

**PENGARUH MODUL-EL IPA *FLIPPED PROJECT BASED LEARNING* BERBANTUAN
ARTIFICIAL INTELLIGENCE TERHADAP BERPIKIR KRITIS**

Alfianti Hasanah*, Uuniversitas Negeri Yogyakarta

Asri Widowati, Universitas Negeri Yogyakarta

*e-mail: alfiantihasanah.2022@studetnt.uny.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh modul elektronik (modul-el) IPA bermodel Flipped Project Based Learning (FPjBL) berbantuan Artificial Intelligence (AI) terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik pada materi suhu dan kalor. Penelitian menggunakan desain quasi experiment dengan pretest–posttest comparison group design. Subjek penelitian berjumlah 64 peserta didik kelas VII di sekolah menengah pertama di Yogyakarta yang terbagi menjadi dua kelas, yaitu eksperimen satu (modul-el berbantuan AI) dan eksperimen dua (buku cetak). Data dikumpulkan menggunakan tes pilihan ganda berbasis enam indikator berpikir kritis Facione yang telah tervalidasi. Analisis data menggunakan uji normalitas Shapiro–Wilk, uji homogenitas Levene, independent sample t-test, paired sample t-test, dan effect size. Hasil menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan pada pretest (Sig. = 0,136), tetapi terdapat perbedaan signifikan pada posttest (Sig. = 0,031). Uji paired sample t-test pada eksperimen satu menunjukkan peningkatan signifikan (Sig. = 0,000). Nilai effect size sebesar 0,7 termasuk kategori besar. Dengan demikian, modul-el IPA bermodel FPjBL berbantuan AI berpengaruh signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence, berpikir kritis, Flipped Project Based Learning, modul elektronik, suhu dan kalor*

Abstract. This study aims to examine the effect of an electronic science module based on Flipped Project Based Learning (FPjBL) assisted by Artificial Intelligence (AI) on students' critical thinking skills in the topic of temperature and heat. The research employed a quasi-experimental design using a pretest–posttest comparison group design. The participants were 64 seven grade students from a junior high school in Yogyakarta divided into two groups: Experiment One (AI-assisted e-module) and Experiment Two (printed module). Data were collected using a validated multiple-choice critical thinking test based on six indicators proposed by Facione. The data were analyzed using Shapiro–Wilk normality test, Levene homogeneity test, independent sample t-test, paired sample t-test, and effect size. The results showed no significant difference in pretest scores (Sig. = 0.136), but a significant difference in posttest scores (Sig. = 0.031). The paired sample t-test in Experiment One showed significant improvement (Sig. = 0.000). The effect size value was 0.7 (large category). These findings indicate that the AI-assisted FPjBL e-module significantly improves students' critical thinking skills

Keyword: *Artificial Intelligence, critical thinking, e-module, Flipped Project Based Learning, temperature and heat*

PENDAHULUAN

Pengembangan keterampilan abad ke-21 menjadi tuntutan utama dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA). Kompetensi tersebut dikenal dengan kerangka 6C, yaitu *critical thinking, creativity, culture, collaboration, communication*, dan *connectivity* (Montessori et al., 2023). Dari keenam kompetensi tersebut, keterampilan berpikir kritis memiliki posisi sentral karena berperan sebagai fondasi dalam pengambilan keputusan rasional, pemecahan masalah ilmiah, serta evaluasi informasi secara objektif (Girsang et al., 2022). Berpikir kritis tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menjawab soal kompleks, tetapi mencakup proses interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, dan regulasi diri (Facione, 2011). Dengan demikian, keterampilan berpikir kritis menjadi indikator penting keberhasilan pembelajaran IPA yang bermakna.

Namun, berbagai hasil studi internasional menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis peserta didik Indonesia masih berada pada kategori rendah. Data *Programme for International Student Assessment* (PISA) tahun 2018 yang dirilis OECD (2019) menempatkan Indonesia pada peringkat ke-71 dari 80 negara (Shafiyah & Sabtiawan, 2024). Capaian tersebut menunjukkan bahwa kemampuan peserta didik dalam menyelesaikan permasalahan berbasis penalaran ilmiah dan analisis masih lemah. Temuan ini diperkuat oleh hasil *Trends in International Mathematics and Science Study* (TIMSS) tahun 2015 yang menempatkan Indonesia pada peringkat ke-44 dari 49 negara (Khasanah et al., 2024). Rendahnya capaian tersebut mengindikasikan bahwa proses pembelajaran belum sepenuhnya mendorong pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi.

Permasalahan ini tidak terlepas dari praktik pembelajaran yang masih cenderung berorientasi pada guru (*teacher centered learning*). Meskipun kurikulum telah mendorong perubahan menuju pembelajaran berpusat pada peserta didik (*student centered learning*), implementasinya di lapangan belum optimal (Oktaviyanti & Fadly, 2023). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan model pembelajaran yang mampu mendorong keterlibatan aktif peserta didik. Salah satu model yang terbukti efektif adalah Project Based Learning (PjBL). PjBL menuntut peserta didik untuk mengidentifikasi masalah, merancang solusi, serta menghasilkan produk melalui tahapan pembelajaran sistematis (Dewi et al., 2023). Model ini memberikan pengalaman belajar autentik yang mendorong analisis mendalam dan refleksi, sehingga berpotensi meningkatkan keterampilan berpikir kritis.

Meskipun demikian, PjBL memiliki keterbatasan, terutama dalam hal alokasi waktu. Proses perencanaan proyek, pelaksanaan, hingga evaluasi memerlukan waktu yang relatif panjang (Thomas, 2000). Keterbatasan waktu ini sering menjadi kendala dalam implementasi

optimal di kelas, terutama ketika materi yang diajarkan memiliki cakupan konsep yang luas. Oleh karena itu, diperlukan strategi pendukung untuk meningkatkan efisiensi pelaksanaan PjBL tanpa mengurangi kedalaman proses pembelajaran. Pendekatan flipped classroom menjadi solusi untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Dalam flipped classroom, penyampaian materi dasar dilakukan sebelum pembelajaran tatap muka melalui media digital, sehingga waktu di kelas dapat difokuskan pada diskusi dan pemecahan masalah (Kamaruddin et al., 2022).

Selain model pembelajaran, bahan ajar juga berperan penting dalam mendukung keberhasilan FPjBL. Modul elektronik (modul-el) menjadi alternatif bahan ajar yang relevan dengan tuntutan pembelajaran modern. Modul-el memungkinkan integrasi multimedia, interaktivitas, serta fleksibilitas akses yang tidak dimiliki buku cetak (Rezki & Ramdani, 2024). Lebih lanjut, inovasi pembelajaran dapat diperkuat melalui pemanfaatan Artificial Intelligence (AI). AI memungkinkan penyediaan pembelajaran adaptif, umpan balik cepat, serta evaluasi real-time yang mendukung personalisasi pembelajaran (Ratnasari et al., 2024). Urgensi penerapan inovasi pembelajaran ini semakin relevan pada materi suhu dan kalor. Materi ini memiliki cakupan konsep yang luas dan kompleks, serta rentan menimbulkan miskonsepsi, seperti anggapan bahwa suhu dan kalor merupakan konsep yang sama atau kesalahan pemahaman tentang bahan konduktor dan isolator (Kapul et al., 2023). Kompleksitas tersebut menuntut pendekatan pembelajaran berbasis proyek yang memungkinkan peserta didik mengaitkan konsep dengan fenomena nyata melalui pengalaman langsung. Oleh karena itu, integrasi AI dalam modul-el berbasis FPjBL berpotensi meningkatkan efektivitas pembelajaran IPA, khususnya pada materi suhu dan kalor yang bersifat konseptual dan abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: (1) perbedaan keterampilan berpikir kritis antara kelas eksperimen satu dan kelas eksperimen dua, (2) peningkatan keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen satu, serta (3) besar pengaruh penggunaan modul-el IPA FPjBL berbantuan AI.

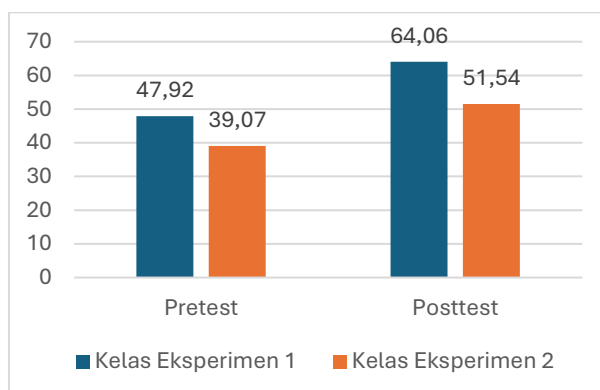
METODE

Penelitian ini menggunakan desain quasi experiment dengan model pretest–posttest comparison group design. Penelitian dilaksanakan pada dua kelas VII di salah satu SMP negeri di Yogyakarta dengan jumlah total 64 peserta didik. Kelas eksperimen satu terdiri atas 32 peserta didik yang menggunakan modul-el IPA bermodel FPjBL berbantuan AI, sedangkan kelas eksperimen dua terdiri atas 32 peserta didik yang menggunakan buku cetak dengan model pembelajaran yang sama. Instrumen penelitian berupa tes pilihan ganda keterampilan berpikir

kritis yang dikembangkan berdasarkan enam indikator menurut Facione (2011) yaitu interpretasi, analisis, eksplanasi, evaluasi, inferensi, dan regulasi diri. Tes diberikan sebelum (*pretest*) dan sesudah pembelajaran (*posttest*).

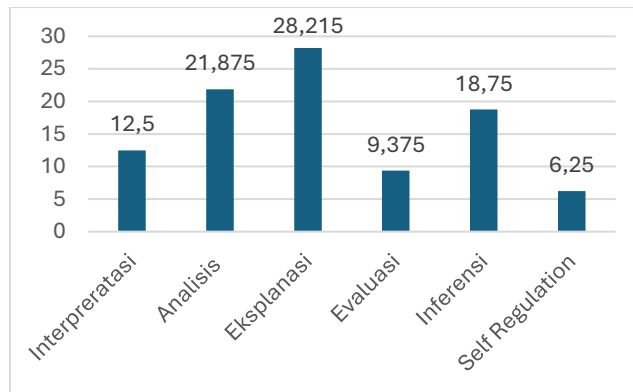
HASIL PENELITIAN

Instrumen penelitian yang digunakan berupa tes pilihan ganda keterampilan berpikir kritis sebanyak 50 butir soal. Sebelum digunakan dalam penelitian, instrumen terlebih dahulu melalui uji validitas isi, validitas empiris, dan uji reliabilitas untuk memastikan bahwa instrumen layak digunakan dalam mengukur konstruk keterampilan berpikir kritis. Instrumen telah diuji validitas dan reliabilitasnya menggunakan program QUEST sehingga dinyatakan layak digunakan. Setelah dilakukan pengujian validitas dan reliabilitas maka dilakukan penelitian. Penelitian ini melibatkan dua kelas eksperimen, masing-masing berjumlah 32 peserta didik. Kelas eksperimen satu menggunakan modul-el IPA bermodel FPjBL berbantuan AI, sedangkan kelas eksperimen dua menggunakan modul-el yang sama tetapi berbantuan buku cetak. Adapun hasil nilai *pretest* dan *posttest* dari kedua kelas tersebut disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik Rata-Rata Skor *Pretest* dan *Posttest*

Berdasarkan data pada gambar 1, diperoleh bahwa rata-rata nilai pretest kelas eksperimen satu adalah 47,92, sedangkan kelas eksperimen dua sebesar 39,07. Nilai ini menunjukkan bahwa kemampuan awal keterampilan berpikir kritis kedua kelas relatif masih rendah dan belum mencapai kategori optimal. Setelah diberikan perlakuan, rata-rata posttest kelas eksperimen satu meningkat menjadi 64,06, sedangkan kelas eksperimen dua meningkat menjadi 51,54. Secara deskriptif, kedua kelas mengalami peningkatan. Namun demikian, peningkatan pada kelas eksperimen satu tampak lebih tinggi dibandingkan kelas eksperimen dua. Selain itu, diperoleh hasil peningkatan rata-rata keterampilan berpikir kritis peserta didik pada setiap indikator yang disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Setiap Indikator

Tabel 2, rata-rata indikator berpikir kritis yang memiliki kenaikan nilai tertinggi yaitu eksplanasi sedangkan yang terendah yaitu *self regulation*. Selanjutnya dilakukan uji prasyarat data terlebih dahulu yaitu uji normalitas dan homogenitas untuk memastikan kelayakan penggunaan uji parametrik. Pengujian parametrik menggunakan SPSS vers 26. Adapun hasil uji normalitas data disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas

Data	<i>Sig Shapiro-Wilk</i>
Pretest Kelas Eksperimen Satu	0,066
Posttest Kelas Eksperimen Satu	0,059
Pretest Kelas Eksperimen Dua	0,059
Posttest Kelas Eksperimen Dua	0,051

Tabel 1, seluruh nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal. Dengan demikian, data dapat dilanjutkan untuk analisis homogenitas. Adapun hasil uji homogenitas disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Homogenitas

Data	<i>Sig Levene</i>
<i>Pretest</i>	0,677
<i>Posttest</i>	0,854

Tabel 2, nilai signifikansi pretest sebesar 0,677 dan posttest sebesar 0,854, keduanya lebih besar dari 0,05. Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa nilai signifikansi pretest dan posttest lebih besar dari 0,05, maka variansi kedua kelas dinyatakan homogen (Nurhaswinda et al., 2025). Dengan demikian, tidak terdapat perbedaan varians yang signifikan antara kelas

eksperimen satu dan eksperimen dua. Dengan terpenuhinya asumsi normalitas dan homogenitas, maka analisis dilanjutkan menggunakan uji hipotesis.

Pengujian hipotesis salah satunya dilakukan dengan uji *independent sample t test*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui signifikansi perbedaan rata-rata tertentu dari dua sampel yang tidak berpasangan. Adapun hasil uji *independent sample t test* disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Independent Sample t test

Perbandingan	<i>Sig. (2-tailed)</i>
<i>Pretest</i> Kelas Eksperimen Satu dan Dua	0,136
<i>Posttest</i> Kelas Eksperimen Satu dan Dua	0,031

Tabel 3, nilai signifikansi pretest sebesar 0,136 ($> 0,05$) menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan kemampuan awal antara kedua kelas. Dengan kata lain, kedua kelompok memiliki tingkat keterampilan berpikir kritis yang setara sebelum perlakuan diberikan. Sebaliknya, nilai signifikansi posttest sebesar 0,031 ($< 0,05$) menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kedua kelas setelah perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan modul-el FPjBL berbantuan AI memberikan hasil yang berbeda secara signifikan dibandingkan penggunaan buku cetak.

Pengujian selanjutnya yaitu uji *paired sample t test*. Uji ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan signifikansi perbedaan setelah diberikan pembelajaran pada peserta didik. Jika nilai *sig. (2 tailed)* $< 0,05$ maka terdapat perbedaan signifikansi dari kedua data (Zahara, 2024). Berdasarkan pengujian diperoleh hasil uji *paired sample t test* sebesar 0,000 ($< 0,05$) menunjukkan bahwa terdapat peningkatan yang signifikan antara nilai pretest dan posttest pada kelas eksperimen satu. Dengan demikian, modul-el berbantuan AI secara statistik terbukti meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Selain itu, untuk menguji besarnya peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik, maka dilakukan uji *effect size*. Adapun hasil uji *effect size* disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Effect Size

<i>Mean Pretest</i>	<i>Mean Posttest</i>	<i>Sd Pretest</i>	<i>Sd Posttest</i>	N	<i>Effect Size</i>
47,916	64,062	22,698	22,840	32	0,7

Tabel 4, nilai effect size sebesar 0,7 termasuk dalam kategori besar (Umayrah et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh penggunaan modul-el FPjBL berbantuan AI tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga memiliki dampak yang kuat secara praktis dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan modul-el IPA bermodel Flipped Project Based Learning (FPjBL) berbantuan Artificial Intelligence memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Hal ini dibuktikan melalui hasil *independent sample t test* pada posttest yang menunjukkan nilai signifikansi 0,031 ($<0,05$), serta *paired sample t test* pada kelas eksperimen satu dengan nilai signifikansi 0,000 ($<0,05$). Selain itu, nilai effect size sebesar 0,7 termasuk kategori besar, yang berarti intervensi memiliki dampak kuat secara praktis. Dengan tidak adanya perbedaan signifikan pada *pretest* (sig. 0,136 $>0,05$), maka peningkatan yang terjadi dapat dikaitkan dengan perlakuan berupa penggunaan modul-el FPjBL berbantuan AI.

Secara teoritis, peningkatan ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pembelajaran efektif terjadi ketika peserta didik aktif membangun pengetahuan melalui pengalaman langsung (Piaget, 1970; Vygotsky, 1978). Model PjBL memungkinkan peserta didik terlibat dalam proses identifikasi masalah, perancangan solusi, pengujian ide, hingga presentasi hasil. Dalam konteks materi suhu dan kalor, peserta didik tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mengimplementasikannya dalam proyek nyata. Aktivitas ini secara langsung melatih komponen berpikir kritis sebagaimana dikemukakan oleh Facione (2011), yaitu interpretasi, analisis, eksplanasi, evaluasi, inferensi, dan regulasi diri.

Jika ditinjau berdasarkan indikator, peningkatan tertinggi terjadi pada indikator eksplanasi. Hal ini menunjukkan bahwa peserta didik mengalami perkembangan signifikan dalam kemampuan menjelaskan hasil pemikiran atau produk proyek secara logis dan sistematis. Peningkatan eksplanasi dapat dijelaskan melalui karakteristik PjBL yang menuntut peserta didik mempresentasikan hasil proyek dan mempertanggungjawabkan desain yang dibuat. Menurut Prince (2004), pembelajaran aktif yang melibatkan diskusi dan presentasi meningkatkan kemampuan elaborasi konsep. Selain itu, teori *social constructivism* Vygotsky (1978) menekankan pentingnya interaksi sosial dalam mengembangkan kemampuan komunikasi ilmiah. Proses diskusi kelompok dan presentasi proyek dalam FPjBL secara alami melatih kemampuan eksplanasi peserta didik.

Indikator analisis dan interpretasi juga menunjukkan peningkatan yang baik. Hal ini dapat dikaitkan dengan tahapan awal PjBL yang mengharuskan peserta didik mengidentifikasi masalah

dan menganalisis kebutuhan proyek. Dalam materi suhu dan kalor, peserta didik harus menganalisis sifat bahan konduktor dan isolator serta menginterpretasikan fenomena perpindahan kalor. Aktivitas ini sejalan dengan definisi berpikir kritis menurut Facione (2011), di mana analisis melibatkan kemampuan mengidentifikasi hubungan antar konsep dan interpretasi berkaitan dengan memahami makna data atau informasi. Dukungan modul-el yang memuat visualisasi interaktif juga membantu peserta didik menginterpretasikan konsep abstrak. Mayer (2009) menjelaskan bahwa integrasi multimedia memperkuat pemrosesan informasi dan membantu peserta didik membangun representasi mental yang lebih akurat.

Indikator evaluasi dan inferensi juga mengalami peningkatan, meskipun tidak setinggi eksplanasi. Peningkatan ini terjadi karena dalam proses proyek peserta didik harus mengevaluasi efektivitas desain termos sederhana yang dibuat serta menarik kesimpulan berdasarkan hasil pengamatan. Kegiatan ini melatih kemampuan mengevaluasi argumen dan membuat keputusan berdasarkan bukti. Menurut teori *higher order thinking*, kemampuan evaluasi dan inferensi berkembang ketika peserta didik dihadapkan pada masalah terbuka yang memiliki lebih dari satu kemungkinan solusi (Anderson & Krathwohl, 2001). FPjBL menyediakan kondisi tersebut karena proyek yang dikerjakan memungkinkan variasi desain dan strategi penyelesaian.

Sementara itu, indikator regulasi diri (*self-regulation*) menunjukkan peningkatan terendah dibanding indikator lainnya. Regulasi diri berkaitan dengan kemampuan memantau dan mengevaluasi proses berpikir sendiri (Facione, 2011). Kemampuan ini termasuk dalam ranah metakognitif yang menurut Zimmerman (2002) berkembang melalui latihan reflektif yang berulang dan berkelanjutan. Meskipun penggunaan AI dalam penelitian ini memberikan umpan balik cepat dan membantu peserta didik mengidentifikasi kesalahan, penguatan regulasi diri membutuhkan waktu lebih lama serta pembiasaan strategi refleksi yang sistematis. Namun demikian, keberadaan *flipped classroom* dan AI tetap memberikan kontribusi positif dalam mendorong peserta didik belajar secara lebih mandiri sebelum pembelajaran tatap muka.

Integrasi *flipped classroom* dalam FPjBL juga berperan dalam peningkatan seluruh indikator berpikir kritis. Dengan mempelajari materi dasar melalui modul-el sebelum pembelajaran, peserta didik memiliki kesiapan awal yang lebih baik untuk melakukan diskusi mendalam di kelas. Bishop dan Verleger (2013) menyatakan bahwa *flipped classroom* meningkatkan kualitas interaksi kelas karena waktu tatap muka difokuskan pada aktivitas tingkat tinggi seperti analisis dan pemecahan masalah. Hal ini menjelaskan mengapa peningkatan pada indikator analisis dan eksplanasi cukup signifikan.

Dari sisi media pembelajaran, modul-el memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dibandingkan buku cetak. Buku cetak cenderung bersifat linear dan statis, sedangkan

modul-el memungkinkan navigasi fleksibel, integrasi video, animasi, serta latihan interaktif. Mayer (2009) menjelaskan bahwa pembelajaran multimedia dapat meningkatkan retensi dan transfer pengetahuan. Hal ini relevan pada materi suhu dan kalor yang rentan miskonsepsi (Kapul et al., 2023). Visualisasi interaktif membantu peserta didik memahami perbedaan suhu dan kalor serta mekanisme perpindahan kalor secara lebih konkret.

Secara keseluruhan, peningkatan pada seluruh indikator berpikir kritis menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis FPjBL berbantuan AI tidak hanya meningkatkan aspek kognitif tertentu, tetapi mengembangkan keterampilan berpikir kritis secara komprehensif. Perbedaan signifikan pada posttest dan nilai effect size kategori besar (0,7) memperkuat bahwa intervensi ini efektif secara statistik dan praktis. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi model pembelajaran inovatif dengan teknologi digital adaptif merupakan strategi yang tepat untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran IPA, khususnya pada materi suhu dan kalor yang kompleks dan konseptual.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi AI dalam modul-el IPA bermodel FPjBL efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik pada materi suhu dan kalor. Dari uji *independent sample t test*, tidak terdapat perbedaan kemampuan awal antara kedua kelas (sig. 0,136 > 0,05), namun setelah perlakuan terdapat perbedaan signifikan (sig. 0,031 < 0,05). Pada kelas eksperimen satu terjadi peningkatan signifikan dari rata-rata 47,92 menjadi 64,06 dengan hasil uji *paired sample t test* (sig. 0,000 < 0,05) dengan nilai effect size sebesar 0,7 (kategori besar). Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis FPjBL berbantuan AI tidak hanya efektif secara statistik, tetapi juga memiliki dampak kuat secara praktis dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis, sehingga berpotensi diterapkan pada materi IPA lain yang bersifat konseptual dan abstrak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak sekolah, guru IPA, dan peserta didik kelas VII yang telah mendukung dan berpartisipasi dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing atas arahan dan bimbingan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Bishop, J. L., & Verleger, M. A. (2013). The flipped classroom: A survey of the research. In *Proceedings of the 120th ASEE Annual Conference & Exposition*. Atlanta: ASEE.
- Dewi, N. N. S. K., Arnyana, I. B. P., & Margunayasa, I. G. (2023). Project Based Learning Berbasis STEM: Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 6(1), 135. <https://doi.org/10.23887/jippg.v6i1.59857>
- Facione, P. A. (2011). Critical Thinking: What It Is and Why It Counts. *Insight Assessment*, 1(1), 1–23. <https://courseware.e-education.psu.edu/downloads/geog882/CriticalThinkingWhatitisandwhyitcounts.pdf>
- Girsang, B., Ayu, E., Sinaga, L., Gaylussac Tamba, P., Sihombing, I., & Siahaan, F. B. (2022). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Dengan Model Program For International Student Assesment(PISA) Konten Quantitiy Pada Materi Himpunan di Kelas VII SMP HKBP Sidorame Medan. *SEPREN: Journal of Mathematics Education and Applied*, 3(2), 173. <https://doi.org/10.36655/sepren.v3i2>
- Kamaruddin, I., Endang Sri Darmawati, L., & Selvi Handayani, E. (2022). Pengaruh Project Based Learning (PjBL) dengan Strategi Flipped Classroom terhadap Pemahaman dan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Agama Sosiasl Dan Budaya*, 5(3), 273. <https://doi.org/10.31538/almada.v5i3.2562>
- Kapul, M., Lantik, V., & Astiti, K. A. (2023). Analisis Miskonsepsi Siwa dan Alternatif Remediasinya pada Konsep Suhu dan Kalor. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran IPA Indonesia*, 13(1), 17–22. <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JPPII/article/download/56275/25904/168856>
- Khasanah, I. N., Rejeki, S., Muhammadiyah Surakarta, U., Yani, J. A., & Tengah, J. (2024). Efektivitas Pembelajaran Project-Based Learning Berbasis STEAM terhadap Kemampuan Berpikir Kritis pada Siswa SMP. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 8(3), 2226. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v8i3.3538>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). UK: Cambridge University Press.
- Montessori, V. E., Murwaningsih, T., & Susilowati, T. (2023). Implementasi Keterampilan Abad 21 (6c) dalam Pembelajaran Daring Pada Mata Kuliah Simulasi Bisnis. *JIKAP (Jurnal Informasi Dan Komunikasi Administrasi Perkantoran)*, 7(1), 66.

<https://doi.org/10.20961/jikap.v7i1.61415>

- Nurhaswinda, Zulkifli, A., Gusniati, J., Zulefni, S. M., Afendi, R. A., Wahida, A., & Fitriani, Y. (2025). *Tutorial uji normalitas dan uji homogenitas dengan menggunakan aplikasi SPSS*. 1(2), 55. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2019). *PISA 2018 results (Volume I): What students know and can do*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>
- Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child*. New York: Orion Press.
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223–231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Ratnasari, D., Zabeta, M., & Sholeha, F. Z. (2024). Pemanfaatan artificial intelligence dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 18(1), 12–21. <https://journal.arimsi.or.id/index.php/Algoritma/article/view/355>
- Rezki, A. A. R., & Ramdani, A. (2024). Pengembangan E-Modul IPA Berbasis Model PjBL dengan Pendekatan STEAM Untuk meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis, Berpikir Kreatif, dan Pemahaman Konsep Siswa SMP. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(3), 2620. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i3.2978>
- Shafiyah, N., & Sabtiawan, W. B. (2024). Analisis hasil PISA 2018 terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik Indonesia. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 12(1), 78–87. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/pensa>
- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. California: Autodesk Foundation.
- Umayrah, S., et al. (2023). Interpretasi effect size dalam penelitian eksperimen pendidikan. *Jurnal Evaluasi dan Penelitian Pendidikan*, 7(1), 34–42. <https://journal.unj.ac.id/unj/index.php/jrpmj/article/view/34185>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Zahara, A. (2024). Analisis paired sample t test dalam penelitian pendidikan. *Jurnal Metodologi Penelitian*, 5(2), 89–97. <https://journal.unj.ac.id/unj/index.php/jrpmj/article/view/34185>
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2