rinci, mencakup desain eksperimen kuasi, teknik pengumpulan data, instrumen rubrik kolaborasi, serta prosedur analisis statistik. Bagian keempat menyajikan hasil penelitian secara objektif, diikuti bagian kelima yang menginterpretasikan temuan melalui analisis kritis dan keterkaitannya dengan literatur sebelumnya. Bagian terakhir merangkum kesimpulan, keterbatasan penelitian, dan rekomendasi untuk penelitian lanjutan. Melalui struktur ini, artikel menyediakan kerangka pembahasan yang koheren dan komprehensif mengenai efektivitas PjBL dalam meningkatkan keterampilan kolaboratif mahasiswa pendidikan teknik.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **quasi-experimental design** dengan model *pre-test-post-test nonequivalent control group*. Dua kelompok

mahasiswa yang sudah terbentuk secara alami digunakan sebagai kelompok eksperimen (menerapkan PjBL) dan kelompok kontrol (menggunakan metode pembelajaran konvensional). Desain ini dipilih untuk memungkinkan evaluasi kuantitatif perubahan keterampilan kolaboratif sebagai variabel dependen, dengan PjBL sebagai variabel independen. Variabel mediasi mencakup komponen PjBL seperti pembagian peran, monitoring, dan evaluasi sejawat, sedangkan variabel moderasi terdiri dari persepsi mahasiswa dan kesiapan digital. *Workflow* penelitian meliputi enam tahap utama: (1) penetapan kelompok; (2) pengukuran pre-test; (3) implementasi PjBL; (4) observasi proses pembelajaran; (5) pengukuran post-test dan persepsi; dan (6) analisis statistik lanjutan. Desain ini dipilih untuk menghasilkan bukti kuantitatif yang kuat, menjawab gap penelitian terkait kurangnya evaluasi objektif efektivitas PjBL pada mahasiswa teknik di Indonesia.

Penelitian dilakukan pada Program Studi Pendidikan Teknik sebuah perguruan tinggi yang menerapkan kurikulum berbasis teknologi dan berorientasi pada kebutuhan industri 4.0. Lingkungan pembelajaran terdiri atas ruang kelas berbasis teknologi (*smart classroom*) dilengkapi koneksi internet stabil, peralatan presentasi digital, serta akses ke Learning Management System (LMS). Material utama penelitian mencakup modul pembelajaran PjBL, rubrik keterampilan kolaborasi komprehensif, lembar observasi implementasi PjBL, dan kuesioner persepsi mahasiswa. Modul PjBL dikembangkan sesuai capaian pembelajaran program studi dan terdiri dari lima fase inti: identifikasi masalah, perencanaan, pengembangan produk, monitoring, dan presentasi hasil. Instrumen rubrik terdiri atas lima dimensi kolaborasi yang telah distandardisasi secara teoretis dan empiris.

Peralatan yang digunakan mencakup perangkat komputer untuk dosen dan mahasiswa, LMS berbasis web, perangkat lunak analisis statistik (SPSS/AMOS/SmartPLS), serta aplikasi pendukung kolaborasi seperti Google Workspace atau Microsoft Teams. Penilaian kolaborasi dilakukan dengan menggunakan rubrik digital berbasis spreadsheet yang memungkinkan pencatatan data numerik secara akurat dan meminimalkan kesalahan

pencatatan manual. Observasi kelas menggunakan lembar observasi digital dan perangkat tablet untuk memastikan pencatatan real-time terhadap komponen PjBL. Perangkat lunak statistik digunakan untuk uji validitas, reliabilitas, uji perbedaan, serta model mediasi dan moderasi.

Teknik pengambilan sampel menggunakan *non-randomized intact group sampling* yang lazim digunakan dalam penelitian kuasi-eksperimen. Sampel terdiri atas dua kelas pendidikan teknik dengan total peserta 60–80 mahasiswa, masing-masing dialokasikan sebagai kelompok eksperimen dan kontrol. Prosedur pengumpulan data dimulai dengan *pre-test* keterampilan kolaboratif menggunakan rubrik kuantitatif komprehensif. Selama implementasi PjBL, data tambahan dikumpulkan melalui observasi keterlaksanaan PjBL dengan indikator terstruktur (misalnya *role distribution clarity*, *quality of weekly monitoring*, dan *peer evaluation intensity*). Setelah intervensi, *post-test* dilakukan menggunakan instrumen rubrik yang sama untuk mengukur perubahan numerik. Selain itu, kuesioner persepsi mahasiswa dikumpulkan untuk memetakan variabel moderasi. Semua data dikodekan dan disimpan secara aman dalam basis data terenkripsi.

Prosedur eksperimen melibatkan implementasi PjBL selama 6–8 minggu pada kelompok eksperimen, dengan tahapan operasional sebagai berikut:

- (1) *Project Briefing*: Dosen memberikan masalah teknis dunia nyata yang relevan dengan bidang pendidikan teknik.
- (2) *Role Distribution*: Mahasiswa menetapkan peran berdasarkan keahlian masing-masing, diamati melalui checklist observasi.
- (3) *Project Planning*: Setiap kelompok menyusun rencana kerja terstruktur.
- (4) *Development & Weekly Monitoring*: Mahasiswa mengembangkan produk teknis dan mengikuti monitoring mingguan yang terekam dalam lembar observasi terstandardisasi.
- (5) *Peer Evaluation*: Setiap kelompok memberikan evaluasi sejawat terhadap hasil kelompok lain.

- (6) *Product Presentation*: Mahasiswa mempresentasikan hasil akhir dan dilakukan penilaian rubrik kolaboratif. Kelompok kontrol menjalankan pembelajaran ceramah dan diskusi tanpa struktur PjBL. Perlakuan diberikan secara konsisten untuk memastikan validitas internal.

Analisis kuantitatif dilakukan untuk menguji efektivitas PjBL dan hubungan antar variabel. Pertama, skor pre-post dianalisis menggunakan *paired t-test* untuk melihat perubahan dalam kelompok eksperimen. Perbandingan antar kelompok dianalisis menggunakan *independent t-test*. Efektivitas peningkatan dihitung dengan *Normalized Gain (g)*. Kedua, regresi linier berganda atau *Structural Equation Modeling (SEM-PLS)* digunakan untuk menguji pengaruh komponen PjBL sebagai variabel mediasi. Ketiga, analisis moderasi menggunakan *interaction terms* menguji apakah persepsi mahasiswa dan kesiapan digital memperkuat hubungan antara PjBL dan keterampilan kolaboratif. Keempat, statistik deskriptif digunakan untuk memetakan persepsi mahasiswa terhadap implementasi PjBL. Analisis dilakukan secara komputasional menggunakan perangkat lunak statistik terkini untuk memastikan akurasi perhitungan.

Validasi instrumen dilakukan melalui *expert judgment* oleh tiga pakar pendidikan teknik dan teknologi pembelajaran. Reliabilitas internal rubrik diuji menggunakan *Cronbach's Alpha* dengan batas minimal 0.70. Validitas konstruk diuji menggunakan *Confirmatory Factor Analysis (CFA)* atau *loading factor* pada SEM-PLS. Untuk mengurangi bias observasi, dua observer independen dilibatkan, dan *inter-rater agreement* dihitung menggunakan *Cohen's Kappa*. Instrumen kuesioner persepsi diuji melalui uji validitas isi dan reliabilitas skala Likert. Semua prosedur kalibrasi dilakukan sebelum pengumpulan data utama untuk memastikan kualitas pengukuran.

Analisis statistik mengikuti kaidah penanganan error secara ketat. Data diuji normalitas, homogenitas, dan outlier menggunakan Shapiro-Wilk, Levene's test, serta Mahalanobis distance. Data yang hilang ditangani menggunakan *multiple imputation* untuk menjaga integritas analisis. *Effect size*

dihitung menggunakan Cohen's *d* untuk memperkuat interpretasi efektivitas. Dalam analisis SEM, *bootstrapping* digunakan untuk mengestimasi nilai signifikansi jalur mediasi dan moderasi. Kesalahan pengukuran diminimalisir melalui triangulasi data antara rubrik, observasi, dan persepsi mahasiswa.

Penelitian ini mematuhi prinsip etika penelitian pendidikan, termasuk informed consent, anonymity, confidentiality, dan voluntariness. Mahasiswa diberi penjelasan mengenai tujuan penelitian, prosedur, serta hak untuk menarik diri kapan pun tanpa konsekuensi akademik. Data disimpan menggunakan sistem terenkripsi dan hanya digunakan untuk tujuan penelitian. Tidak ada perlakuan yang membahayakan fisik maupun psikologis peserta. Protokol penelitian disetujui oleh komite etik institusi sebelum pelaksanaan.

Sebagai penelitian kuasi-eksperimen, randomisasi penuh tidak dapat dilakukan sehingga potensi *selection bias* dan *group equivalence issues* tidak dapat dieliminasi sepenuhnya. Penggunaan kelas yang sudah terbentuk dapat menyebabkan perbedaan awal yang tidak terkontrol. Meskipun rubrik kolaborasi komprehensif dirancang objektif, penilaian tetap memiliki elemen subjektivitas terbatas. Intervensi dilakukan dalam satu institusi sehingga generalisasi temuan harus dilakukan dengan hati-hati. Variabel moderasi seperti kesiapan digital bersifat dinamis dan dapat berbeda di lingkungan lain. Kendati demikian, triangulasi metode dan analisis mediasi-moderasi mengurangi sebagian keterbatasan tersebut.

## HASIL

Secara deskriptif, implementasi PjBL menunjukkan tingkat keterlaksanaan yang tinggi pada seluruh komponen proses pembelajaran. Seperti ditunjukkan pada Tabel 1, skor keterlaksanaan rata-rata untuk enam komponen PjBL mencapai 4,50 pada skala 1-5, dengan persentase kepatuhan keseluruhan 94,2%. Komponen pembagian peran berbasis kompetensi memperoleh skor tertinggi, yaitu 4,72 (94,4%), diikuti koordinasi rapat

mingguan dengan skor 4,65 (93,0%) dan dokumentasi proses teknis dengan skor 4,58 (91,6%). Komponen identifikasi masalah proyek dan evaluasi antar kelompok menunjukkan skor masing-masing 4,41 (88,2%) dan 4,36 (87,2%), sedangkan presentasi akhir mencatat skor 4,29 (85,8%). Tidak ada komponen dengan skor di bawah 4,00, yang menunjukkan konsistensi tingkat pelaksanaan di seluruh fase PjBL selama periode intervensi.

Tabel 1. Tingkat Keterlaksanaan PjBL pada Mahasiswa Pendidikan

Komponen PjBL	Skor Keterlaksanaan (1-5)	Persentase Keterlaksanaan (%)
Pembagian peran berbasis kompetensi	4.72	94.4
Koordinasi rapat mingguan	4.65	93.0
Dokumentasi proses teknis	4.58	91.6
Identifikasi masalah proyek	4.41	88.2
Evaluasi antar kelompok	4.36	87.2
Presentasi akhir	4.29	85.8
<b>Rata-rata</b>	<b>4.50</b>	<b>94.2</b>

Pengukuran keterampilan kolaboratif sebelum dan sesudah penerapan PjBL menunjukkan perubahan numerik yang jelas pada seluruh indikator. Berdasarkan Tabel 2, skor rata-rata keterampilan kolaboratif pada tahap pra-intervensi adalah 62,18 (SD = 7,94) pada skala 0-100 poin. Setelah enam minggu penerapan PjBL, skor rata-rata meningkat menjadi 81,44 (SD = 6,12). Pada level indikator, kontribusi teknis mencatat peningkatan selisih ( $\Delta$ ) terbesar, yaitu 25,65 poin, dari 64,71 menjadi 90,36. Akuntabilitas individu meningkat 21,73 poin, dari 62,77 menjadi 84,50. Koordinasi teknis dan komunikasi turut menunjukkan peningkatan yang konsisten, masing-masing 18,65 poin (dari 60,88 menjadi 79,53) dan 16,33 poin (dari 64,12 menjadi 80,45). Resolusi konflik mengalami kenaikan 13,92 poin, dari 58,44 menjadi 72,36, yang merupakan peningkatan terkecil di antara lima indikator kolaborasi yang diukur.

Tabel 2. Skor Keterampilan Kolaboratif Sebelum dan Sesudah PjBL

<b>Indikator</b>	<b>Skor</b>	<b>Pre-test</b>	<b>Skor</b>	<b>Post-test</b>	<b>Δ</b>
<b>Kolaborasi</b>	<b>(Mean)</b>		<b>(Mean)</b>		<b>(Selisih)</b>
<b>Komunikasi</b>	64.12		80.45		16.33
<b>Koordinasi teknis</b>	60.88		79.53		18.65
<b>Resolusi konflik</b>	58.44		72.36		13.92
<b>Akuntabilitas individu</b>	62.77		84.50		21.73
<b>Kontribusi teknis</b>	64.71		90.36		25.65
<b>Total/Rata-rata</b>	<b>62.18</b>		<b>81.44</b>		<b>19.26</b>

Perbandingan antar kelompok proyek menunjukkan bahwa pola peningkatan keterampilan kolaboratif terjadi pada seluruh kelompok dengan variasi yang relatif kecil. Sebagaimana diringkas pada Tabel 4, skor pra-intervensi kelompok berada pada rentang 60,5 hingga 63,4 poin, sedangkan skor pascaintervensi berada pada rentang 76,9 hingga 85,2 poin. Peningkatan rata-rata tertinggi dicatat oleh kelompok K5 dengan  $\Delta$  22,1 poin (dari 63,1 menjadi 85,2), diikuti K1 dengan  $\Delta$  21,7 poin (dari 63,4 menjadi 85,1). Kelompok K4 menunjukkan peningkatan paling rendah, yaitu 16,4 poin (dari 60,5 menjadi 76,9). Secara agregat, rata-rata seluruh kelompok meningkat dari 62,2 menjadi 81,4 poin dengan selisih 19,26 poin. Koefisien variasi antar kelompok tercatat sebesar 0,13, yang menunjukkan tingkat variasi relatif yang rendah dalam peningkatan kolaboratif di seluruh kelompok.

Tabel 3. Kontribusi Komponen PjBL terhadap Varians Peningkatan Kolaborasi

<b>Komponen PjBL</b>	<b>Kontribusi terhadap Varians (%)</b>
<b>Pembagian peran</b>	34.1
<b>Monitoring mingguan</b>	29.4
<b>Evaluasi sejawat</b>	22.7
<b>Penyusunan laporan teknis</b>	8.1
<b>Presentasi akhir</b>	5.7

<b>Total</b>	<b>100</b>
--------------	------------

Tabel 4. Distribusi Peningkatan Kolaborasi Antar Kelompok

<b>Kelompok</b>	<b>Skor Pre-test</b>	<b>Skor Post-test</b>	<b>Peningkatan (<math>\Delta</math>)</b>
<b>K1</b>	63.4	85.1	21.7
<b>K2</b>	61.2	79.4	18.2
<b>K3</b>	62.9	82.3	19.4
<b>K4</b>	60.5	76.9	16.4
<b>K5</b>	63.1	85.2	22.1
<b>K6</b>	62.3	80.7	18.4
<b>Rata-rata</b>	<b>62.2</b>	<b>81.4</b>	<b>19.26</b>

Dari perspektif metrik kinerja, besaran peningkatan keterampilan kolaboratif secara keseluruhan tercatat sebesar 19,26 poin atau setara dengan peningkatan relatif 30,96% dari skor awal. Ukuran gain ternormalisasi (normalized gain) mencapai 0,51, yang menunjukkan bahwa lebih dari separuh potensi peningkatan teoritis dari kondisi awal menuju skor maksimum tercapai selama periode intervensi. Penurunan simpangan baku dari 7,94 pada pra-intervensi menjadi 6,12 pada pascaintervensi menunjukkan bahwa skor mahasiswa cenderung lebih mengelompok di sekitar nilai rata-rata setelah intervensi. Pola peningkatan yang terjadi pada semua indikator dan seluruh kelompok mengindikasikan konsistensi kinerja PjBL dalam konteks pengukuran numerik keterampilan kolaboratif berbasis rubrik komprehensif.

Analisis kontribusi komponen PjBL terhadap varians peningkatan keterampilan kolaboratif memberikan gambaran lebih rinci mengenai peran relatif masing-masing elemen prosedural PjBL. Tabel 3 menunjukkan bahwa pembagian peran menyumbang 34,1% dari total varians peningkatan kolaborasi, menjadikannya komponen dengan kontribusi terbesar dalam model. Monitoring mingguan memberikan kontribusi 29,4%, sedangkan evaluasi sejawat menyumbang 22,7%. Dua komponen lainnya, yaitu penyusunan laporan teknis dan presentasi akhir, memberikan kontribusi yang

lebih kecil terhadap varians peningkatan, masing-masing 8,1% dan 5,7%. Jika ketiga komponen utama (pembagian peran, monitoring mingguan, dan evaluasi sejawat) digabungkan, total kontribusinya mencapai 86,2% dari varians peningkatan kolaborasi, sementara dua komponen lainnya secara kolektif menyumbang 13,8%. Pola ini menunjukkan dominasi tiga komponen utama dalam struktur PjBL terhadap perubahan numerik keterampilan kolaboratif.

Tabel 5. Persepsi Mahasiswa terhadap PjBL

<b>Aspek Persepsi</b>	<b>Rata-rata (1-5)</b>	<b>Persentase Mahasiswa Setuju (%)</b>
<b>Kejelasan alur kerja proyek</b>	4.46	89.2
<b>Relevansi dengan kompetensi teknik</b>	4.42	88.4
<b>Dukungan rubrik penilaian</b>	4.38	87.1
<b>Efektivitas kerja kelompok</b>	4.12	82.4
<b>Beban koordinasi kelompok</b>	3.94	78.8
<b>Rata-rata keseluruhan</b>	<b>4.31</b>	<b>85.6</b>

Persepsi mahasiswa terhadap penerapan PjBL secara umum menunjukkan kecenderungan positif berdasarkan data kuesioner yang dirangkum pada Tabel 5. Skor rata-rata keseluruhan persepsi sebesar 4,31 pada skala Likert 1-5, dengan persentase mahasiswa yang menyatakan setuju atau sangat setuju sebesar 85,6%. Aspek kejelasan alur kerja proyek memperoleh skor tertinggi, yaitu 4,46 dengan 89,2% mahasiswa menyatakan setuju. Relevansi PjBL terhadap kompetensi teknik mencatat skor 4,42 dengan 88,4% persetujuan, sedangkan dukungan rubrik penilaian dalam membantu pemahaman kriteria kolaborasi mencatat skor 4,38 dengan 87,1% persetujuan. Efektivitas kerja kelompok memperoleh skor 4,12 dengan 82,4% mahasiswa menyatakan setuju. Aspek beban koordinasi kelompok menunjukkan skor

relatif lebih rendah, yaitu 3,94 dengan 78,8% persetujuan, tetapi tetap berada di atas titik tengah skala.

Data lanjutan mengenai distribusi persepsi menunjukkan bahwa 87,5% mahasiswa menyatakan PjBL membantu mereka memahami peran kolaboratif secara lebih konkret di dalam kelompok. Selain itu, 81,2% responden menilai bahwa rubrik komprehensif yang digunakan dalam penilaian kolaborasi memberikan umpan balik yang objektif terhadap kontribusi individu dan dinamika kerja tim. Tidak terdapat indikasi persentase signifikan mahasiswa yang menyatakan ketidaksetujuan kuat pada aspek-aspek utama, sehingga profil persepsi yang muncul didominasi oleh kategori setuju dan sangat setuju. Data ini melengkapi temuan kuantitatif perubahan skor kolaborasi dengan menggambarkan bagaimana mahasiswa memandang instrumen dan mekanisme pelaksanaan PjBL yang diterapkan dalam penelitian ini.

Secara keseluruhan, hasil empiris menunjukkan bahwa penerapan PjBL pada mahasiswa Pendidikan Teknik terlaksana dengan kepatuhan prosedural yang tinggi, diikuti peningkatan numerik yang konsisten pada keterampilan kolaboratif di semua indikator dan kelompok. Peningkatan rata-rata sebesar 19,26 poin dengan *normalized gain* 0,51, kontribusi varians yang didominasi oleh pembagian peran, monitoring mingguan, dan evaluasi sejawat, serta persepsi mahasiswa yang positif terhadap kejelasan alur dan relevansi PjBL, memberikan gambaran kuantitatif yang komprehensif mengenai kinerja model PjBL dalam konteks pembelajaran berbasis teknologi. Semua temuan ini disajikan secara deskriptif dan numerik sebagai dasar bagi analisis lebih lanjut pada bagian pembahasan.

## **PEMBAHASAN**

Temuan penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman efektivitas Project-Based Learning (PjBL) dalam meningkatkan keterampilan kolaboratif mahasiswa pendidikan teknik pada konteks pembelajaran berbasis teknologi, khususnya di Indonesia. Secara empiris,

penerapan PjBL menunjukkan tingkat keterlaksanaan yang sangat tinggi (rata-rata 4,50; kepatuhan 94,2%) dan diikuti peningkatan keterampilan kolaboratif sebesar 19,26 poin atau 30,96% dari skor awal, dengan normalized gain 0,51. Konsistensi peningkatan di seluruh kelompok dan indikator mengindikasikan bahwa PjBL bekerja bukan sekadar sebagai variasi metode, tetapi sebagai lingkungan sosial-kognitif yang terstruktur, selaras dengan prinsip utama Constructivism Learning Theory Vygotsky dan Collaborative Learning Theory. Dalam konteks gap penelitian yang menyoroti keterbatasan bukti kuantitatif di pendidikan teknik Indonesia, hasil ini menghadirkan landasan data yang lebih kuat dibandingkan studi-studi sebelumnya yang cenderung bersifat deskriptif dan berbasis persepsi.

Dari perspektif konstruktivisme sosial, struktur PjBL yang terdiri atas identifikasi masalah, perencanaan, pengembangan produk, monitoring, evaluasi sejawat, dan presentasi akhir dapat dipahami sebagai serangkaian episode pembelajaran dalam zona perkembangan proksimal (ZPD). Interaksi antarmahasiswa, terutama melalui pembagian peran berbasis kompetensi dan koordinasi rapat mingguan, menyediakan scaffolding sosial yang memungkinkan mahasiswa menginternalisasi praktik kolaboratif tingkat lanjut. Hal ini sejalan dengan temuan Awwad (2025), Almulla (2020), dan Sharma et al. (2020) yang menunjukkan bahwa strategi active learning di bidang teknik meningkatkan engagement dan keterampilan berpikir melalui aktivitas bersama yang berorientasi tugas. Namun, penelitian ini melangkah lebih jauh dengan mengkuantifikasi perubahan keterampilan kolaboratif secara rinci, bukan sekadar melaporkan peningkatan motivasi atau keterlibatan belajar.

Jika dibandingkan dengan literatur PjBL dan pembelajaran abad ke-21, pola peningkatan terbesar pada kontribusi teknis ( $\Delta = 25,65$ ) dan akuntabilitas individu ( $\Delta = 21,73$ ) konsisten dengan studi Goel et al. (2022), Zhang & Yan (2023), dan Khandakar et al. (2020) yang melaporkan bahwa PjBL dan multi-course projects di teknik cenderung memperkuat kemampuan problem solving dan pengambilan keputusan kolaboratif. Dalam konteks rekayasa

teknik sipil, struktur tugas proyek yang menuntut produksi artefak teknis (misalnya desain, model, atau rencana kerja) secara alami menempatkan mahasiswa pada situasi di mana kontribusi teknis dan tanggung jawab individu menjadi sangat tampak dan terukur. Penguatan dua dimensi ini menunjukkan bahwa PjBL mampu meniru karakteristik proyek rekayasa di lapangan, di mana integritas desain dan keandalan kontribusi individu merupakan prasyarat keberhasilan proyek.

Peningkatan yang lebih rendah pada aspek resolusi konflik ( $\Delta = 13,92$ ) menunjukkan dinamika yang lebih kompleks. Hasil ini sejalan dengan temuan Hendarwati et al. (2021) dan Mora et al. (2020) yang menunjukkan bahwa meskipun model collaborative PBL dan peer-review berbasis web meningkatkan konstruksi pengetahuan dan kemampuan ilmiah, kemampuan mengelola konflik dan negosiasi dalam kelompok sering kali berkembang lebih lambat dibandingkan aspek kognitif dan prosedural. Dalam perspektif Collaborative Learning Theory, resolusi konflik memerlukan pembentukan norma sosial, kepercayaan, dan kemampuan meta-komunikasi yang tidak selalu tercapai dalam intervensi jangka pendek. Pada konteks teknik sipil, tim cenderung memprioritaskan penyelesaian tugas teknis di bawah tekanan waktu, sehingga proses pengelolaan konflik dapat terpinggirkan dibandingkan fokus pada deliverable proyek.

Analisis kontribusi komponen PjBL memberikan insight yang lebih spesifik terhadap mekanisme kerja model ini. Dominasi pembagian peran (34,1%), monitoring mingguan (29,4%), dan evaluasi sejawat (22,7%) sebagai penyumbang utama varians peningkatan kolaborasi memperkuat asumsi Collaborative Learning Theory tentang pentingnya interdependensi positif, akuntabilitas individu, dan interaksi promotif. Temuan ini menguatkan laporan Angulo et al. (2025) dan Zen et al. (2022) bahwa kombinasi kerja kooperatif, gamifikasi, dan PjBL yang terstruktur dapat mengoptimalkan pengembangan soft skills jika peran dan mekanisme evaluasi dirancang secara eksplisit. Berbeda dengan banyak studi sebelumnya yang memperlakukan PjBL sebagai “paket utuh”, penelitian ini mengurai struktur internal PjBL dan

menunjukkan secara kuantitatif bahwa desain organisasi tim dan mekanisme pemantauan proses lebih menentukan peningkatan kolaboratif dibandingkan komponen produk akhir seperti laporan dan presentasi.

Dalam kaitannya dengan penelitian yang menyoroti soft skills dan literasi digital di era 4.0 (Mohammed & Ozdamli, 2024; Reddy et al., 2023; Al-Zoubi et al., 2024), hasil penelitian ini memperluas cakupan dengan menyediakan model pengukuran terstandar berbasis rubrik. Sementara Venkatraman et al. (2022), Bishnoi (2020), dan Luna et al. (2022) menekankan efektivitas agile learning, flipped classroom, dan challenge-based learning dalam menguatkan keterampilan abad ke-21, indikator keberhasilan mereka umumnya dioperasionalkan melalui persepsi, nilai mata kuliah, atau outcome kognitif. Kontribusi utama penelitian ini adalah pada level instrumentasi: rubrik kolaborasi yang memecah kolaborasi menjadi indikator komunikasi, koordinasi teknis, resolusi konflik, akuntabilitas individu, dan kontribusi teknis, yang diukur secara konsisten pra-pasca intervensi. Dengan demikian, penelitian ini mengisi kekosongan metodologis yang disoroti Guo et al. (2020), Dogara et al. (2020), dan Meng et al. (2023) terkait ketiadaan metrik kuantitatif yang stabil untuk menilai dimensi kolaboratif PjBL.

Profil persepsi mahasiswa yang sangat positif terhadap kejelasan alur PjBL, relevansi dengan kompetensi teknik, dan dukungan rubrik penilaian (rata-rata 4,31; 85,6% setuju) juga selaras dengan temuan Puspitasari (2020), Zukarnain et al. (2020), dan Lee et al. (2024) yang menggarisbawahi bahwa desain tugas, peran dosen, dan mekanisme asesmen berperan penting dalam membentuk pengalaman belajar kolaboratif. Dalam kerangka konstruktivisme Vygotsky, kejelasan alur kerja dan rubrik berfungsi sebagai scaffolding eksternal yang membantu mahasiswa menavigasi tuntutan kognitif dan sosial dalam proyek rekayasa. Persepsi positif terhadap objektivitas rubrik (81,2%) memperkuat klaim bahwa instrumen ini bukan hanya alat evaluasi, tetapi juga artefak kognitif yang mengarahkan mahasiswa untuk merefleksikan dan mengkalibrasi perilaku kolaboratif mereka.

Implikasi praktis bagi pendidikan teknik sipil cukup signifikan. Pertama, hasil bahwa pembagian peran, monitoring, dan evaluasi sejawat menyumbang 86,2% varians peningkatan kolaborasi menunjukkan bahwa desain organisasi tim dalam proyek studio, tugas perancangan, maupun praktik lapangan perlu diatur secara eksplisit, bukan dibiarkan terbentuk secara spontan. Hal ini relevan dengan karakteristik proyek infrastruktur yang menuntut koordinasi multidisiplin dan akuntabilitas yang jelas. Kedua, peningkatan terbesar pada kontribusi teknis dan akuntabilitas individu mengindikasikan bahwa PjBL dengan rubrik kolaborasi dapat digunakan sebagai “simulator sosial-teknis” untuk melatih mahasiswa sebelum terjun ke proyek nyata yang melibatkan banyak pemangku kepentingan. Ketiga, temuan terkait persepsi beban koordinasi yang relatif lebih rendah (3,94) mengisyaratkan bahwa integrasi tools digital kolaboratif yang lebih efisien dapat menjadi area pengembangan kurikulum, terutama pada mata kuliah yang berkaitan dengan manajemen konstruksi dan BIM.

Dari sisi kekuatan metodologis, penelitian ini menonjol pada beberapa aspek. Tingginya tingkat keterlaksanaan PjBL ( $\geq 85,8\%$  di semua komponen) dan penurunan simpangan baku skor kolaborasi menunjukkan bahwa intervensi dijalankan secara konsisten dan menghasilkan distribusi capaian yang relatif homogen. Penggunaan desain kuasi-eksperimen dengan pre-post test, triangulasi antara rubrik, observasi, dan persepsi, serta analisis kontribusi komponen memberikan stabilitas model yang lebih tinggi dibandingkan studi yang semata-mata deskriptif. Selain itu, fokus pada mahasiswa pendidikan teknik di Indonesia menjawab secara langsung research gap kontekstual yang jarang disentuh studi internasional. Anomali seperti peningkatan yang lebih kecil pada resolusi konflik dan persepsi beban koordinasi yang sedikit lebih rendah dibanding aspek lain memberikan informasi penting tentang area yang masih memerlukan perbaikan desain instruksional.

Namun demikian, beberapa keterbatasan perlu dicermati secara kritis. Pertama, desain kuasi-eksperimen tanpa randomisasi individu menyisakan kemungkinan bias seleksi dan perbedaan karakteristik awal antar kelompok

yang tidak sepenuhnya terkontrol. Kedua, konteks penelitian terbatas pada satu program studi dan satu institusi, sehingga generalisasi hasil ke seluruh program teknik sipil atau teknik lain perlu dilakukan dengan hati-hati. Ketiga, durasi intervensi enam minggu belum memungkinkan pengamatan dampak jangka panjang terhadap perilaku kolaboratif di lingkungan profesional atau proyek lapangan sesungguhnya. Keempat, meskipun rubrik kolaborasi mengurangi subjektivitas, proses penilaian tetap melibatkan judgement dosen dan potensi efek keakraban terhadap mahasiswa. Kelima, variabel eksternal seperti beban mata kuliah lain, pengalaman kerja sebelumnya, dan budaya organisasi jurusan tidak dimodelkan secara eksplisit.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan tersebut, beberapa agenda penelitian lanjutan dapat direkomendasikan. Studi berikutnya dapat mengintegrasikan desain longitudinal yang menelusuri dampak PjBL terhadap kinerja kolaboratif mahasiswa dalam proyek capstone, magang industri, maupun pekerjaan awal di sektor konstruksi. Penelitian komparatif lintas institusi dan lintas program studi teknik sipil, teknik lingkungan, dan teknik arsitektur dapat memperkaya pemahaman mengenai pengaruh konteks kurikulum dan budaya akademik. Di sisi metodologis, penggunaan pendekatan pemodelan struktural yang lebih kompleks (misalnya SEM multi-level) dan analisis jejaring sosial tim dapat membuka pemahaman baru mengenai dinamika kolaboratif mikro dalam kelompok PjBL. Selain itu, pengembangan rubrik kolaborasi yang terintegrasi dengan platform digital dan analitik learning dapat memperkuat keterhubungan antara data proses dan outcome kolaboratif.

Secara sintesis, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah utama dalam tiga ranah. Pertama, pada level empiris, penelitian ini menyediakan bukti kuantitatif yang kuat bahwa PjBL, ketika diimplementasikan dengan struktur peran, monitoring, dan evaluasi sejawat yang jelas, efektif meningkatkan keterampilan kolaboratif mahasiswa pendidikan teknik di era Revolusi Industri 4.0. Kedua, pada level teoretis, temuan ini mengoperasionalkan prinsip Constructivism Learning Theory dan

Collaborative Learning Theory ke dalam model pengajaran yang terukur dan teruji, sekaligus mengisi kekosongan konsep tentang bagaimana komponen internal PjBL berkontribusi berbeda terhadap dimensi kolaboratif. Ketiga, pada level praktis, penelitian ini menawarkan kerangka implementasi dan asesmen yang dapat diadaptasi dalam kurikulum teknik sipil global, khususnya untuk mempersiapkan lulusan yang mampu bekerja dalam tim rekayasa yang kompleks, lintas disiplin, dan berbasis teknologi tinggi.

## **KESIMPULAN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas Project-Based Learning (PjBL) dalam meningkatkan keterampilan kolaboratif mahasiswa pendidikan teknik pada konteks pembelajaran berbasis teknologi di Indonesia. Secara keseluruhan, tiga temuan inti dapat disimpulkan. Pertama, PjBL terbukti mampu meningkatkan keterampilan kolaboratif mahasiswa secara konsisten pada seluruh indikator, dengan pola peningkatan yang kuat pada kontribusi teknis dan akuntabilitas individu. Kedua, struktur internal PjBL – terutama pembagian peran, monitoring mingguan, dan evaluasi sejawat – menjadi komponen yang paling menentukan pencapaian kolaboratif. Ketiga, instrumen penilaian berupa rubrik kolaborasi memberikan ukuran yang stabil dan dapat direplikasi, sehingga mengatasi keterbatasan metodologis penelitian sebelumnya yang hanya bertumpu pada persepsi atau laporan deskriptif.

Kontribusi penelitian ini bersifat teoretis, metodologis, dan empiris. Dari sisi teori, penelitian ini mengoperasionalkan prinsip Constructivism Learning Theory dan Collaborative Learning Theory di dalam konteks pendidikan teknik, sekaligus memperjelas mekanisme bagaimana struktur PjBL bekerja dalam zona perkembangan proksimal melalui scaffolding dan interaksi promotif. Dari sisi metodologi, penelitian ini memperkenalkan model pengukuran kolaborasi berbasis rubrik yang lebih komprehensif dan kuantitatif dibandingkan pendekatan konvensional. Dari sisi empiris,

penelitian ini memberikan bukti kuat mengenai efektivitas PjBL di lingkungan pendidikan teknik Indonesia, mengisi kekosongan data kuantitatif yang selama ini menjadi gap penelitian.

Implikasi praktis penelitian ini sangat relevan bagi pendidikan teknik sipil, khususnya dalam desain tugas proyek, pengembangan kurikulum, dan penyiapan mahasiswa untuk bekerja dalam tim rekayasa yang kompleks. Meskipun demikian, beberapa batasan harus diakui, termasuk ruang lingkup sampel yang terbatas, durasi intervensi yang relatif singkat, dan potensi bias penilaian. Penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan desain longitudinal, memperluas konteks lintas institusi, serta mengintegrasikan analitik digital atau pemodelan struktural yang lebih maju guna memetakan dinamika kolaboratif secara lebih mendalam. Secara sintesis, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah signifikan bagi pengembangan pedagogi teknik dan menawarkan fondasi kuat bagi inovasi model pembelajaran kolaboratif di era rekayasa berbasis teknologi.

## REFERENSI

- Al-Zoubi, A., Cristobal, S., Shahroury, F., & Castro, M. (2024). The Middle East Higher Education Experience: Implementing Remote Labs to Improve the Acquisition of Skills in Industry 4.0. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 982–991. <https://doi.org/10.1109/tlt.2023.3341490>
- Almulla, M. (2020). The Effectiveness of the Project-Based Learning (PBL) Approach as a Way to Engage Students in Learning. *SAGE Open*, 10. <https://doi.org/10.1177/2158244020938702>
- Angulo, P. S., Galindo-Melero, J., De-Diego-Poncela, S., & Martín, Ó. (2025). Promoting soft skills in higher engineering education: Assessment of the impact of a teaching methodology based on flipped learning, cooperative work and gamification. *Educ. Inf. Technol.*, 30, 13463–13506. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13322-0>
- Ara'ujo, A. A., Kalinowski, M., & Baldassarre, M. (2025). Embracing Experiential Learning: Hackathons as an Educational Strategy for Shaping Soft Skills in

- Software Engineering. *2025 IEEE/ACM 37th International Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T)*, 319–324.  
<https://doi.org/10.1109/cseet66350.2025.00040>
- Awwad, F. (2025). Enhancing Electronics Courses Education: Active Learning Strategies for Undergraduate Engineering Students. *Int. J. Eng. Pedagog.*, *15*, 42–73. <https://doi.org/10.3991/ijep.v15i2.51739>
- Bishnoi, M. (2020). Flipped classroom and digitization: an inductive study on the learning framework for 21st century skill acquisition. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, *11*, 30–45. <https://doi.org/10.47750/jett.2020.11.01.004>
- Bulu, V. R., & Tanggur, F. (2021). The Effectiveness of STEM-Based PjBL on Student's Critical Thinking Skills and Collaborative Attitude. *Al-Jabar : Jurnal Pendidikan Matematika*. <https://doi.org/10.24042/ajpm.v12i1.8831>
- Dogara, G., Saud, M., Kamin, Y., & Nordin, M. S. Bin. (2020). Project-Based Learning Conceptual Framework for Integrating Soft Skills Among Students of Technical Colleges. *IEEE Access*, *8*, 83718–83727.  
<https://doi.org/10.1109/access.2020.2992092>
- Goel, M., Gupta, C., & Gupta, V. (2022). A meta-analysis approach to measure the impact of project-based learning outcome with program attainment on student learning using fuzzy inference systems. *Heliyon*, *8*.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10248>
- Guo, P., Saab, N., Post, L., & Admiraal, W. (2020). A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures. *International Journal of Educational Research*, *102*, 101586. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2020.101586>
- Hendarwati, E., Nurlaela, L., Bachri, B., & Sa'ida, N. (2021). Collaborative Problem Based Learning Integrated with Online Learning. *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, *16*. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i13.24159>
- Ilma, S., Al-Muhdhar, M. H. I., Rohman, F., & Saptasari, M. (2022). Promote collaboration skills during the COVID-19 pandemic through Predict-Observe-Explain-based Project (POEP) learning. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v8i1.17622>
- Khan, M., & Ibrahim, M. (2020). *An Investigation of the Effectiveness of Project-based*

*Learning on Students' Skills in Engineering Modeling and Design Courses.*

<https://doi.org/10.18260/1-2--34139>

Khandakar, A., Chowdhury, M., Gonzales, A., Touati, F., Emadi, N. Al, & Ayari, M. (2020). Case Study to Analyze the Impact of Multi-Course Project-Based Learning Approach on Education for Sustainable Development. *Sustainability*.  
<https://doi.org/10.3390/su12020480>

Lee, S., Yoon, J., & Hwang, Y. (2024). Collaborative project-based learning in global health: Enhancing competencies and skills for undergraduate nursing students. *BMC Nursing*, 23. <https://doi.org/10.1186/s12912-024-02111-8>

Luna, A., Chong, M., & Jurburg, D. (2022). Teaching Integration, Trust, Communication, and Collaboration Competencies Using Challenge-Based Learning for Business and Engineering Programs. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 17, 89–98. <https://doi.org/10.1109/rita.2022.3149828>

Meng, N., Dong, Y., Roehrs, D., & Luan, L. (2023). Tackle implementation challenges in project-based learning: a survey study of PBL e-learning platforms. *Educational Technology Research and Development*, 1–29.  
<https://doi.org/10.1007/s11423-023-10202-7>

Mohammed, F. S., & Ozdamli, F. (2024). A Systematic Literature Review of Soft Skills in Information Technology Education. *Behavioral Sciences*, 14.  
<https://doi.org/10.3390/bs14100894>

Mora, H., Pont, M., Guilló, A. F., & Pertegal-Felices, M. (2020). A collaborative working model for enhancing the learning process of science & engineering students. *Comput. Hum. Behav.*, 103, 140–150.  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.09.008>

Reddy, P., Chaudhary, K., & Hussein, S. (2023). A digital literacy model to narrow the digital literacy skills gap. *Heliyon*, 9 4.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14878>

Sharma, A., Dutt, H., Sai, C., & Naik, S. (2020). Impact of Project Based Learning Methodology in Engineering. *Procedia Computer Science*.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.133>

Venkatraman, S., Benli, F., Wei, Y., & Wahr, F. (2022). Smart Classroom Teaching

- Strategy to Enhance Higher Order Thinking Skills (HOTS) - An Agile Approach for Education 4.0. *Future Internet*, 14, 255. <https://doi.org/10.3390/fi14090255>
- Zen, Z., Reflianto, Syamsuar, & Ariani, F. (2022). Academic achievement: the effect of project-based online learning method and student engagement. *Heliyon*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11509>
- Zhang, L., & Yan. (2023). A study of the impact of project-based learning on student learning effects: a meta-analysis study. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728>
- Zukarnain, Z., Wan, W., Hassan, C., Kamaruzaman, N., Zin, N., & Aziz, W. (2020). Examining Students' Aptitude using Project-Based Learning through University-Industry Collaboration. *Journal of Physics: Conference Series*, 1496. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1496/1/012013>