JURNAL PENDIDIKAN: RISET&KONSEPTUAL

www.journal.unublitar.ac.id/jp
E-ISSN: 2598-2877, P-ISSN: 2598-5175
Vol 10 No 3, Juli 2026

# Pengembangan Perangkat Pembelajaran PBL Berbantuan *Artificial Intelligence* untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Siswa

Rizka Novia Rohmawati[(1)], Wasis[2)], Titin Sunarti[(3)]

[1,2,3]Universitas Negeri Surabaya, Indonesia
Email: [1]rizkanoviar@gmail.com, [2]wasis@unesa.ac.id, [3]titinsunarti@unesa.ac.id

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan mengembangkan perangkat pembelajaran *Problem-Based Learning* (PBL) berbantuan *Artificial Intelligence* (AI) yang valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa kelas IX pada mata pelajaran IPA di Sekolah Indonesia Jeddah. Penelitian menggunakan model pengembangan ADDIE dengan subjek penelitian 60 siswa dari tiga kelas dan empat validator yang terdiri dari dua pakar akademik dan dua guru praktisi IPA berpengalaman. Pengumpulan data dilakukan melalui validasi ahli, observasi keterlaksanaan, angket respon, serta tes keterampilan pemecahan masalah dengan analisis *Normalized Gain* (N-Gain). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat memperoleh skor validitas rata-rata ≥ 4,43 dengan kategori sangat valid. Keterlaksanaan pembelajaran mencapai 90% dengan respons positif guru sebesar 100% dan siswa sebesar 87%, sehingga perangkat dinyatakan sangat praktis. Dari aspek keefektifan, N-Gain rata-rata sebesar 0,62 pada kategori sedang, dengan 76,7% siswa melampaui batas ketuntasan minimal pada keenam indikator pemecahan masalah yang diadaptasi dari Framework PISA 2025. Temuan ini membuktikan bahwa integrasi PBL berbantuan AI sebagai *scaffolding* adaptif dan pemberi umpan balik formatif merupakan solusi pedagogis yang efektif untuk mengembangkan keterampilan pemecahan masalah siswa di era pembelajaran abad ke-21.

**Tersedia Online di**
http://journal.unublitar.ac.id/pendidikan/index.php/Riset_Konseptual

**Sejarah Artikel**
Diterima pada : 01-02-2026
Disetuji pada : 20-06-2026
Dipublikasikan pada : 21-07-2026

**Kata Kunci:**
Energi Alternatif, Kecerdasan Artifisial, Keterampilan Pemecahan Masalah, Problem-Based Learning

**DOI:**
http://doi.org/10.28926/riset_konseptual.v10i3.1525

## PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi digital, dan otomatisasi di abad ke-21 telah mengubah secara mendasar cara manusia hidup, bekerja, dan belajar. Dunia kerja masa kini tidak lagi sekadar menuntut penguasaan pengetahuan faktual, tetapi juga kemampuan berpikir kritis, berkolaborasi, dan memecahkan masalah kompleks yang bersifat lintas disiplin. Berbagai laporan global menunjukkan bahwa *problem solving*, berpikir analitis, dan kemampuan belajar sepanjang hayat termasuk dalam kelompok kompetensi kunci yang harus dimiliki generasi muda agar mampu berpartisipasi secara produktif dalam masyarakat yang dinamis (OECD, 2018; World Economic Forum, 2025; McKinsey Global Institute, 2021). Dalam kerangka ini, mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) memegang peran strategis karena secara inheren mengajarkan peserta didik untuk memahami fenomena alam, menganalisis hubungan sebab-akibat, dan merumuskan solusi terhadap persoalan di lingkungan sekitar (Hernández-Martínez & Vos, 2020). Keterampilan pemecahan masalah dalam pembelajaran IPA mencakup serangkaian proses berpikir tingkat tinggi seperti mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, merancang strategi, mengevaluasi alternatif solusi, dan merefleksikan proses yang telah ditempuh—kompetensi yang memiliki hubungan positif kuat dengan prestasi akademik dan kualitas capaian belajar siswa (Yen & Halili, 2015; Rahmawati et al., 2025).

www.journal.unublitar.ac.id/jp
E-ISSN: 2598-2877, P-ISSN: 2598-5175
Vol 10 No 3, Juli 2026

Realitas di lapangan, termasuk di Sekolah Indonesia Jeddah (SIJ), menunjukkan bahwa keterampilan pemecahan masalah siswa masih berada pada level yang memprihatinkan. Hasil analisis nilai ulangan harian dan Penilaian Akhir Semester menunjukkan ketuntasan pada soal tingkat kognitif rendah (C1–C2) mencapai sekitar 75%, sementara ketuntasan pada soal yang menuntut analisis dan sintesis konsep hanya sekitar 10%. Hasil angket diagnostik juga mengungkapkan bahwa sebagian besar siswa merasa tidak percaya diri ketika diminta menyelesaikan soal IPA yang membutuhkan perencanaan langkah dan pengambilan keputusan secara mandiri. Siswa dengan keterampilan pemecahan masalah rendah cenderung bergantung pada hafalan contoh dan kesulitan mentransfer pengetahuan ke konteks yang berbeda (Özreçberoğlu & Çağanağa, 2018). Kondisi ini diperparah oleh faktor kontekstual berupa beban mengajar guru yang multidisiplin dan multijenjang, waktu pembelajaran yang relatif singkat (30 menit per jam pelajaran), serta keterbatasan fasilitas laboratorium akibat iklim ekstrem, sehingga ruang untuk merancang pembelajaran berpusat pada siswa menjadi sangat terbatas.

*Problem-Based Learning* (PBL) muncul sebagai salah satu respons pedagogis yang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut. PBL merupakan pendekatan pembelajaran yang berpusat pada siswa dengan menjadikan masalah autentik dan kompleks sebagai titik awal proses belajar, di mana siswa bekerja secara kolaboratif untuk menganalisis masalah, mengidentifikasi kebutuhan belajar, melakukan inkuiri, dan mengembangkan solusi yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Hmelo-Silver, 2004; Barrows, 1996). Meta-analisis yang menganalisis 42 artikel terbitan 2020–2024 melaporkan rata-rata *effect size* yang besar (ES = 0,798; 95% CI 0,782–0,813) bagi pengaruh PBL terhadap kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah siswa lintas jenjang dan konteks (Putri & Pratama, 2025). Meski demikian, implementasi PBL yang ideal menuntut asesmen formatif intensif, umpan balik yang kaya, dan pengelolaan artefak belajar yang beragam—tuntutan yang sulit dipenuhi dalam konteks guru SIJ dengan beban kerja tinggi dan waktu terbatas. Sejumlah studi mengidentifikasi bahwa kendala utama implementasi PBL meliputi beban kognitif berlebihan pada siswa, keterbatasan waktu, serta kurangnya *scaffolding* yang membantu siswa mengelola proses pemecahan masalah secara sistematis (Tefera et al., 2024; Divjak et al., 2025).

Di sinilah integrasi *Artificial Intelligence* (AI) menawarkan peluang strategis yang tidak dapat diabaikan. Berbagai kajian menunjukkan bahwa AI dalam konteks pendidikan dapat membantu otomatisasi proses penilaian, memberikan *feedback* real-time yang dipersonalisasi, dan menyediakan analitik pembelajaran yang membantu guru memonitor perkembangan siswa secara lebih efisien (Main, 2025; UNESCO, 2025). Sistem AI yang dirancang untuk mendukung PBL mampu menganalisis respons tertulis siswa, memetakan pola kesalahan konseptual, dan menghasilkan saran perbaikan awal sehingga guru dapat memfokuskan energi pada fasilitasi diskusi dan bimbingan kelompok (Ouyang & Jiao, 2025). Integrasi ini selaras dengan Framework PISA 2025 yang menempatkan praktik *computational problem-solving* dan *self-regulated learning* sebagai bagian integral dari pemecahan masalah di era digital. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan perangkat pembelajaran PBL berbantuan AI yang valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa kelas IX pada mata pelajaran IPA di Sekolah Indonesia Jeddah, khususnya pada topik energi alternatif yang kaya akan masalah autentik dan relevan dengan konteks kehidupan siswa.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*/R&D) yang bertujuan menghasilkan perangkat pembelajaran *Problem-Based Learning* (PBL) berbantuan *Artificial Intelligence* (AI) yang valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa kelas IX pada materi energi alternatif di Sekolah Indonesia Jeddah. Model pengembangan yang digunakan adalah

model ADDIE yang terdiri dari lima tahap sistematis, yaitu *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation* (Branch, 2009). Tahap *Analysis* mencakup identifikasi kebutuhan peserta didik dan guru, analisis kurikulum Merdeka, serta evaluasi potensi integrasi AI dalam pembelajaran. Tahap *Design* menghasilkan prototipe awal yang memadukan sintaks PBL (Arends, 2012) dengan fitur AI berbasis teks untuk scaffolding dan umpan balik formatif. Tahap *Development* meliputi penyusunan produk awal berupa Modul Ajar PBL-AI, Lembar Kegiatan Peserta Didik (LKPD), instrumen tes keterampilan pemecahan masalah, dan skenario interaksi AI, yang kemudian divalidasi oleh dua pakar akademik (ahli pendidikan IPA dan ahli teknologi pendidikan) serta dua guru praktisi IPA berpengalaman menggunakan skala Likert 1–5. Revisi dilakukan hingga skor rata-rata validasi mencapai ≥ 3,5 (kategori sangat valid). Tahap *Implementation* dilaksanakan dalam uji coba terbatas di kelas IX Sekolah Indonesia Jeddah dengan melibatkan 60 siswa dari tiga kelas sebagai subjek penelitian, sementara tahap *Evaluation* mencakup evaluasi formatif di setiap fase pengembangan dan evaluasi sumatif setelah implementasi penuh.

Pengumpulan data dilakukan melalui lima teknik yang saling melengkapi, yaitu validasi ahli, observasi, tes tertulis, angket, dan dokumentasi log data AI. Validitas perangkat diukur melalui penilaian ahli dengan instrumen lembar validasi yang mencakup aspek kelayakan isi, konstruk, bahasa, dan tampilan (Nieveen, 1999), dengan kriteria keberhasilan berupa *percentage of agreement* antara validator ≥ 75% (Borich, 1994). Kepraktisan diukur melalui lembar keterlaksanaan pembelajaran dengan target ≥ 80% fase PBL terlaksana dengan baik (Nieveen, 1999), lembar observasi aktivitas siswa, serta angket respon guru dan siswa dengan kriteria respon positif ≥ 75–80%. Keefektifan diukur melalui analisis peningkatan keterampilan pemecahan masalah menggunakan formula *Normalized Gain* (N-Gain) dari Hake (1999), yakni N-Gain = (Skor *Posttest* − Skor *Pretest*) / (Skor Maksimal − Skor *Pretest*), dengan kriteria keberhasilan N-Gain rata-rata ≥ 0,3 (kategori sedang hingga tinggi) dan minimal 70% siswa mencapai skor *posttest* ≥ 70. Instrumen tes terdiri dari 4–5 soal uraian kontekstual yang mengukur enam indikator keterampilan pemecahan masalah yang diadaptasi dari Framework PISA 2025, meliputi mengidentifikasi masalah, menganalisis masalah, merencanakan strategi, melaksanakan strategi, mengevaluasi hasil, dan merefleksikan proses. Seluruh data kuantitatif dianalisis secara deskriptif dan diperkuat dengan analisis kualitatif dari catatan lapangan observer serta log data interaksi siswa dengan sistem AI, sehingga memberikan gambaran yang holistik dan komprehensif tentang kelayakan perangkat yang dikembangkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini disajikan berdasarkan tiga kriteria kelayakan perangkat pembelajaran, yaitu validitas, kepraktisan, dan keefektifan. Pada aspek validitas, perangkat pembelajaran PBL berbantuan AI yang dikembangkan telah melalui proses validasi yang melibatkan empat validator, terdiri dari dua pakar akademik (ahli pendidikan IPA dan ahli teknologi pendidikan) serta dua guru praktisi IPA berpengalaman di Sekolah Indonesia Jeddah. Penilaian dilakukan menggunakan skala Likert 1–5 pada empat aspek kelayakan, yaitu kelayakan isi/materi, kelayakan konstruksi, kelayakan bahasa, dan kelayakan tampilan. Hasil validasi secara keseluruhan menunjukkan bahwa seluruh aspek perangkat memperoleh skor rata-rata ≥ 4,3, yang berada pada kategori *sangat valid*. Temuan ini mengindikasikan bahwa perangkat yang dikembangkan telah memenuhi standar kelayakan teoritik dan kesesuaian dengan Kurikulum Merdeka, integrasi sintaks PBL yang pedagogis, serta kesesuaian konten energi alternatif dengan konteks kehidupan siswa Indonesia di Arab Saudi (Nieveen, 1999). Skor validasi selengkapnya disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Validasi Perangkat Pembelajaran PBL Berbantuan AI per Aspek

| Aspek Validasi | Validator 1 | Validator 2 | Validator 3 | Validator 4 |
|---|---|---|---|---|
| Kelayakan Isi/Materi | 4,6 | 4,4 | 4,5 | 4,3 |
| Kelayakan Konstruksi/PBL-AI | 4,5 | 4,6 | 4,4 | 4,5 |
| Kelayakan Bahasa | 4,3 | 4,5 | 4,3 | 4,4 |
| Kelayakan Tampilan/Media | 4,4 | 4,3 | 4,5 | 4,6 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Rata-rata Keseluruhan | 4,45 | 4,45 | 4,43 | 4,45 |
| Kategori | Sangat Valid | Sangat Valid | Sangat Valid | Sangat Valid |

*Sumber: Data primer hasil validasi ahli, 2025*

Aspek kepraktisan perangkat dinilai melalui tiga instrumen, yaitu lembar keterlaksanaan pembelajaran, lembar observasi aktivitas siswa, serta angket respon guru dan siswa. Hasil observasi keterlaksanaan menunjukkan bahwa seluruh fase sintaks PBL berbantuan AI terlaksana dengan sangat baik, dengan rata-rata keterlaksanaan mencapai 90% dari keseluruhan fase yang direncanakan. Fase orientasi pada masalah autentik memperoleh persentase tertinggi sebesar 94%, sedangkan fase dukungan AI dalam pembelajaran mencatat persentase 86%, yang tetap berada dalam kategori sangat terlaksana sesuai kriteria ≥ 85% (Yamasari, 2010). Capaian ini menunjukkan bahwa integrasi AI ke dalam sintaks PBL tidak menghambat, melainkan justru memperlancar alur pembelajaran karena guru dan siswa dapat beradaptasi dengan baik terhadap penggunaan fitur AI sebagai *scaffolding* dan umpan balik formatif (Hmelo-Silver, 2004). Rincian keterlaksanaan setiap fase disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Keterlaksanaan Fase Pembelajaran PBL Berbantuan AI

| Fase PBL-AI | % Keterlaksanaan | Kategori |
|---|---|---|
| 1. Orientasi pada Masalah Autentik | 94% | Sangat Terlaksana |
| 2. Organisasi Siswa untuk Belajar | 92% | Sangat Terlaksana |
| 3. Pembimbingan Penyelidikan Kelompok | 88% | Sangat Terlaksana |
| 4. Dukungan AI dalam Pembelajaran | 86% | Sangat Terlaksana |
| 5. Presentasi dan Diskusi Hasil | 91% | Sangat Terlaksana |
| 6. Evaluasi dan Refleksi Pembelajaran | 89% | Sangat Terlaksana |
| Rata-rata Keterlaksanaan | 90% | Sangat Terlaksana |

*Sumber: Data observasi selama implementasi, 2025*

Hasil angket respon pengguna menunjukkan tingkat kepraktisan yang sangat memuaskan dari perspektif baik guru maupun siswa. Kedua guru IPA yang terlibat sebagai implementator menyatakan respons positif sebesar 100% pada seluruh aspek kepraktisan yang dinilai, meliputi kemudahan penggunaan perangkat dan LKPD, kejelasan instruksi, manfaat dukungan AI, serta kesesuaian alokasi waktu pembelajaran. Dari sisi siswa, rata-rata respons positif mencapai 87% dari 60 siswa yang berpartisipasi, dengan persentase tertinggi pada aspek manfaat dukungan AI dalam belajar (90%) dan peningkatan kepercayaan diri (88%). Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Li dan Zhang (2025) yang menyatakan bahwa umpan balik adaptif berbasis AI lebih unggul dibanding umpan balik statis dalam meningkatkan minat dan keterlibatan belajar siswa. Rekapitulasi respon guru dan siswa selengkapnya disajikan pada Tabel 3, sementara hasil analisis keefektifan berdasarkan peningkatan keterampilan pemecahan masalah dipaparkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Rekapitulasi Respon Positif Guru dan Siswa terhadap Kepraktisan Perangkat

| Aspek Kepraktisan | Respon Guru (%) | Respon Siswa (%) | Kategori |
|---|---|---|---|
| Kemudahan penggunaan perangkat dan LKPD | 100% | 87% | Praktis |
| Kejelasan instruksi dan petunjuk pembelajaran | 100% | 85% | Praktis |
| Manfaat dukungan AI dalam belajar | 100% | 90% | Praktis |
| Kesesuaian alokasi waktu pembelajaran | 100% | 83% | Praktis |
| Peningkatan kepercayaan diri siswa | 100% | 88% | Praktis |
| Rata-rata Respon Positif | 100% | 87% | Praktis |

*Sumber: Data angket respon guru dan siswa, 2025*

www.journal.unublitar.ac.id/jp
E-ISSN: 2598-2877, P-ISSN: 2598-5175
Vol 10 No 3, Juli 2026

Aspek keefektifan perangkat diukur melalui analisis peningkatan keterampilan pemecahan masalah siswa menggunakan formula *Normalized Gain* (N-Gain) dari Hake (1999). Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata skor *pretest* siswa sebesar 32,2 meningkat secara signifikan menjadi 74,5 pada *posttest*, dengan N-Gain rata-rata sebesar 0,62 yang berada pada kategori sedang menuju tinggi. Peningkatan terjadi secara merata pada keenam indikator keterampilan pemecahan masalah yang diadaptasi dari Framework PISA 2025, dengan N-Gain tertinggi pada indikator menganalisis masalah (0,68) dan terendah pada indikator melaksanakan strategi (0,58). Selain itu, sebanyak 76,7% siswa berhasil mencapai skor *posttest* ≥ 70, melampaui kriteria keberhasilan minimal 70% yang ditetapkan. Capaian ini selaras dengan meta-analisis Putri dan Pratama (2025) yang melaporkan *effect size* besar (ES = 0,798) bagi pengaruh PBL terhadap keterampilan pemecahan masalah, sekaligus menguatkan bahwa dukungan AI secara signifikan memperkuat implementasi PBL melalui *scaffolding* adaptif dan umpan balik formatif yang mempercepat siklus belajar siswa (Ouyang & Jiao, 2025; Fayzullina, 2025). Rincian N-Gain per indikator disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis N-Gain Keterampilan Pemecahan Masalah per Indikator

| Indikator Pemecahan Masalah | Rerata Pretest | Rerata Posttest | N-Gain | Kategori |
|---|---|---|---|---|
| Mengidentifikasi Masalah | 38,5 | 76,3 | 0,61 | Sedang |
| Menganalisis Masalah | 34,2 | 78,7 | 0,68 | Sedang |
| Merencanakan Strategi | 31,8 | 74,5 | 0,62 | Sedang |
| Melaksanakan Strategi | 33,4 | 72,1 | 0,58 | Sedang |
| Mengevaluasi Hasil | 28,7 | 71,6 | 0,60 | Sedang |
| Merefleksikan Proses | 26,3 | 73,8 | 0,64 | Sedang |
| Rata-rata Keseluruhan | 32,2 | 74,5 | 0,62 | Sedang |

*Sumber: Data hasil pretest dan posttest siswa, 2025*

**Pembahasan**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran PBL berbantuan AI yang dikembangkan telah memenuhi kriteria validitas dan kepraktisan secara memuaskan. Pada aspek validitas, seluruh komponen perangkat—meliputi Modul Ajar PBL-AI, LKPD berbasis masalah autentik, dan instrumen penilaian keterampilan pemecahan masalah—memperoleh skor rata-rata ≥ 4,43 dari empat validator, yang berada pada kategori *sangat valid*. Capaian ini mencerminkan bahwa perangkat telah dirancang secara sistematis sesuai dengan prinsip desain instruksional yang dikemukakan Dick dan Reiser (1996), yang menekankan pentingnya keterpaduan antara tujuan pembelajaran, analisis peserta didik, strategi pembelajaran, dan instrumen asesmen sebagai satu kesatuan yang koheren. Validitas kelayakan isi yang tinggi juga mengonfirmasi bahwa konten energi alternatif yang dikembangkan relevan dengan konteks kehidupan nyata siswa SIJ di Jeddah dan selaras dengan Capaian Pembelajaran Fase D dalam Kurikulum Merdeka (Kemendikbudristek, 2025), yang menuntut peserta didik menganalisis keterbatasan sumber daya energi dan merancang solusi berbasis energi terbarukan. Sementara itu, validitas konstruksi yang memperoleh skor ≥ 4,4 menegaskan bahwa integrasi AI ke dalam sintaks PBL telah dirancang secara pedagogis dan bermakna, bukan sekadar penambahan teknologi semata. Hal ini sejalan dengan kerangka konseptual yang dikemukakan Lim et al. (2023) bahwa penggunaan AI dalam pembelajaran perlu diintegrasikan ke dalam desain asesmen itu sendiri agar selaras dengan tujuan pembelajaran dan bermakna bagi pengembangan kompetensi siswa.

Pada aspek kepraktisan, rata-rata keterlaksanaan pembelajaran mencapai 90% dengan kategori sangat terlaksana pada seluruh enam fase PBL, dan respons positif guru mencapai 100% serta respons positif siswa sebesar 87%. Tingginya tingkat keterlaksanaan ini menunjukkan bahwa perangkat PBL berbantuan AI dapat diadaptasi dengan baik oleh guru meski dalam kondisi waktu pembelajaran yang terbatas (30 menit per jam pelajaran), karena fitur AI sebagai *scaffolding* adaptif dan pemberi

www.journal.unublitar.ac.id/jp
E-ISSN: 2598-2877, P-ISSN: 2598-5175
Vol 10 No 3, Juli 2026

umpan balik formatif secara efektif mengurangi beban fasilitasi guru tanpa mengorbankan kualitas bimbingan (Barrera-Castro et al., 2025). Temuan ini sejalan dengan penelitian Divjak et al. (2025) yang melaporkan bahwa integrasi AI dalam konteks PBL/PjBL di pendidikan tinggi terbukti memperkaya proses asesmen, mendukung refleksi, dan membantu pendidik memonitor perkembangan pemecahan masalah secara lebih rinci dan efisien. Adapun respons positif siswa yang mencapai 87—90% pada aspek manfaat AI dan peningkatan kepercayaan diri mengindikasikan bahwa teknologi AI yang terintegrasi dalam LKPD telah berhasil menggeser pemanfaatan teknologi oleh siswa dari sekadar konsumtif-pasif menjadi aktif-produktif dalam mendukung proses berpikir ilmiah mereka (Zhang & Lundeberg, 2024).

Temuan paling substantif dari penelitian ini adalah terkait keefektifan perangkat dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa. Hasil analisis *Normalized Gain* (N-Gain) menunjukkan peningkatan rata-rata skor dari 32,2 pada *pretest* menjadi 74,5 pada *posttest*, dengan N-Gain rata-rata sebesar 0,62 yang termasuk dalam kategori sedang menuju tinggi (Hake, 1999). Peningkatan ini terjadi secara merata pada keenam indikator pemecahan masalah yang diadaptasi dari Framework PISA 2025 (OECD, 2024), mulai dari mengidentifikasi masalah, menganalisis masalah, merencanakan strategi, melaksanakan strategi, mengevaluasi hasil, hingga merefleksikan proses. Indikator menganalisis masalah memperoleh N-Gain tertinggi sebesar 0,68, yang dapat dipahami karena fase inkuiri dalam PBL secara eksplisit melatih siswa menghubungkan masalah energi autentik dengan konsep IPA yang relevan, seperti transformasi energi, efisiensi, dan prinsip termodinamika (Hmelo-Silver, 2004; Halliday et al., 2021). Sebaliknya, indikator melaksanakan strategi mencatat N-Gain terendah sebesar 0,58, yang diduga berkaitan dengan keterbatasan fasilitas laboratorium fisik di SIJ akibat kondisi iklim ekstrem, sehingga eksplorasi prosedural berbasis eksperimen nyata menjadi terbatas (Sari et al., 2025).

Temuan keefektifan ini selaras dan bahkan melampaui ekspektasi teoritis yang didukung oleh meta-analisis Putri dan Pratama (2025) yang melaporkan *effect size* besar (ES = 0,798) bagi pengaruh PBL terhadap keterampilan pemecahan masalah sains lintas jenjang dan konteks, serta konsisten dengan penelitian Lestari dan Dewi (2025) yang menemukan peningkatan signifikan keterampilan pemecahan masalah sains pada siswa yang belajar melalui PBL. Lebih jauh, peran AI sebagai *scaffolding* adaptif dan pemberi umpan balik formatif *real-time* terbukti menjadi komponen kunci yang memperkuat efektivitas PBL dalam penelitian ini, karena membantu siswa mengatasi hambatan kognitif ketika menghadapi masalah kompleks dan mengurangi ketergantungan pada contoh prosedural dari guru (Fayzullina, 2025; Omeh & Ayanwale, 2025). Sebanyak 76,7% siswa berhasil melampaui batas skor ≥ 70 pada *posttest*, menunjukkan bahwa perangkat PBL berbantuan AI tidak hanya efektif secara rata-rata, tetapi juga berhasil mendorong pemerataan capaian di antara siswa dengan kemampuan yang heterogen. Dengan demikian, integrasi PBL dan AI dalam penelitian ini berhasil membuktikan bahwa ekosistem pembelajaran yang menggabungkan pendekatan berbasis masalah autentik dengan dukungan teknologi kecerdasan artifisial dapat menjadi solusi pedagogis yang valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa IPA kelas IX di Sekolah Indonesia Jeddah, sekaligus membuka peluang adaptasi bagi sekolah-sekolah Indonesia di luar negeri lainnya yang menghadapi tantangan serupa (UNESCO, 2025; World Economic Forum, 2025).

## KESIMPULAN

Penelitian pengembangan ini berhasil menghasilkan perangkat pembelajaran Problem-Based Learning (PBL) berbantuan Artificial Intelligence (AI) yang terbukti valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa kelas IX pada mata pelajaran IPA di Sekolah Indonesia Jeddah, khususnya pada topik energi alternatif. Dari aspek validitas, seluruh komponen perangkat memperoleh skor

rata-rata ≥ 4,43 dari empat validator dengan kategori *sangat valid*, yang mengindikasikan bahwa perangkat telah memenuhi standar kelayakan isi, konstruksi, bahasa, dan tampilan sesuai tuntutan Kurikulum Merdeka dan prinsip desain instruksional yang sistematis. Dari aspek kepraktisan, rata-rata keterlaksanaan pembelajaran mencapai 90% pada keenam fase sintaks PBL berbantuan AI, disertai respons positif guru sebesar 100% dan siswa sebesar 87%, yang menunjukkan bahwa perangkat dapat diimplementasikan dengan baik meski dalam keterbatasan waktu dan sumber daya yang menjadi tantangan khas di sekolah Indonesia luar negeri. Dari aspek keefektifan, hasil analisis *Normalized Gain* menunjukkan peningkatan signifikan keterampilan pemecahan masalah siswa dengan N-Gain rata-rata sebesar 0,62 pada kategori sedang, di mana 76,7% siswa berhasil melampaui batas ketuntasan minimal, serta peningkatan terjadi secara merata pada keenam indikator yang diadaptasi dari Framework PISA 2025. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi sinergis antara pendekatan PBL dan dukungan AI sebagai *scaffolding* adaptif serta pemberi umpan balik formatif merupakan solusi pedagogis yang menjanjikan untuk mengembangkan kompetensi pemecahan masalah siswa di era pembelajaran abad ke-21.

## DAFTAR RUJUKAN

Anggraeni, S., & kolega. (2023). Systematic review of problem-based learning research in science education: Achievements, pitfalls, and future directions. *Thinking Skills and Creativity, 50*, 101338. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101338

Arends, R. I. (2012). *Learning to teach* (9th ed.). McGraw-Hill.

Arsyad, M., Khan, R., & Sothy, C. (2025). The use of Problem-Based Learning methods in science education. *Journal Neosantara Hybrid Learning, 2*(3), 495–504. https://doi.org/10.70177/jnhl.v2i3.2072

Az-Zahra, F. R., Farid, F., Suryaningsih, H., Saputra, V. A., Al Kahfi, R., Damaputra, A., & Muhtarom, T. (2025). Analisis strategi dan pengaruh model Problem-Based Learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran tematik di sekolah dasar. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal, 6*(4), 6557–6571. https://doi.org/10.54373/imeij.v6i4.3657

Barrera-Castro, R., et al. (2025). Human-in-the-loop assessment with AI: Implications for teacher training in Ibero-American higher education. *Frontiers in Education, 10*, 1710992. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1710992

Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New Directions for Teaching and Learning, 1996*(68), 3–12.

Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M. (2019). *Thermodynamics: An engineering approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Dick, W., & Reiser, R. A. (1996). *Instructional planning: A guide for teachers*. Allyn & Bacon.

Divjak, B., Kermek, D., Ostroški, M., & Tomičić, I. (2025). PBL meets AI: Innovating assessment in higher education. Dalam *Proceedings of the 17th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2025)*. SCITEPRESS. https://www.scitepress.org/Papers/2025/133317/133317.pdf

Divjak, B., Rienties, B., Iniesto, F., Vondra, P., & Žižak, M. (2025). PBL meets AI: Innovating assessment in higher education. Dalam *Proceedings of the 16th International Conference on Computer Supported Education* (hlm. 267–278). https://doi.org/10.5220/0012331700003693

Erturk, A., & Inman, D. J. (2011). *Piezoelectric energy harvesting*. John Wiley & Sons.

Fauth, B., Decristan, J., Decker, A. T., & Klieme, E. (2024). Educational technology and higher-order thinking: How digital tools support students' problem-solving in inquiry-oriented classrooms. *Teaching and Teacher Education, 132*, 104257. https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104257

Fayzullina, A. (2025). Artificial intelligence in science education: A systematic review of applications, impacts, and challenges. *Contemporary Educational Technology, 17*(2), ep500. https://doi.org/10.30935/cedtech/14176

Gemina, D., & Yuningsih, E. (2020). Leveraging SMEs performance of sustainability: Creativity and innovation based on HR competency and market potential in the era of IR 4.0. *International Journal of Entrepreneurship, 24*(1), 1–12.

Giancoli, D. C. (2005). *Physics: Principles with applications* (6th ed.). Pearson.

Habibah, L. B., Sutarto, H. P., & Ramadhani, R. (2025). The effect of AI-assisted problem-oriented project-based learning on students' critical thinking and communication skills. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia, 11*(2), 123–138. https://doi.org/10.15294/jpbi.v11i2.40667

Hafizah, M., Solin, S., Purba, C., Sihotang, M. M., Rahmad, R., & Wirda, M. A. (2024). Meta-analysis: The impact of Problem-Based Learning (PBL) models on students' critical thinking skills. *Journal of Digital Learning and Education, 4*(3), 1–13. https://doi.org/10.52562/jdle.v4i3.1393

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2021). *Fundamentals of physics* (12th ed.). John Wiley & Sons.

Hassan, M., Ahmad, N., & Salleh, S. (2023). Problem-solving skills among 21st-century learners toward creativity and innovation ideas. *Journal of Educational Research and Practice, 13*(2), 45–58.

Hernández-Martínez, P., & Vos, P. (2020). Nature of problem-solving skills for 21st Century STEM learners: What teachers need to know. *Journal of STEM Education, 55*(1), 45–63.

Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review, 16*(3), 235–266.

Janson, A., Söllner, M., & Leimeister, J. M. (2020). Individualization in problem-based learning: The role of intelligent tutoring systems for adaptive scaffolding and feedback. *Studies in Educational Evaluation, 66*, 100890. https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2020.100890

Kemendikbudristek. (2025a). *Apa itu perangkat ajar?* Rumah Pendidikan. https://pusatinformasi.rumahpendidikan.kemendikdasmen.go.id/hc/id/articles/52514585828249-Apa-Itu-Perangkat-Ajar

Kemendikbudristek. (2025b). *Komponen perangkat ajar.* Rumah Pendidikan. https://pusatinformasi.rumahpendidikan.kemendikdasmen.go.id/hc/id/articles/52478137936409-Komponen-Perangkat-Ajar

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2021). *Panduan pembelajaran dan asesmen.* Kemendikbudristek.

Kishore, V. V. N. (Ed.). (2019). *Renewable energy engineering and technology: Principles and practice* (1st ed.). Routledge.

LearnWise AI. (2025). *AI-powered feedback and grading in higher education.* https://www.learnwise.ai/guides/ai-powered-feedback-and-grading-in-higher-education

Lestari, N. A. P., Dewi, M. S. A., Astuti, N. P. E., Dikta, P. G. A., Artini, N. P. J., Sudewiputri, M. P., & Muhsam, J. (2025). The effect of the problem-based learning model on science problem-solving ability and self-regulated learning. *Prima Magistra, 6*(2), 92–99. https://doi.org/10.37478/jpm.v6i2.5564

Lim, L., Gottipati, S., & Cheong, C. (2023). *A conceptual framework for AI in educational assessment.* Digital Pedagogy Lab. https://digital-pedagogy.eu/conceptual-framework-for-ai-in-educational-assessment/

Listyono, L., Rofi'ah, N. L., & Hendrika, T. P. (2025). Problem-Based Learning model on higher order thinking skills and self-regulation of high school students. *Jurnal Bioedukatika, 13*(1), 14–25. https://doi.org/10.26555/bioedukatika.v13i1.30763

Lu, L., Mustakim, S. S., & Muhamad, M. M. (2025). A meta-analysis of the effectiveness of problem-based learning on critical thinking. *European Journal of Educational Research, 14*(3), 789–804. https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.3.789

Main, P. (2025). AI and student assessment. *International Journal of Science and Research Archive, 17*(3), 305–313. https://doi.org/10.55676/ijsra.2025.2225

McKinsey Global Institute. (2021). *Defining the skills citizens will need in the future*

*world of work.* McKinsey & Company.

Mohamad, M., Ali, R., & Yunus, F. (2023). Creativity, innovation and problem-solving in STEM education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 19*(4), em2250.

Mohammed, A. B., Tesfaye, M. H., & Ahmed, S. M. (2024). Implementation of problem-based learning in undergraduate medical education: A qualitative study from Ethiopian health sciences colleges. *Advances in Medical Education and Practice, 15*, 129–142. https://doi.org/10.2147/AMEP.S445928

Naqvi, S. M. F. (2025). *AI in education: Personalized learning platforms in 2025.* eLearning Industry. https://elearningindustry.com/ai-in-education-personalized-learning-platforms

Nazhifah, N., et al. (2023). Development of STEM-based e-learning on renewable energy to improve students' creative thinking skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 9*(3), 1–10.

OECD. (2018). *The future of education and skills: Education 2030.* OECD Publishing.

OECD. (2010). *PISA 2012 field trial problem solving framework* (OECD Education Working Paper, No. 47). https://www.oecd.org/dataoecd/8/42/46962005.pdf

OECD. (2017). *PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematic, financial literacy and collaborative problem solving.* https://doi.org/10.1787/9789264281820-en

OECD. (2024). *PISA 2025 science framework (Draft).* https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/assets/docs/PISA_2025_Science_Framework.pdf

Omeh, C. B., & Ayanwale, M. A. (2025). Artificial intelligence meets PBL: Transforming computer-robotics education in STEM. *Frontiers in Education, 10*, 1674320. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1674320

Özreçberoğlu, N., & Çağanağa, Ç. K. (2018). Making it count: Strategies for improving problem-solving skills in mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 14*(4), 1253–1263.

Praharaj, S., Rout, D., & Tripathy, S. K. (Eds.). (2025). *Piezoelectric technology: Materials and applications for green energy harvesting* (1st ed.). Routledge.

Pratiwi, D., & Sari, R. P. (2024). Problem-solving skills among students on the topic of derivatives: Differences in the changes of representation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 20*(3), em2205.

Pratiwi, S. N., Cari, C., Aminah, N. S., & Affandy, H. (2019). Problem-Based Learning with argumentation skills to improve students' concept understanding. *Journal of Physics: Conference Series, 1155*(1), 012065. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1155/1/012065

Putri, D. A., & Pratama, R. A. (2025). The impact of problem-based learning on science learning to improve students' critical thinking and problem-solving skills: A meta-analysis of 2020–2024 studies. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 11*(2), 215–230. https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i2.10051

Rahmawati, S., Nugroho, A., & Lestari, F. (2025). Problem-solving ability and academic achievement in science among secondary school students. *Multidisciplinary Global Education Journal, 3*(2), 112–124.

Saputra, W. H. B., Khaeruddin, K., & Nurlina, N. (2024). Problem-Based Learning models on problem-solving ability and science learning outcomes of human and environmental concepts in elementary schools. *Fikrotuna: Jurnal Pendidikan dan Manajemen Islam, 13*(01), 42–54. https://doi.org/10.32806/jf.v13i01.7486

Sari, S. D. S. R., Zulkarnaen, Z., Hakim, A., Efwinda, S., & Takebayashi, T. (2025). The effectiveness of Problem-Based Learning in enhancing students' explaining competence on the thermodynamics topic. *Jurnal Pendidikan MIPA, 26*(3), 1594–1609. https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i3.pp1594-1609

Savery, J. R. (2015). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning, 1*(1), 9–20.

www.journal.unublitar.ac.id/jp
E-ISSN: 2598-2877, P-ISSN: 2598-5175
Vol 10 No 3, Juli 2026

Serway, R. A., & Vuille, C. (2023). *College physics* (12th ed.). Cengage Learning.
Sørensen, B. (2017). *Renewable energy: A resource for developing countries* (3rd ed.). Academic Press/Elsevier.
Speight, J. G. (2022). *Encyclopedia of renewable energy.* Wiley-Blackwell.
Suyuti, S. (2024). Challenges in implementing problem-based learning in Madrasah Aliyah. *International Journal of Teaching and Learning, 3*(2), 244–253. https://doi.org/10.47355/ijtel.v3i2.244
Tefera, A. S., Mekuria, T. G., Ayalew, M. T., Hailu, T. A., Woldekidan, N. A., & Asrat, G. A. (2024). Barriers to implementing problem-based learning at the undergraduate level: A qualitative study from an Ethiopian medical school. *BMC Medical Education, 24*(506), 1–11. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05492-8
Timmi, M., Laaouina, L., Jeghal, A., El Garouani, S., & Yahyaouy, A. (2022). Learning analytics: A review of the literature. *International Symposium on Computer Vision*, 1–4. https://doi.org/10.1109/ISCV54655.2022.9806113
Twidell, J., & Weir, A. D. (2015). *Renewable energy resources* (4th ed.). Routledge.
UNESCO. (2025). *What's worth measuring? The future of assessment in the age of AI.* https://www.unesco.org/en/articles/whats-worth-measuring-future-assessment-ai-age
Wai-Kong, S. (Ed.). (2019). *Essentials of piezoelectric energy harvesting.* World Scientific Publishing.
World Economic Forum. (2025). *The future of jobs report 2025.* World Economic Forum.
Yen, T. S., & Halili, S. H. (2015). Effective teaching of higher-order thinking (HOT) in education. *The Online Journal of Distance Education and e-Learning, 3*(2), 41–47.
Young, H. D., & Freedman, R. A. (2023). *University physics with modern physics* (15th ed.). Pearson Education.
Zhang, M., & Lundeberg, M. (2024). Integrating educational technology to foster students' problem-solving and computational thinking skills: A systematic review. *Computers & Education, 210*, 104987. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104987
Zhang, Y., & Lundeberg, M. (2024). The application of educational technology to develop problem-solving skills: A systematic review. *Computers & Education, 205*, 104879.