

Pengaruh Problem-Based Learning terhadap Keterampilan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Materi Ekosistem Sekolah Menengah Atas

Yos Rizal Fernandes Siahaan^{1✉}, Martina Asiati Napitupulu², Juliana Simarmata³

(1) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Indonesia

(2) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Indonesia

(3) Sekolah Menengah Aatas Negeri 12 Medan, Indonesia

✉ Corresponding author

[yosfernandessiahaan@gmail.com]

Abstrak

Pendidikan abad ke-21 menuntut pembelajaran berpusat pada siswa untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh model Problem-Based Learning (PBL) pada materi ekosistem terhadap keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar siswa kelas X SMA Negeri 12 Medan. Penelitian menggunakan desain quasi-experimental dengan Pretest-Posttest Non-Equivalent Control Group Design. Sampel dipilih secara purposive sampling sebanyak dua kelas, masing-masing 35 siswa. Kelas eksperimen menerapkan PBL, sedangkan kelas kontrol menggunakan Direct Instruction. Data dikumpulkan melalui tes esai Higher Order Thinking Skills (HOTS) dan observasi LKPD. Analisis menggunakan Mann-Whitney U Test dan Wilcoxon Signed Rank Test. Hasil menunjukkan peningkatan rata-rata kelas eksperimen dari 27,7 menjadi 84,6, sedangkan kontrol dari 31,2 menjadi 73,3, dengan nilai Asymp. Sig. < 0,001. PBL berpengaruh signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar siswa.

Kata Kunci: *Problem-Based Learning, Ekosistem, Berpikir Kritis, Hasil Belajar.*

Abstract

Twenty-first-century education requires student-centered learning to improve critical thinking skills and learning outcomes. This study aimed to analyze the effect of the Problem-Based Learning (PBL) model on ecosystem topics on the critical thinking skills and learning outcomes of tenth-grade students at SMA Negeri 12 Medan. The study employed a quasi-experimental design using a Pretest-Posttest Non-Equivalent Control Group Design. The sample was selected through purposive sampling and consisted of two classes, each comprising 35 students. The experimental class implemented PBL, while the control class used Direct Instruction. Data were collected through Higher Order Thinking Skills (HOTS) essay tests and student worksheet (LKPD) observations. Data were analyzed using the Mann-Whitney U Test and Wilcoxon Signed Rank Test. The results showed an increase in the experimental class mean score from 27.7 to 84.6, while the control class increased from 31.2 to 73.3, with an Asymp. Sig. value of < 0.001. Thus, PBL significantly affects students' critical thinking skills and learning outcomes.

Keyword: *Problem-Based Learning, Ecosystem, Critical Thinking, Learning Outcomes.*

Article info

Submitted: Juni 03, 2026; Accepted: September 6 2026; Published: September 6, 2026

PENDAHULUAN

Keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa saat ini konsisten berada pada peringkat bawah secara internasional dengan standar PISA (*Program for International Student Assessment*). Kondisi empiris ini menjadi isyarat diperlukan adanya transformasi dalam proses belajar mengajar secara

nasional dengan menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam membangun pengetahuannya sendiri. Tuntutan metodologis tersebut menjadi sangat penting dalam pendidikan sains, khususnya mata pelajaran Biologi, seperti materi ekosistem yang mempelajari hubungan kompleks dan dinamis dalam alam. Siswa memerlukan kemampuan analisis mendalam hingga pemecahan masalah secara sistemik, bukan hanya menghafal konsep. Hanya saja bukti lapangan menyebutkan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa Kelas X masih tergolong rendah, yang ditandai dengan kepasifan siswa dalam proses pembelajaran, tidak mampu memberikan penjelasan tentang suatu konsep secara mandiri, hingga rendahnya keberanian untuk berargumentasi.

Tren riset baru-baru ini, dalam rentang 2020-2025, telah jelas mengonfirmasi intervensi PBL memiliki efektivitas untuk mendongkrak keterampilan berpikir kritis dengan basis masalah otentik (Dekker, 2020; Salanum, 2023). Riset oleh Putri et al. (2020) misalnya memberikan pernyataan bahwa PBL dapat menjadi stimulus penalaran logis siswa mengenai isu-isu lingkungan makro, sementara Awaluddin (2025) serta Sembiring et al. (2025) telah sukses menjadikan masalah lingkungan lokal untuk menjembatani pemahaman teoritis siswa. Meski demikian, mayoritas riset PBL dengan materi Ekosistem masih menggunakan masalah bersifat umum atau isu-isu global yang tetap abstrak (Suciwati et al., 2021) menyebabkan kurangnya sentuhan kontekstual dan realistik ekologis yang dekat dengan siswa. Selain masalah global, hasil dari intervensi PBL seringkali berfokus pada hasil belajar kognitif umum (Mahrunnisya, 2023) tanpa adanya pemetaan secara spesifik antara PBL dengan indikator berpikir kritis yang lengkap. Gap literatur ini menjadi alasan mengapa implementasi PBL kerap kali tidak kontekstual pada tingkatan lokal.

Untuk mengatasi celah literatur tersebut, penelitian ini memberikan tawaran kebaruan (*novelty*) dengan menerapkan PBL yang berintegrasi secara spesifik pada masalah sosio-saintifik lokal di kawasan Sumatera Utara sebagai stimulus utama. Fenomena seperti invasi ikan *Red Devil*, polusi dari Keramba Jaring Apung (KJA), hingga sedimentasi akibat deforestasi di sekitaran Danau Toba menjadi pilihan dengan signifikansi teoritis yang kuat dalam mengaktifkan indikator berpikir kritis yang spesifik (Hutajulu & Harahap, 2023; IPB University, 2024). Dengan adanya dilema ekologis yang nyata, siswa dituntut untuk melakukan interpretasi data lingkungan, analisis kausalitas runtuhnya rantai makanan, memberikan evaluasi terhadap regulasi, hingga merumuskan inferensi solusi. Berdasarkan urgensi tersebut, Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif pengaruh model PBL berbasis isu lokal Danau Toba terhadap capaian empat aspek berpikir kritis (interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi) sekaligus hasil belajar kognitif siswa kelas X SMA Negeri 12 Medan. Dengan membumikan masalah ekologis terdekat, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah riil berupa cetak biru (*blueprint*) inovasi kurikulum berbasis *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) yang kontekstual bagi pendidik di daerah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen semu (*quasi-experimental design*) dengan model *Pretest-Posttest Non-Equivalent Control Group Design*. Struktur desain ini diwujudkan melalui pelibatan dua kelompok non-random yang diukur sebelum dan sesudah intervensi, dengan pola formal sebagai berikut:

Tabel 1. Desain penelitian

Kelas	<i>Pre-test</i>	<i>Treatment</i>	<i>Post-test</i>
Eksperimen	O ₁	X	O ₂
Kontrol	O ₃	-	O ₄

Keterangan: O₁ dan O₃ skor *pretest*, O₂ dan O₄ mewakili skor *posttest*, sedangkan X melambangkan intervensi model *Problem-Based Learning* (PBL). Populasi penelitian mencakup seluruh siswa kelas X SMA Negeri 12 Medan semester genap tahun ajaran 2025/2026. Penentuan sampel dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling* untuk memilih dua kelas yang setara dalam hal jumlah siswa (masing-masing 35 siswa), kurikulum, guru pengampu, dan kemampuan kognitif awal berdasarkan rekomendasi guru biologi setempat. Guna mengimplementasikan variabel perlakuan (X)

pada desain tersebut, kelas Eksperimen diajarkan menggunakan model PBL yang terstruktur ke dalam 5 fase sintaks utama, meliputi: (1) orientasi siswa pada masalah, (2) mengorganisasikan siswa, (3) membimbing penyelidikan, (4) mengembangkan dan menyajikan hasil karya, serta (5) menganalisis dan mengevaluasi pemecahan masalah (Syamsudin, 2020). Sebaliknya, kelompok pembanding atau kelas Kontrol diajarkan tanpa perlakuan model khusus (-), melainkan menggunakan model konvensional (*Direct Instruction*) melalui metode ceramah, mencatat, dan penugasan teks linier.

Data penalaran siswa dalam kedua kelompok tersebut dijamin menggunakan instrumen pengumpulan data yang terstandar. Instrumen utama terdiri atas tes tertulis berbentuk soal esai HOTS sebanyak 10 butir, serta lembar observasi penilaian produk Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai instrumen pendukung (*scaffolding*) (Widodo et al., 2023). Keterampilan berpikir kritis yang diukur melalui esai ini mengacu pada klasifikasi Facione, yang memetakan kemampuan interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi (Asmawati et al., 2020). Untuk menjamin reproduktibilitas dan kelayakan ilmiah, instrumen tes telah melalui uji validasi isi (*content validity*) melalui penilaian ahli (*expert judgment*) oleh dosen ahli materi biologi. Hasil validasi menyatakan bahwa seluruh butir soal esai HOTS memenuhi relevansi konseptual dan kesesuaian indikator, sehingga dinyatakan layak digunakan untuk pengumpulan data. Selanjutnya, uji coba instrumen pada kelompok non-sampel menghasilkan koefisien reliabilitas Alpha Cronbach sebesar 0,937, sehingga instrumen dinyatakan andal (*reliable*) untuk digunakan dalam pengumpulan data *pretest* (O_1 , O_3) dan *posttest* (O_2 , O_4).

Setelah seluruh data *pretest* dan *posttest* dari kedua kelas terkumpul melalui prosedur tes tersebut, tahap berikutnya adalah melakukan pengolahan data kuantitatif. Pengolahan awal dilakukan melalui konversi skor mentah menjadi persentase dengan skala lima kategori penilaian. Sebelum melakukan uji hipotesis komparatif, analisis prasyarat statistik wajib dilakukan terlebih dahulu, meliputi uji normalitas Shapiro-Wilk (karena jumlah sampel < 50 siswa per kelas) dan uji homogenitas varians menggunakan *Levene's Test* berbantuan program SPSS versi 23.0. Karena hasil pengujian prasyarat menunjukkan sebaran data *posttest* tidak berdistribusi normal akibat adanya polarisasi kecepatan adaptasi kognitif siswa di lapangan, maka analisis data untuk pengujian hipotesis dialihkan menggunakan statistik nonparametrik. Pengujian komparasi peningkatan performa antar-kelompok dan intra-kelompok dianalisis secara presisi menggunakan *Wilcoxon Signed Rank Test* dan *Mann-Whitney U-Test* pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ (Salsabilla et al., 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis deskriptif data *pretest* menunjukkan bahwa kemampuan awal siswa pada kedua kelas tergolong homogen dan berada dalam kategori "Tidak Kritis", dengan nilai rata-rata kelas eksperimen sebesar 27,7 dan kelas kontrol sebesar 31,2. Setelah pelaksanaan intervensi pembelajaran, diperoleh lonjakan nilai rata-rata *posttest* yang signifikan pada kedua kelas, namun dengan capaian performa yang kontras. Kelas eksperimen yang mendapatkan perlakuan model PBL meraih nilai rata-rata *posttest* sebesar 84,6 (kategori "Sangat Kritis"), sedangkan kelas kontrol yang menggunakan model *Direct Instruction* hanya memperoleh nilai rata-rata sebesar 73,3 (kategori "Kritis").

Tabel 2. Hasil Capaian Keterampilan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Siswa

Kelas	Rata-rata Pretest	Kategori	Rata-rata Posttest	Kategori
Eksperimen	27,7	Tidak Kritis	84,6	Sangat Kritis
Kontrol	31,2	Tidak Kritis	73,3	Kritis

Uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) *pretest* kelas eksperimen (.020), *posttest* kelas eksperimen (<.001), dan *posttest* kelas kontrol (.001) memiliki nilai $p < 0,05$, yang berarti data tidak berdistribusi normal, kecuali pada *pretest* kelas kontrol (Sig. 0,064). Sementara itu, uji homogenitas *Levene's Test* menghasilkan nilai Sig. sebesar 0,281 untuk data *pretest* dan 0,167 untuk data *posttest* ($p > 0,05$), mengonfirmasi bahwa varians data antar kelompok bersifat homogen.

Berdasarkan uji non-parametrik *Wilcoxon Signed Rank Test* untuk mengukur perbedaan nilai *pretest* dan *posttest* pada kelas eksperimen, didapatkan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar $<0,001$ ($p<0,05$). Seluruh siswa kelas eksperimen (35 responden) menempati *Positive Ranks*, membuktikan bahwa 100% siswa mengalami peningkatan kapasitas berpikir kritis secara nyata. Bukti empiris ini diperkuat oleh hasil uji *Mann-Whitney U-Test* pada data *posttest* antar-kelompok yang menghasilkan nilai $p<0,001$, menegaskan bahwa keunggulan kelas eksperimen atas kelas kontrol secara statistik bersifat signifikan dan bukan akibat faktor kebetulan (Manuaba et al., 2022; Loyens et al., 2023; Yu & Zin, 2023).

Selanjutnya, pengujian detail menggunakan uji *Wilcoxon* pada masing-masing indikator berpikir kritis Facione menyajikan nilai signifikansi $p<0,001$ yang merata untuk seluruh aspek, dengan dinamika capaian skor otentik berbasis observasi LKPD sebagai berikut:

Tabel 3. Rata-rata Skor Capaian Tiap Indikator Berpikir Kritis Kelas Eksperimen

Interpretasi	Analisis	Evaluasi	Inferensi	Kriteria
3,14	3,03	2,80	3,03	Kritis

Analisis Capaian Indikator Berpikir Kritis

Indikator **interpretasi** menempati capaian tertinggi (3,14). Keberhasilan ini didorong oleh efektivitas Fase 1 (Orientasi Masalah) yang menyajikan kasus invasi ikan *Red Devil* secara kontekstual, sehingga merangsang ketertarikan situasional siswa untuk melakukan dekodifikasi makna data secara akurat (Pauzi & Windiaryani, 2021). Pola ini membuktikan bahwa stimulus berupa problem riil lokal bertindak sebagai jangkar kognitif (*cognitive anchor*) yang mempermudah siswa mengidentifikasi masalah utama dan menghubungkannya dengan konsep biologi yang relevan (Lubis et al., 2024; Suciati et al., 2021).

Keberhasilan pemahaman awal pada aspek interpretasi ini kemudian secara logis mempermudah siswa melangkah ke tahap penalaran berikutnya. Melalui alur berpikir yang runtut tersebut, indikator analisis dan inferensi berhasil memperoleh skor seimbang yang tinggi (3,03). Capaian seimbang ini dipicu oleh aktivitas penyelidikan terbimbing kelompok dalam mengurai kausalitas dampak Keramba Jaring Apung (KJA) terhadap sisa pakan, ledakan alga, dan hipoksia air. Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa investigasi kelompok dalam pembelajaran berbasis masalah mendorong siswa menghubungkan berbagai variabel secara logis sehingga mampu menghasilkan kesimpulan yang valid (Rahmawati & Airlanda, 2023; Suwono et al., 2021). Lebih jauh lagi, proses kolaboratif dalam PBL menuntut siswa membangun hipotesis berbasis bukti (*evidence-based hypotheses*), sehingga membantu memperbaiki pemahaman konseptual dan mengurangi terjadinya miskonsepsi pada materi biologi dan ekologi.

Sebaliknya, indikator evaluasi mencatat skor terendah (2,80) di antara seluruh aspek yang diukur. Pola fluktuasi penurunan ini mengindikasikan adanya tantangan kognitif (*cognitive barrier*) dan beban metakognisi yang berat bagi siswa usia remaja dalam menimbang klaim dilematis antara aspek ekonomi pembalakan hutan dengan kelestarian ekologis Danau Toba saat sesi presentasi dan adu argumen. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa proses argumentasi pada isu sosio-saintifik menuntut siswa untuk mempertimbangkan berbagai perspektif, mengevaluasi kualitas bukti, serta menyeimbangkan pertimbangan ilmiah dan sosial secara simultan sehingga menjadi salah satu aspek berpikir kritis yang paling kompleks (Sparks et al., 2022; Bächtold et al., 2023). Rendahnya kemampuan evaluasi ini menunjukkan bahwa menguji kredibilitas argumen dan menilai validitas bukti ilmiah memerlukan struktur epistemik dan pengetahuan awal yang lebih matang (Baytelman et al., 2020). Kondisi tersebut semakin diperumit oleh fakta bahwa siswa sekolah menengah sering mengalami kesulitan membedakan antara opini personal dan bukti ilmiah ketika menghadapi konflik sosio-saintifik yang kontroversial (Dawson & Venville, 2020; Cian, 2020).

Fenomena ketidaknormalan data *posttest* pada aspek kognitif berakar dari kesenjangan akselerasi adaptasi siswa terhadap tuntutan berpikir tingkat tinggi (*Higher Order Thinking Skills/HOTS*) dari pola pembelajaran konvensional yang cenderung berorientasi pada LOTS. Siswa menunjukkan

kecepatan adaptasi yang bervariasi; sebagian siswa dengan cepat memanfaatkan kebebasan belajar dalam model PBL, sementara sebagian lainnya memerlukan waktu penyesuaian yang lebih lama terhadap perubahan peran guru dari sumber informasi utama menjadi fasilitator pembelajaran (*facilitator of learning*) (Yu & Zin, 2023). Variasi adaptasi tersebut merupakan karakteristik umum dalam lingkungan belajar yang berpusat pada siswa karena PBL menuntut kemampuan belajar mandiri, regulasi diri, dan tanggung jawab yang lebih besar terhadap proses belajar (Loyens et al., 2008). Meskipun terjadi polarisasi kecepatan adaptasi, berbagai penelitian menunjukkan bahwa intervensi PBL tetap efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa secara kolektif (Loyens et al., 2023).

Implikasi Teoritis Dan Praktis

Secara teoretis, temuan penelitian ini memberikan konfirmasi empiris yang memperkuat teori belajar konstruktivisme sosial Vygotsky, khususnya konsep Zone of Proximal Development (ZPD). Isu lokal Danau Toba bertindak sebagai konfrontasi kognitif otentik (*authentic cognitive confrontation*), sementara kerja kelompok yang berpusat pada siswa dan penggunaan LKPD berfungsi sebagai *social scaffolding* yang memfasilitasi internalisasi konsep ekosistem secara bermakna. Berbagai kajian menunjukkan bahwa lingkungan pembelajaran berbasis masalah yang kolaboratif selaras dengan perspektif konstruktivisme sosial karena memungkinkan siswa membangun pengetahuan melalui interaksi sosial, diskusi, dan bantuan teman sebaya maupun guru. Selain itu, penggunaan masalah autentik terbukti mendorong berkembangnya kemampuan berpikir tingkat tinggi dan penalaran abstrak siswa (Yu & Zin, 2023; Loyens et al., 2023). Temuan ini juga mendukung Cognitive Load Theory, di mana pengemasan masalah lokal yang dekat dengan pengalaman siswa berpotensi menurunkan *extraneous cognitive load* karena konteks pembelajaran telah familiar di memori jangka panjang siswa, sehingga kapasitas memori kerja dapat lebih difokuskan untuk pemrosesan informasi HOTS secara optimal (Sweller, 2021).

Secara praktis, penelitian ini memberikan implikasi nyata bagi inovasi pedagogis guru Biologi. Pembelajaran sains tidak boleh lagi terjebak pada hafalan teks linier atau sekadar transfer pengetahuan pasif (*passive direct transmission*). Guru dapat memanfaatkan krisis ekologis lokal di sekitarnya—seperti invasi spesies, pencemaran air, maupun perubahan kualitas lingkungan—sebagai laboratorium hidup (*living laboratory*) di dalam kelas. Pendekatan berbasis masalah kontekstual semacam ini terbukti mampu meningkatkan literasi lingkungan dan kebermaknaan pembelajaran karena siswa berinteraksi langsung dengan fenomena nyata yang mereka jumpai dalam kehidupan sehari-hari (Lubis et al., 2024; Koyama & Watanabe, 2023). Selain itu, integrasi isu lingkungan autentik dalam pembelajaran Biologi juga efektif dalam melatih keterampilan pemecahan masalah, berpikir kritis, dan kompetensi abad ke-21 yang diperlukan untuk menghadapi tantangan keberlanjutan di masa depan (Khairrunisa et al., 2025; Loyens et al., 2023).

Limitasi Penelitian Dan Rekomendasi

Penelitian ini memiliki limitasi pada desain *quasi-experiment* yang digunakan, di mana kontrol penuh terhadap variabel luar, seperti interaksi siswa antar kelas di luar sekolah, akses terhadap bimbingan belajar, dan motivasi intrinsik individu, tidak dapat dilakukan secara mutlak akibat tidak diterapkannya proses randomisasi subjek penelitian. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan ancaman terhadap validitas internal penelitian karena karakteristik awal peserta didik mungkin tidak sepenuhnya homogen (Fraenkel et al., 2019). Selain itu, durasi intervensi yang hanya terbatas pada satu siklus materi juga menjadi tantangan tersendiri bagi siswa untuk menguasai indikator evaluasi yang bersifat kompleks secara instan. Keterampilan evaluatif dalam berpikir kritis memerlukan proses pembiasaan, refleksi, dan pengalaman belajar berulang dalam jangka waktu yang relatif panjang agar dapat berkembang secara optimal (Loyens et al., 2023; Yu & Zin, 2023).

Sebagai rekomendasi untuk mengatasi rendahnya skor evaluasi, penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan model Problem-Based Learning (PBL) dengan strategi debat isu sosio-saintifik (Socio-Scientific Issues/SSI) atau metode Argument-Driven Inquiry (ADI). Pendekatan tersebut dinilai efektif untuk melatih ketajaman argumentasi, mengevaluasi klaim dan klaim tandingan (*counter-arguments*), serta meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa melalui proses justifikasi berbasis bukti ilmiah. Pembelajaran berbasis isu sosio-saintifik terbukti mendorong siswa untuk

mempertimbangkan berbagai perspektif dan melakukan penalaran kritis dalam menghadapi permasalahan kompleks, sedangkan ADI memberikan ruang yang lebih sistematis bagi siswa untuk membangun, mempertahankan, dan merevisi argumen berdasarkan bukti empiris (Suwono et al., 2021; Anazifa et al., 2024; Fasira et al., 2024). Penelitian lanjutan juga perlu memperluas implementasi model ini pada materi biologi yang lebih abstrak, seperti genetika dan evolusi, maupun pada jenjang pendidikan yang berbeda untuk menguji konsistensi efektivitas model dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

SIMPULAN

Penerapan model *Problem-Based Learning* (PBL) berbasis krisis ekosistem lokal berpengaruh signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar siswa Kelas X SMA Negeri 12 Medan. Pembiasaan sintaks PBL yang terstruktur berhasil melejitkan kapasitas berpikir kritis siswa secara dramatis dari kategori "Tidak Kritis" menjadi "Sangat Kritis", dengan capaian performa kelompok eksperimen yang mengungguli kelompok kontrol secara nyata. Secara teoretis, model ini membuktikan bahwa pengkondisian masalah otentik efektif mengaktivasi rekonstruksi pengetahuan siswa sesuai prinsip konstruktivisme.

Secara praktis, implementasi ini memberikan kontribusi nyata bagi guru Biologi dalam membumikan materi ekosistem melalui pemanfaatan isu lingkungan terdekat seperti fenomena di Danau Toba. Bagi penelitian lanjutan, disarankan untuk mengombinasikan PBL dengan metode debat ilmiah guna menyiasati tantangan rendahnya kemampuan evaluasi kritis siswa, serta memperluas uji model pada topik biologi lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak Universitas Negeri Medan, kepala sekolah dan guru mata pelajaran Biologi SMA Negeri 12 Medan yang telah memberikan izin serta pendampingan administratif dan teknis selama pelaksanaan penelitian, serta seluruh siswa kelas X tahun ajaran 2025/2026 yang telah berpartisipasi aktif dalam riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anazifa, R. D., Paidi, Pratama, A. T., & Kurniawati, A. (2024). The effect of argument-driven inquiry to pre-service biology teachers' argumentation skills and metacognitive awareness in Mendelian genetics. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 10(3). <https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i3.36218>
- Asmawati, E., Suparman, S., & Purwanti, M. (2020). Analisis kemampuan berpikir kritis siswa dalam menyelesaikan soal esai materi statistika berdasarkan indikator Facione. *Jurnal Edukasi dan Sains Matematika*, 6(2), 93–102. <https://doi.org/10.25134/jes-mat.v6i2.3324>
- Awaluddin, R. (2025). Penerapan model *problem based learning* (PBL) berbasis kearifan lokal pada materi pencemaran lingkungan untuk meningkatkan pemahaman siswa kelas X di SMAN 2 Bolo. *Jurnal Jendela Pendidikan*, 5(02), 312–321. <https://doi.org/10.57008/jjp.v5i02.1340>
- Bächtold, M., Pallarès, G., De Checchi, K., & Munier, V. (2023). Combining debates and reflective activities to develop students' argumentation on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(4), 761–806. <https://doi.org/10.1002/tea.21816>
- Baytelman, A., Iordanou, K., & Constantinou, C. P. (2020). Epistemic beliefs and prior knowledge as predictors of the construction of different types of arguments on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(8), 1199–1227. <https://doi.org/10.1002/tea.21627>
- Cian, H. (2020). The influence of context: Comparing high school students' socioscientific reasoning by socioscientific topic. *International Journal of Science Education*, 42(9), 1503–1521. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1767316>
- Dawson, V., & Venville, G. (2020). Testing a methodology for the development of socioscientific issues to enhance middle school students' argumentation and reasoning. *Research in Science & Technological Education*, 40(4), 499–514. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1830267>
- Dekker, T. (2020). *Teaching critical thinking through engagement with multiplicity*. *Thinking Skills and Creativity*, 37, 100701. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100701>

- Fasira, E., Daud, F., & Azis, A. A. (2024). Perbedaan keterampilan berpikir kritis dan keterampilan argumentasi melalui pembelajaran Argument Driven Inquiry dan Discovery Learning. *Bioscientist*, 12(1). <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v12i1.11227>
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2019). *How to design and evaluate research in education (10th ed.)*. McGraw-Hill Education <https://doi.org/10.1111/jade.12253>
- Hutajulu, C. P., & Harahap, R. H. (2023). Dampak adanya budidaya keramba jaring apung terhadap ekosistem di kawasan Danau Toba. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 2(1), 8–15. <https://doi.org/10.32734/jafs.v2i1.10126>
- IPB University. (2024). Dosen pulang kampung IPB University teliti distribusi populasi ikan invasif Red Devil di Danau Toba (News Release). IPB News.
- Khairrunisa, A. N., Yusup, I. R., & Paujiah, E. (2025). Improving students' scientific literacy through a problem-based learning model integrated with socio-scientific issues on ecosystem learning. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*. <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.55744>
- Koyama, D., & Watanabe, T. (2023). Why a dispositional view of ecological literacy is needed. *Teaching in Higher Education*. <https://doi.org/10.1080/13562517.2023.2198637>
- Loyens, S. M. M., Magda, J., & Rikers, R. M. J. P. (2008). Self-directed learning in problem-based learning and its relationships with self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20, 411–427. <https://doi.org/10.1007/s10648-008-9082-7>
- Loyens, S. M. M., van Meerten, J. E., Schaap, L., & Wijnia, L. (2023). Situating higher-order, critical, and critical-analytic thinking in problem- and project-based learning environments: A systematic review. *Educational Psychology Review*, 35, Article 39. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09757-x>
- Lubis, S. P. W., Suryadarma, I. G. P., Paidi, & Yanto, B. E. (2024). Improving environmental literacy through the development of problem-based learning models that incorporate local wisdom. *World Journal of Environmental Research*, 14(1). <https://doi.org/10.18844/wjer.v14i1.9472>
- Mahrurnisya, D. (2023). Keterampilan pembelajar di abad ke-21. *JUPENJI: Jurnal Pendidikan Jompa Indonesia*, 2(1), 101–109. <https://doi.org/10.57218/jupenji.vol2.iss1.598>
- Manuaba, I. B. A. P., Yi-No, & Wu, C.-C. (2022). The effectiveness of problem-based learning in improving critical thinking, problem-solving and self-directed learning in first-year medical students: A meta-analysis. *PLOS ONE*, 17(11), e0277339. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277339>
- Pauzi, R. Y., & Windiaryani, S. (2021). Critical thinking skills on global warming issue: Effect of the socio-scientific problems approach on problem-solving toward student's. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 14(2), 228–237. <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.19963>
- Putri, C. D., Pursitasari, I. D., & Rubini, B. (2020). Problem based learning terintegrasi STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. *Jurnal IPA dan Pembelajaran IPA*, 4(2), 193–204. <https://doi.org/10.24815/jipi.v4i2.17859>
- Rahmawati, S., & Airlanda, G. S. (2023). Efektivitas model problem based learning dan project based learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal Basicedu*, 7(6), 3450–3456. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v7i6.6332>
- Salanum, W., Widyastuti, A., Syawaluddin, Iwan, R. N. A., Simarmata, J., Simarmata, E. J., Suleman, Y. N., Lotulung, C., & Arief, M. H. (2023). Model-model pembelajaran inovatif. Lampung: Yayasan Kita Menulis <https://doi.org/10.22460/jpmi.v6i3.16190>
- Salsabilla, A., Anggraini, N., & Nazipetc, K. (2025). Pengaruh model pembelajaran PBL berbasis outdoor study pada materi pencemaran lingkungan terhadap keterampilan berpikir kritis dan motivasi belajar di SMA pembina Palembang. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(3), 2360–2371. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i3.11712>
- Sembiring, G. A., Siagian, K. A., Rajagukguk, N. A., Arwita, W., & Nasution, A. (2025). Pengaruh model Problem Based Learning terhadap peningkatan aktivitas dan minat belajar siswa pada materi komponen ekosistem dan interaksinya di kelas X SMA Negeri 7 Medan. *Jurnal Media Akademik*, 3(4), 1–23. <https://doi.org/10.62281/3e9fjb43>
- Sparks, R. A., Jimenez, P. C., Kirby, C. K., & Dauer, J. M. (2022). *Using critical integrative argumentation to assess socioscientific argumentation across decision-making contexts*. *Education Sciences*, 12(10), Article 644. <https://doi.org/10.3390/educsci12100644>

- Suciyati, A., Suryadarma, I. G. P., & Paidi. (2021). Integration of ethnoscience in problem-based learning to improve contextuality and meaning of biology learning. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 14(1). <https://doi.org/10.21009/biosferipb.18424>
- Suwono, H., Rofi'ah, N. L., Saefi, M., & Fachrunnisa, R. (2021). Interactive socio-scientific inquiry for promoting scientific literacy, enhancing biological knowledge, and developing critical thinking. *Journal of Biological Education*, 57(5), 944–959. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.2006270>
- Sweller, J. (2021). The role of evolutionary psychology in our understanding of human cognition: Consequences for cognitive load theory and instructional procedures. *Educational Psychology Review*, 34, 2229–2247. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09647-0>
- Syamsudin, S. (2020). *Problem based learning dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan keterampilan sosial*. ELSE (Elementary School Education Journal): *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Sekolah Dasar*, 4(2). <https://doi.org/10.30651/else.v4i2.4610>
- Widodo, S., Ladyani, F., Asrianto, Rusdi, Khairunisa, Lestari, S. M. P., Devrianya, A., Wijayanti, D. R., Hidayat, A., Dalfian, Nurcahayati, S., Sjahriani, T., Armi, Widya, N., & Rogayah. (2023). Buku ajar metode penelitian. Pangkal Pinang: Science Techno Direct <https://doi.org/10.31219/osf.io/aig64>
- Yu, L., & Zin, Z. M. (2023). The critical thinking-oriented adaptations of problem-based learning models: A systematic review. *Frontiers in Education*, 8, Article 1139987. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1139987>