

## Efektivitas *PjBL* terhadap Hasil Belajar, Berpikir Kritis, dan Motivasi Mahasiswa Teknik Elektro pada Praktikum Fisika

Winda Lestari Siregar<sup>1\*</sup>, Annisa Tishana<sup>1</sup>, Tri Isra Janwardi<sup>1</sup>, Yasmiri<sup>1</sup>, Teguh Wijaksana Isma<sup>1</sup>, Nurul Aghnia Khairunnisa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Vokasional Rekayasa Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Malikussaleh, Muara Batu-Aceh Utara, Indonesia

<sup>2</sup>Pendidikan Bahasa Indonesia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Malikussaleh, Muara Batu-Aceh Utara, Indonesia

\* E-mail: [windalestarisiregar@unimal.ac.id](mailto:windalestarisiregar@unimal.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL) terhadap hasil belajar fisika, kemampuan berpikir kritis, dan motivasi belajar mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas Malikussaleh. Penelitian menggunakan desain quasi-eksperimen dengan *nonequivalent control group design pretest-posttest*. Sampel terdiri dari 60 mahasiswa yang dibagi menjadi kelompok kontrol (pembelajaran konvensional,  $n=30$ ) dan kelompok eksperimen (PjBL,  $n=30$ ). Perlu dicatat bahwa instrumen berpikir kritis dan motivasi hanya diberikan setelah perlakuan selesai sehingga gain dari baseline tidak dapat dikuantifikasi untuk kedua variabel tersebut. Uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan sebagian data tidak berdistribusi normal sehingga digunakan uji non-parametrik Mann-Whitney U. Hasil penelitian menunjukkan: (1) N-gain rata-rata kelompok PjBL (63,53%) lebih tinggi daripada kontrol (26,47%); (2) skor berpikir kritis kelompok PjBL ( $M=3,49$ ; kategori Sangat Tinggi) lebih tinggi secara signifikan dibanding kontrol ( $M=2,72$ ; kategori Cukup); (3) motivasi belajar kelompok PjBL ( $M=4,45$ ; kategori Sangat Tinggi) lebih tinggi secara signifikan dibanding kontrol ( $M=3,16$ ; kategori Cukup). Keseluruhan hasil uji Mann-Whitney U menunjukkan  $p<0,001$ , dengan rank-biserial correlation  $r=1,00$  dan Cohen's  $d$  berkategori sangat besar ( $d=4,05-5,84$ ). Temuan ini memberikan bukti kuat bahwa model PjBL diasosiasikan dengan hasil yang lebih baik pada ketiga variabel luaran dibandingkan pembelajaran konvensional dalam konteks praktikum fisika teknik, meskipun desain quasi-eksperimen membatasi klaim kausalitas.

**Kata kunci:** Berpikir Kritis, Hasil Belajar Fisika, Motivasi Belajar, *Project Based Learning*, Teknik Elektro

### Abstract

*This study aims to analyze the effect of Project Based Learning (PjBL) on physics learning outcomes, critical thinking skills, and learning motivation among Electrical Engineering students at Universitas Malikussaleh. A quasi-experimental design with nonequivalent control group pretest-posttest was employed. The sample consisted of 60 students divided into a control group (conventional learning,  $n=30$ ) and an experimental group (PjBL,  $n=30$ ). Data were collected through learning achievement tests, rubric-based critical thinking instruments, and Likert-scale motivation questionnaires. It should be noted that critical thinking and motivation instruments were administered only after the treatment; therefore, pre-intervention baselines for these two variables were not measured. Shapiro-Wilk normality tests indicated non-normal distributions in several variables; therefore, the non-parametric Mann-Whitney U test was applied. Results showed: (1) the mean N-gain of the PjBL group (63.53%) was higher than the control group (26.47%); (2) critical thinking scores of the PjBL group ( $M=3.49$ ; Very High category) were significantly higher than the control ( $M=2.72$ ; Adequate category); (3) learning motivation of the PjBL group ( $M=4.45$ ; Very High) was significantly higher than the control ( $M=3.16$ ; Adequate). All Mann-Whitney U tests yielded  $p<0.001$  with rank-biserial correlation  $r=1.00$  and very large Cohen's  $d$  effect sizes ( $d=4.05-5.84$ ). These findings provide strong evidence that PjBL was associated with higher outcomes across all three variables compared to conventional learning in the context of engineering physics practicum, although the non-randomized design limits causal claims.*

**Keywords:** Critical Thinking, Electrical Engineering, Learning Motivation, Physics Learning Outcomes, Project Based Learning

## PENDAHULUAN.

Pendidikan tinggi teknik menuntut mahasiswa mampu mengintegrasikan teori ilmiah dengan penyelesaian masalah rekayasa yang kompleks. Mata kuliah Fisika Teknik merupakan landasan kognitif penting bagi program studi Teknik Elektro Universitas Malikussaleh karena konsep-konsep fisika seperti elektromagnetisme, gelombang, dan rangkaian listrik menjadi dasar rekayasa modern (Hughes, 2012; Wang et al., 2025). Namun, penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran konvensional berbasis ceramah seringkali menghasilkan pemahaman dangkal, rendahnya kemampuan berpikir kritis, dan motivasi belajar yang tidak optimal pada mahasiswa teknik (Zhang & Ma, 2023; Yanti & Novaliyosi, 2023).

Laporan Programme for International Student Assessment (PISA) 2022 menempatkan Indonesia pada peringkat ke-68 dari 81 negara, dengan skor sains 383 jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 485 (OECD, 2023). Pada jenjang perguruan tinggi, kondisi ini semakin krusial karena tuntutan industri 4.0 mensyaratkan lulusan teknik yang tidak hanya kompeten secara teknis tetapi juga memiliki keterampilan abad ke-21 yang meliputi critical thinking, communication, collaboration, dan creativity (4C) (Bell, 2010; Herlinawati et al., 2024).

Project Based Learning (PjBL) adalah model pembelajaran aktif yang menempatkan mahasiswa sebagai pusat proses belajar melalui penyelesaian proyek nyata dan bermakna (Bell, 2010; Krajcik & Shin, 2014). Berbeda dengan pembelajaran berbasis masalah, PjBL menekankan produk atau artefak konkret sebagai luaran utama pembelajaran sehingga mendorong keterlibatan mendalam, kolaborasi, dan refleksi kritis (Zhang & Ma, 2023; Lim et al., 2024). Enam tahapan inti PjBL penentuan pertanyaan mendasar, perencanaan proyek, penjadwalan, pemantauan kemajuan, pengujian hasil, dan evaluasi pengalaman memberikan struktur yang memungkinkan mahasiswa membangun pengetahuan secara konstruktif sekaligus mengembangkan kompetensi metakognitif

(Thomas, 2000).

Berbagai kajian empiris mendukung efektivitas PjBL. Meta analisis Zhang dan Ma (2023) yang mencakup 66 penelitian menemukan PjBL meningkatkan luaran pembelajaran secara signifikan ( $SMD=0,44$ ;  $p<0,001$ ) dibanding pembelajaran konvensional. Pada konteks fisika perguruan tinggi, Wang et al. (2025) dengan 150 mahasiswa fisika dari tiga universitas di Cina menunjukkan PjBL secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual, kemampuan pemecahan masalah, dan motivasi belajar. Di Indonesia, Yanti dan Novaliyosi (2023) melalui systematic literature review terhadap 41 artikel mengonfirmasi PjBL secara konsisten mengembangkan berbagai keterampilan mahasiswa lintas tingkatan satuan pendidikan.

Meskipun berbagai kajian telah mengonfirmasi keefektifan PjBL, penelitian yang secara bersamaan mengukur dampaknya terhadap hasil belajar kognitif, kemampuan berpikir kritis, dan motivasi belajar mahasiswa teknik khususnya pada mata kuliah fisika teknik di perguruan tinggi Indonesia masih sangat terbatas. Penelitian di Program Studi Teknik Elektro Universitas Malikussaleh ini bertujuan mengisi celah tersebut. Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah: (1) apakah terdapat perbedaan hasil belajar fisika yang signifikan antara kelompok PjBL dan kontrol; (2) apakah skor berpikir kritis kelompok PjBL lebih tinggi secara signifikan dibandingkan kontrol; dan (3) apakah motivasi belajar kelompok PjBL lebih tinggi secara signifikan dibandingkan kontrol. Hipotesis penelitian: (H1) N-gain hasil belajar kelompok PjBL lebih tinggi secara signifikan dibanding kontrol; (H2) skor berpikir kritis kelompok PjBL lebih tinggi secara signifikan dibanding kontrol; (H3) motivasi belajar kelompok PjBL lebih tinggi secara signifikan dibanding kontrol. Mengingat instrumen berpikir kritis dan motivasi hanya diberikan setelah perlakuan selesai, H2 dan H3 diuji berdasarkan perbandingan skor posttest antar kelompok, bukan gain.

## METODE

### Desain dan Partisipan

Penelitian ini menggunakan desain quasi-eksperimen dengan nonequivalent control group design pretest-posttest. Desain ini dipilih karena kelas yang ada di perguruan tinggi tidak dapat dirandomisasi sempurna (Sugiyono, 2023). Terdapat dua kelas paralel Mata Kuliah Fisika Teknik pada semester yang berjalan; satu kelas ditetapkan sebagai kelompok eksperimen dan satu kelas lainnya sebagai kelompok kontrol. Penetapan kelas eksperimen dilakukan secara purposif berdasarkan ketersediaan dosen yang bersedia menerapkan PjBL, sementara kelompok kontrol diajar oleh dosen berbeda dengan pendekatan konvensional. Kedua kelompok menerima materi yang sama (elektromagnetisme, gelombang, rangkaian listrik) dalam jumlah pertemuan yang setara (16 pertemuan, 3×50 menit per minggu). Uji kesetaraan kemampuan awal dilakukan melalui skor pretest hasil belajar dan menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen ( $M=49,40$ ;  $SD=3,16$ ) dan kontrol ( $M=50,40$ ;  $SD=3,31$ ) dengan nilai  $t=-1,198$  dan  $p=0,236$  ( $p>0,05$ ). Data awal untuk berpikir kritis dan motivasi tidak dikumpulkan; oleh karena itu, perbandingan dua variabel ini didasarkan pada skor posttest semata.

Partisipan penelitian adalah 60 mahasiswa aktif yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan ketersediaan dan kesetaraan kemampuan awal. Kelompok kontrol ( $n=30$ ) mendapat pembelajaran konvensional berbasis ceramah, diskusi, dan latihan soal, sedangkan kelompok eksperimen ( $n=30$ ) mendapat perlakuan PjBL selama satu semester.

### Implementasi PjBL

Implementasi PjBL mengikuti enam tahapan yang dikembangkan Thomas (2000). (1) Penentuan pertanyaan mendasar: mahasiswa dihadapkan pada permasalahan fisika nyata yang relevan dengan teknik elektro. Contoh proyek yang benar-benar dilaksanakan meliputi: (a) perancangan dan pengujian rangkaian seri-paralel R-L-C untuk menentukan

frekuensi resonansi, (b) pembuatan prototipe elektromagnet sederhana dan pengukuran kuat medan magnet sebagai fungsi jumlah lilitan, serta (c) perancangan antena dipol sederhana dan pengukuran pola radiasi gelombang elektromagnetik menggunakan osiloskop. (2) Perencanaan proyek: mahasiswa merancang langkah penyelesaian proyek secara kolaboratif dalam tim kecil (3–4 orang) menggunakan lembar rencana proyek terstruktur. (3) Penyusunan jadwal: mahasiswa menetapkan timeline penyelesaian setiap fase dalam lima pekan. (4) Pemantauan kemajuan: dosen bertindak sebagai fasilitator yang memberikan bimbingan dan umpan balik berkala setiap dua pekan; fidelity implementasi dijaga melalui checklist observasi yang diisi oleh observer independen. (5) Pengujian hasil dan penilaian: tim mempresentasikan proyek dan melakukan demonstrasi; penilaian mencakup produk (40%), proses (30%), dan presentasi (30%) menggunakan rubrik yang dikembangkan dari Thomas (2000). (6) Evaluasi pengalaman: mahasiswa melakukan refleksi diri dan kelompok terhadap proses dan produk belajar.

### Instrumen dan Pengumpulan Data

Tiga instrumen utama digunakan. Pertama, tes hasil belajar berbentuk soal uraian mengukur kemampuan kognitif Bloom C1–C5 pada materi fisika teknik, diberikan sebagai pretest dan posttest. Validitas isi dikonfirmasi oleh dua ahli materi fisika; reliabilitas Cronbach's Alpha  $\alpha=0,84$ . Kedua, instrumen berpikir kritis berbasis rubrik penilaian dengan empat indikator (analisis, evaluasi, sintesis, inferensi) berskala 1–4, dikembangkan berdasarkan framework Facione (1990). Validitas isi dikonfirmasi oleh dua ahli, inter-rater reliability diestimasi menggunakan Cohen's Kappa ( $\kappa=0,82$ ; kategori hampir sempurna). Reliabilitas konsistensi internal Cronbach's Alpha  $\alpha=0,80$ . Ketiga, angket motivasi belajar berskala Likert 1–5 dengan 20 butir mengadopsi ARCS Model Keller (1987); validitas isi dikonfirmasi dua ahli, Cronbach's Alpha  $\alpha=0,87$ . Rentang kategorisasi: untuk berpikir kritis skala 1–4, kategori Sangat Tinggi: 3,26–4,00; Tinggi: 2,51–3,25; Cukup: 1,76–2,50; Rendah: 1,00–1,75. Untuk motivasi skala

1–5, kategori Sangat Tinggi: 4,21–5,00; Tinggi: 3,41–4,20; Cukup: 2,61–3,40; Rendah: 1,81–2,60; Sangat Rendah: 1,00–1,80 (Widoyoko, 2012).

Data N-gain dihitung menggunakan formula Hake (1999):  $g = (\text{skor posttest} - \text{skor pretest}) / (100 - \text{skor pretest})$ , dengan kategori tinggi ( $g \geq 0,70$ ), sedang ( $0,30 \leq g < 0,70$ ), dan rendah ( $g < 0,30$ ). Instrumen berpikir kritis dan motivasi belajar diberikan setelah perlakuan selesai.

#### Analisis Data

Analisis dilakukan dalam beberapa tahap. (1) Statistik deskriptif: mean, standar deviasi, skor minimum, dan maksimum dihitung untuk setiap variabel dan kelompok. (2) Uji normalitas: Shapiro-Wilk digunakan karena  $n < 50$  per kelompok (Razali & Wah, 2011). (3) Uji homogenitas varians: Levene's test diterapkan. (4) Uji hipotesis: karena beberapa variabel tidak memenuhi asumsi normalitas, digunakan uji Mann-Whitney U (non-parametrik) untuk membandingkan dua kelompok independen pada taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$ . (5) Effect size: effect size non-parametrik dilaporkan sebagai rank-biserial correlation ( $r = 1 - 2U / (n1 \times n2)$ ) sebagai ukuran utama yang selaras dengan Mann-Whitney U. Sebagai informasi tambahan, Cohen's d dihitung dengan rumus  $d = (M1 - M2) / SD_{\text{pooled}}$  untuk memberikan gambaran besar efek dalam satuan standar deviasi; nilai d yang sangat besar pada penelitian ini ( $d > 4$ ) mencerminkan non-overlapping yang sempurna antar distribusi kelompok dan perlu diinterpretasikan dengan hati-hati. Kriteria Cohen's d: kecil ( $< 0,20$ ), sedang ( $0,50 - 0,80$ ), besar ( $> 0,80$ ) (Cohen, 1988). Seluruh analisis dilakukan menggunakan Python 3.12 dengan library SciPy.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL

#### Statistik Deskriptif

Tabel 1 menyajikan ringkasan statistik deskriptif untuk seluruh variabel penelitian pada kedua kelompok. Skor berpikir kritis dan motivasi merupakan skor posttest semata karena tidak ada pengukuran baseline untuk

kedua variabel tersebut.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

Variabel	Kelompok	N	Mean	SD	Min	Maks	
Pretest	Kontrol	30	50,40	3,31	45	55	
	PjBL	30	49,40	3,16	45	55	
Posttest	Kontrol	30	63,67	3,80	59	70	
	PjBL	30	81,63	4,57	75	90	
N-gain (%)	Kontrol	30	26,47 %	8,73 %	8,89 %	45,45 %	
		30	63,53 %	9,54 %	46,67 %	79,63 %	
	Berfikir Kritis (Skala 1-4)	Kontrol	30	2,72	0,13	2,51	2,97
		PjBL	30	3,49	0,18	3,23	3,77
Motivasi Belajar (Skala 1-5)	Kontrol	30	3,16	0,22	2,82	3,49	
	PjBL	30	4,45	0,22	4,01	4,72	

Berpikir kritis dan motivasi hanya diukur setelah perlakuan; tidak ada data baseline untuk kedua variabel ini.

Berdasarkan Tabel 1, skor *pretest* kedua kelompok sangat mirip (Kontrol:  $M=50,40$ ; PjBL:  $M=49,40$ ), mengonfirmasi kesetaraan kemampuan awal. Setelah perlakuan, terjadi perbedaan besar pada skor *posttest* kelompok PjBL mencapai rata-rata 81,63 ( $SD=4,57$ ) sementara kelompok kontrol hanya 63,67 ( $SD=3,80$ ). Peningkatan rata-rata skor pada kelompok PjBL mencapai 65,2% dibandingkan skor *pretest*, sedangkan kelompok kontrol hanya 26,3%.

Pada kemampuan berpikir kritis, kelompok PjBL memperoleh rata-rata 3,49 (skala 1–4) yang termasuk kategori Sangat Tinggi, jauh melampaui kelompok kontrol sebesar 2,72 (kategori Cukup). Demikian pula untuk motivasi belajar, kelompok PjBL mencapai rata-rata 4,45 (skala 1–5) atau kategori Sangat Tinggi, dibandingkan kelompok kontrol sebesar 3,16 (kategori Cukup).

#### Kategorisasi N-Gain

Tabel 2 menampilkan distribusi kategorisasi skor N-gain setiap mahasiswa pada kedua kelompok.

Tabel 2. Kategorisasi N-Gain Hasil Belajar

Kategori N-Gain	Rentang	Kontrol (n)	Kontrol (%)	PjBL (n)	PjBL (%)
Tinggi	$g \geq 0,70$	0	0,00%	8	26,67%
Sedang	$0,30 \leq g < 0,70$	11	36,67%	22	73,33%
Rendah	$g < 0,30$	19	63,33%	0	0,00%

Rata-rata — 0,26 (Rendah) — 0,64 (Sedang) —

Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh mahasiswa pada kelompok PjBL mencapai kategori N-gain sedang hingga tinggi sebanyak 8 mahasiswa (26,67%) mencapai kategori tinggi dan 22 mahasiswa (73,33%) kategori sedang. Sebaliknya, pada kelompok kontrol tidak ada mahasiswa yang mencapai kategori tinggi, 11 mahasiswa (36,67%) berada di kategori sedang, dan mayoritas 19 mahasiswa (63,33%) masih dalam kategori rendah. Rata-rata N-gain kelompok PjBL sebesar 0,635 (kategori sedang-menuju-tinggi) berbanding dengan 0,265 (kategori rendah) pada kelompok kontrol.

Uji Prasyarat

Uji normalitas Shapiro-Wilk dilakukan untuk seluruh variabel dependen pada kedua kelompok. Hasil disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Variabel	Kelompok	N	W	P-Value	Keterangan
Posttest	Kontrol	30	0,8903	0,0049	Tidak Normal
	PjBL	30	0,9379	0,0798	Normal
N-gain	Kontrol	30	0,9321	0,0566	Normal
	PjBL	30	0,9145	0,0198	Tidak Normal
Berpikir Kritis	Kontrol	30	0,9592	0,2948	Normal
	PjBL	30	0,9260	0,0385	Tidak Normal
Motivasi Belajar	Kontrol	30	0,9206	0,0278	Tidak Normal
	PjBL	30	0,9111	0,0159	Tidak Normal

Tabel 3 memperlihatkan bahwa sejumlah data tidak memenuhi asumsi normalitas ( $p < 0,05$ ), khususnya skor *posttest* kelompok kontrol ( $W=0,8903$ ;  $p=0,005$ ), berpikir kritis kelompok eksperimen ( $W=0,9260$ ;  $p=0,039$ ), serta motivasi belajar pada kedua kelompok. Karena asumsi normalitas tidak terpenuhi, pengujian hipotesis dilakukan dengan uji non-parametrik *Mann-Whitney U* yang tidak mensyaratkan distribusi normal pada data (Field, 2013).

Uji Hipotesis dan *Effect Size*

Tabel 4 menyajikan hasil uji *Mann-Whitney U* dan nilai *effect size Cohen's d* untuk

setiap variabel luaran.

Tabel 4. Hasil Uji *Mann-Whitney U* dan *Effect Size*

Variabel	Statistik (U/t)	P-value	r (rank-biserial)	Interpretasi	Cohen's d	Interpretasi
N-Gain (%)	U = 900	< 0,001	1,00	Sangat Besar	d = 4,05	Sangat Besar
Berpikir Kritis	U = 900	< 0,001	1,00	Sangat Besar	d = 4,82	Sangat Besar
Motivasi Belajar	U = 900	< 0,001	1,00	Sangat Besar	d = 5,84	Sangat Besar
Posttest	U = 900	< 0,001	1,00	Sangat Besar	d = 4,28	Sangat Besar

$Cohen's d = (M1 - M2) / SD_{pooled}$ ; dilaporkan sebagai informasi tambahan. Nilai  $d > 4$  mencerminkan non-overlapping sempurna dan harus diinterpretasikan hati-hati.

Hasil ini, meskipun sangat kuat secara statistik, perlu dicermati dengan hati-hati: pemisahan sempurna seperti ini tidak lazim dalam penelitian pendidikan dan perlu diverifikasi dari data mentah serta mempertimbangkan kemungkinan ceiling/floor effect. Meski demikian, perbedaan rerata yang besar (N-gain: 63,53% vs 26,47%) konsisten dengan kesimpulan statistik.

Berdasarkan Tabel 4, seluruh variabel luaran menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan ( $U=900$ ;  $p < 0,001$ ) antara kelompok PjBL dan kontrol. Nilai  $U=900$  merupakan nilai maksimum yang mungkin untuk dua kelompok dengan  $n=30$  masing-masing, artinya setiap skor pada kelompok PjBL lebih tinggi dari setiap skor pada kelompok kontrol tanpa terkecuali suatu bukti efek yang luar biasa kuat.

*Effect size Cohen's d* menunjukkan besaran pengaruh yang sangat besar pada seluruh variabel: N-gain ( $d=4,05$ ), berpikir kritis ( $d=4,82$ ), motivasi belajar ( $d=5,84$ ), dan skor *posttest* ( $d=4,28$ ). Nilai-nilai ini jauh melampaui ambang batas 'besar' ( $d > 0,80$ ) yang ditetapkan Cohen (1988), mengindikasikan bahwa perlakuan PjBL menghasilkan efek yang secara praktis sangat substantif dalam membedakan performa kedua kelompok.

PEMBAHASAN

Pengaruh PjBL terhadap Hasil Belajar Praktikum Fisika

Hasil penelitian menunjukkan kelompok PjBL mengalami peningkatan hasil belajar yang lebih tinggi secara signifikan (N-gain rata-rata 63,53%; kategori sedang) dibandingkan kelompok kontrol (26,47%; kategori rendah). Temuan ini sejalan dengan meta-analisis Zhang dan Ma (2023) yang menemukan PjBL secara signifikan meningkatkan pencapaian akademik (SMD=0,44) dibandingkan model konvensional. Wang et al. (2025) pada 150 mahasiswa fisika di tiga universitas Cina juga menemukan PjBL secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual dan kemampuan pemecahan masalah fisika.

Mekanisme peningkatan ini dapat dipahami melalui perspektif konstruktivis. Ketika mahasiswa mengerjakan proyek fisika yang relevan dengan rekayasa elektro misalnya pengujian rangkaian R-L-C memungkinkan mahasiswa menghubungkan konsep teoritis impedansi dan resonansi dengan pengukuran nyata; proyek elektromagnet menghubungkan hukum Ampere dengan aplikasi praktis berupa kuat medan magnet mereka mengintegrasikan konsep abstrak ke dalam konteks konkret. Proses ini merangsang pembentukan skema kognitif yang lebih kuat dan tahan lama (Krajcik & Shin, 2014). Wastriani et al. (2024) pada siswa SMK juga mengonfirmasi peningkatan hasil belajar yang signifikan pada praktikum fisika melalui pendekatan berbasis proyek. Pengaruh PjBL terhadap Kemampuan Berpikir Kritis

Kelompok PjBL mencapai rata-rata skor berpikir kritis 3,49 (kategori Sangat Tinggi) berbanding 2,72 (kategori Cukup) pada kelompok kontrol, dengan perbedaan yang sangat signifikan ( $p < 0,001$ ;  $r = 1,00$ ). Perlu dicatat bahwa karena tidak ada pengukuran baseline, temuan ini mencerminkan perbedaan skor posttest antar kelompok, bukan gain dari baseline. Indikator yang menunjukkan perbedaan paling menonjol antara kedua kelompok adalah sintesis dan evaluasi (rata-rata 0,85 poin lebih tinggi pada PjBL), sementara perbedaan pada indikator analisis relatif lebih kecil (0,70 poin). Temuan ini konsisten dengan penelitian Lim et al. (2024) yang menemukan PjBL secara signifikan

meningkatkan *critical thinking* mahasiswa sains.

Mekanisme peningkatan berpikir kritis melalui PjBL dapat dipahami dari sudut pandang kognitif. Ketika mengerjakan proyek praktikum fisika, mahasiswa melakukan siklus berulang: menganalisis spesifikasi masalah, mengevaluasi alternatif solusi, mensintesis pengetahuan fisika dengan kendala teknis, dan menginferensi kesimpulan berdasarkan data eksperimental. Rujukan Ilyas et al. (2026) menunjukkan STEM-PjBL efektif dalam mengembangkan sistem berpikir kritis mahasiswa teknik.

Pengaruh PjBL terhadap Motivasi Belajar

Kelompok PjBL menunjukkan motivasi belajar yang jauh lebih tinggi ( $M = 4,45$ ; kategori Sangat Tinggi) dibandingkan kelompok kontrol ( $M = 3,16$ ; kategori Cukup), dengan *effect size* terbesar di antara ketiga variabel ( $d = 5,84$ ;  $p < 0,001$ ). Seperti halnya berpikir kritis, perbandingan ini didasarkan pada skor posttest semata. Temuan ini sejalan dengan Baharudin dan Awaluddin (2024) yang membuktikan implementasi PjBL berbantuan media interaktif daring meningkatkan pemahaman dan motivasi mahasiswa secara signifikan. Rodiah dan Dani (2025) dalam review komprehensif juga menyimpulkan PjBL dan variasinya secara konsisten berpengaruh positif pada motivasi belajar mahasiswa.

Di tingkat perguruan tinggi, Novalia et al. (2025) menemukan PjBL berkontribusi pada kemandirian belajar mahasiswa, yang merupakan indikator motivasi intrinsik yang tinggi. Di Indonesia, Husaini (2025) juga melaporkan implementasi PjBL pada mata kuliah Pendidikan Pancasila di perguruan tinggi berhasil meningkatkan kemampuan dan antusiasme mahasiswa. Penelitian Wang et al. (2025) pada fisika universitas secara khusus menyebutkan PjBL meningkatkan *student engagement* dan *motivation* secara signifikan.

Peningkatan motivasi ini dapat dijelaskan melalui ARCS Model Keller, empat komponen motivasi yang secara alami terstimulasi dalam PjBL. *Attention* (perhatian) teraktivasi karena proyek menghadirkan permasalahan baru yang menantang; *Relevance* (relevansi) meningkat karena konteks proyek terhubung langsung

dengan bidang teknik yang mahasiswa minati; *Confidence* (kepercayaan diri) berkembang seiring keberhasilan menyelesaikan setiap tahapan proyek; dan *Satisfaction* (kepuasan) diperoleh dari produk nyata yang dihasilkan. Siklus positif antara *engagement*, produksi, dan refleksi dalam PjBL menciptakan pengalaman belajar yang memperkuat motivasi intrinsik secara berkelanjutan (Blumenfeld et al., 1991 dalam Zhang & Ma, 2023).

#### Implikasi Pedagogis dan Keterbatasan

Temuan penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting bagi praktikum fisika teknik di perguruan tinggi. Pertama, dosen Fisika Teknik Elektro dapat mengadopsi PjBL sebagai model pembelajaran utama atau setidaknya sebagai suplemen signifikan, terutama untuk topik-topik yang memiliki relevansi aplikatif kuat dengan bidang rekayasa. Kedua, desain proyek fisika perlu mempertimbangkan relevansi kontekstual dengan kompetensi teknik mahasiswa agar efek pada motivasi dan berpikir kritis optimal. Ketiga, temuan ini juga relevan bagi Program Studi Teknik Elektro lain di Indonesia, di mana kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) mendorong pendekatan pembelajaran berbasis proyek lintas disiplin (Lestari & Brahma, 2024). Temuan penelitian ini memberikan implikasi bahwa PjBL direkomendasikan sebagai strategi pembelajaran pelengkap yang signifikan, terutama untuk topik-topik dengan relevansi aplikatif kuat dalam rekayasa dengan catatan bahwa keberhasilannya bergantung pada desain proyek yang kontekstual, ketersediaan waktu dan fasilitas memadai, rubrik penilaian yang jelas, dan kesiapan dosen sebagai fasilitator.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama sampel terbatas pada satu program studi di satu universitas sehingga generalisasi temuan perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua durasi perlakuan satu semester dan tidak adanya tindak lanjut jangka panjang juga menjadi batasan dalam menyimpulkan keberlanjutan efek. Penelitian mendatang disarankan menggunakan *desain randomized controlled trial*, sampel yang lebih besar dan beragam, serta pengukuran retensi jangka panjang untuk

memperkuat validitas eksternal temuan. Ketiga, data awal berpikir kritis dan motivasi tidak dikumpulkan, sehingga gain dari baseline tidak dapat dihitung untuk kedua variabel tersebut. Keempat, tidak ada blinding penilai rubrik, yang berpotensi menimbulkan bias penilaian. Kelima, nilai  $U=900$  dan effect size yang sangat besar perlu diverifikasi lebih lanjut dari data mentah dan dipertimbangkan kemungkinan ceiling/floor effect. Penelitian mendatang disarankan menggunakan *randomized controlled trial*, mengumpulkan data baseline untuk semua variabel, menerapkan blinding penilai, menggunakan ANCOVA robust/permutation test sebagai analisis pelengkap, dan melakukan pengukuran retensi jangka panjang.

## SIMPULAN

Penelitian ini memberikan bukti kuat bahwa model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL) diasosiasikan dengan hasil yang lebih baik dibandingkan pembelajaran konvensional pada tiga variabel luaran. Pertama, N-gain hasil belajar kelompok PjBL (63,53%; kategori sedang) lebih tinggi secara signifikan dibanding kelompok kontrol (26,47%; kategori rendah). Kedua, skor berpikir kritis kelompok PjBL ( $M=3,49$ ; Sangat Tinggi) lebih tinggi secara signifikan dibanding kontrol ( $M=2,72$ ; Cukup). Ketiga, motivasi belajar kelompok PjBL ( $M=4,45$ ; Sangat Tinggi) lebih tinggi secara signifikan dibanding kontrol ( $M=3,16$ ; Cukup). Seluruh perbedaan ini terkonfirmasi (Mann-Whitney U;  $U=900$ ;  $p<0,001$ ;  $r=1,00$ ). Karena desain yang digunakan adalah quasi-eksperimen non-acak dan data baseline berpikir kritis/motivasi tidak tersedia, klaim kausalitas perlu dibatasi. Direkomendasikan agar dosen Fisika Teknik Elektro mempertimbangkan adopsi PjBL sebagai strategi pembelajaran pelengkap yang signifikan, dengan memperhatikan desain proyek yang kontekstual, rubrik penilaian yang valid, serta kesiapan dosen dan fasilitas. Penelitian lanjutan dengan desain RCT, pengukuran baseline lengkap, blinding penilai, ANCOVA robust sebagai analisis pelengkap, dan pengukuran retensi jangka panjang sangat diperlukan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Malikussaleh atas dukungan penelitian ini. Terima kasih juga kepada mahasiswa Program Studi Teknik Elektro yang bersedia berpartisipasi sebagai subjek penelitian.

## REFERENSI

- Baharudin, B., & Awaluddin, R. (2024). Implementasi PjBL berbantuan media interaktif daring pada matakuliah anti korupsi dalam meningkatkan pemahaman dan motivasi mahasiswa. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Indonesia (JPPI)*, 4(3), 1296–1303. <https://doi.org/10.53299/jppi.v4i3.747>
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2), 39–43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction* (The Delphi Report). California Academic Press.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). SAGE Publications.
- Hake, R. R. (1999). *Analyzing change/gain scores*. American Educational Research Association. <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/AnalyzingChange-Gain.pdf>
- Herlina, L. (2022). Efektivitas model project based learning (PjBL) terhadap peningkatan motivasi belajar matematika pada materi bangun ruang sisi lengkung. *SCIENCE: Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 2(4), 462–471.
- Herlinawati, H., Marwa, M., Ismail, N., Junaidi, Liza, L. O., & Situmorang, D. D. B. (2024). The integration of 21st century skills in the curriculum of education. *Heliyon*, 10(15), e35148. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35148>
- Hughes, A. (2012). *Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications* (4th ed.). Elsevier.
- Husaini. (2025). Implementasi pembelajaran berbasis project based learning untuk meningkatkan kemampuan mahasiswa pada mata kuliah pendidikan Pancasila. *JRPP*, 8(2). <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp>
- Ilyas, Rahmi, M., Muchsin, & Safrijal. (2026). Deep learning through a STEM-integrated project-based learning model for enhancing students' creativity. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 12(1), 265–271. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i1.13050>
- Indahwati, S. D., Rachmadiarti, F., & Hariyono, E. (2023). Integration of PJBL, STEAM, and learning tool development in improving students' critical thinking skills. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 4(6), 808–818. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v4i6.434>
- Iskandar, I., & Wahidah, N. I. (2024). Pengaruh penerapan model pembelajaran berbasis proyek terhadap hasil belajar mahasiswa pada mata kuliah pembelajaran digital. *Sulawesi Tenggara Educational Journal*, 4(3), 123–128. <https://doi.org/10.54297/seduj.v4i3.810>
- Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2–10. <https://doi.org/10.1007/BF02905780>
- Krajcik, J. S., & Shin, N. (2014). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (2nd ed., pp. 275–297). Cambridge University Press.

- Lestari, I. D., & Brahma, I. A. (2024). Implementasi model pembelajaran berbasis proyek dalam kurikulum merdeka di perguruan tinggi. *Faktor: Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 11(2), 129–137.
- Lim, L. A., Sheng, R., Hirofumi, O., & Kozlova, A. (2024). Science students' attitudes, learning, critical thinking and engagement in project-based learning. *Cogent Education*, 11(1), 2445358. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2445358>
- Nehru, N., Purwaningsih, S., Riantoni, C., Ropawandi, D., & Novallyan, D. (2024). Mapping students' thinking systems in critical thinking based on STEM project-based learning experiences. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 8(1), 136–144. <https://doi.org/10.22437/jiituj.v8i1.32027>
- Novalia, R., Marini, A., Bintoro, T., & Muawanah, U. (2025). Project-based learning: For higher education students' learning independence. *Social Sciences and Humanities Open*, 11(April). <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101530>
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.
- Rodiah, I., & Dani, R. (2025). The effect of project-based learning (PjBL) models and their variations on student learning outcomes and motivation. *Journal of Advances in Physics Education*, 1(2), 70–78. <https://doi.org/10.23960/jape.v1i2.1096>
- Shekh-Abed, A. (2024). Metacognitive self-knowledge and cognitive skills in project-based learning of high school electronics students. *European Journal of Engineering Education*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2374479>
- Siregar, T., Ardian, R., Harahap, S. R., & Nasution, A. A. (2025). The effect of the project based learning (PjBL) model on students' critical thinking skills in trigonometry material [Preprint]. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18062418>
- Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (2nd ed.). Alfabeta.
- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. Autodesk Foundation. [http://www.bobpearlman.org/BestPractices/PBL\\_Research.pdf](http://www.bobpearlman.org/BestPractices/PBL_Research.pdf)
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., Hayek, S. E., Augereau-Landais, M., Mourey, F., Feybesse, C., Sundquist, D., & Lubart, T. (2025). Creativity, critical thinking, communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st-century skills for the future of work and education. *Journal of Intelligence*, 11(3), 1–32. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054>
- Wang, H., Song, Y., & Jiang, L. (2025). The impact of project-based learning on university physics education: Enhancing cognitive skills and core competencies. *Frontiers in Education*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1510099>
- Wastriani, E., Bhakti, Y. B., & Fatahillah. (2024). Pengaruh model pembelajaran berbasis proyek terhadap hasil belajar fisika siswa (Eksperimen pada siswa kelas XI SMK Wirabuana 2 Bojong Gede). *Jurnal Pendidikan Indonesia (JPI)*, 14(4). <https://doi.org/10.23887/jpi-undiksha.v14i4.99960>
- Widoyoko, E. P. (2012). *Teknik penyusunan instrumen penelitian*. Pustaka Pelajar.

Yanti, R. A., & Novaliyosi, N. (2023). Systematic literature review: Model pembelajaran project based learning (PjBL) terhadap skill yang dikembangkan dalam tingkatan satuan pendidikan. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 7(3), 2191–2207.

<https://doi.org/10.31004/cendekia.v7i3.2463>

Zhang, L., & Ma, Y. (2023). A study of the impact of project-based learning on student learning effects: A meta-analysis study. *Frontiers in Psychology*, 14, 1202728.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728>

Zhang, W., Guan, Y., & Hu, Z. (2024). The efficacy of project-based learning in enhancing computational thinking among students: A meta-analysis of 31 experiments and quasi-experiments. *Education and Information Technologies*, 29, 2329–2363.

<https://doi.org/10.1007/s10639-023-12392-2>