



Dampak Project-Based Learning terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA: Meta-Analisis dalam Konteks Pembelajaran Biologi di Indonesia

*Harmoko¹, Nur Hayati²

¹Universitas PGRI Silampari, Lubuklinggau, ²Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng, Jombang

E-Mail: putroharmoko@gmail.com¹; nurhay.ht@gmail.com²

Abstract

This study is motivated by the low level of senior high school students' critical thinking skills in Biology learning in Indonesia and the urgent need for instructional innovations that effectively foster higher-order thinking skills. The primary research problem lies in the inconsistency of findings from previous studies regarding the effectiveness of Project-Based Learning, thus necessitating a comprehensive analysis to obtain more robust and integrated conclusions. The study aims to examine the effect of Project-Based Learning on students' critical thinking skills and to identify moderating factors influencing this effect through a meta-analysis of 27 relevant studies. The results indicate that Project-Based Learning has a significant impact, with a cumulative effect size of 0.98, categorized as large and consistent, supported by low heterogeneity ($I^2 = 18.70\%$) and strong resistance to publication bias. The findings further reveal that critical thinking indicators serve as the most dominant moderating factor, while sample size and additional variables do not show significant influence, and the standalone model demonstrates slightly higher effectiveness than combined approaches. The conclusion affirms that Project-Based Learning is effective in enhancing critical thinking skills through contextual, active, and student-centered learning. The novelty of this study lies in the systematic integration of multiple studies through meta-analysis, producing strong empirical evidence, as well as the comprehensive identification of moderating factors that have been rarely explored, thereby contributing both theoretically and practically to evidence-based Biology education development.

Keywords: *Project-Based; Learning; Critical; Thinking.*

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh rendahnya keterampilan berpikir kritis siswa SMA pada pembelajaran Biologi di Indonesia serta kebutuhan akan inovasi pembelajaran yang mampu mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi secara optimal. Permasalahan utama penelitian berfokus pada ketidakkonsistenan hasil studi sebelumnya terkait efektivitas Project-Based Learning, sehingga diperlukan kajian komprehensif untuk memperoleh kesimpulan yang lebih kuat dan terintegrasi. Penelitian bertujuan menganalisis pengaruh Project-Based Learning terhadap keterampilan berpikir kritis siswa serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memoderasi pengaruh tersebut melalui pendekatan meta-analisis terhadap 27 studi yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Project-Based Learning memiliki pengaruh signifikan dengan nilai effect size kumulatif sebesar 0,98 yang termasuk

kategori besar dan konsisten, didukung oleh tingkat heterogenitas rendah ($I^2 = 18,70\%$) serta ketahanan tinggi terhadap bias publikasi. Temuan juga mengungkap bahwa indikator berpikir kritis menjadi faktor moderator paling dominan, sedangkan ukuran sampel dan variabel tambahan tidak berpengaruh signifikan, serta model tanpa kombinasi menunjukkan efektivitas yang sedikit lebih tinggi. Kesimpulan penelitian menegaskan bahwa Project-Based Learning efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis melalui pembelajaran yang kontekstual, aktif, dan berpusat pada siswa. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi sistematis berbagai studi melalui meta-analisis yang menghasilkan bukti empiris kuat, serta pengungkapan faktor moderator secara komprehensif yang belum banyak dikaji sebelumnya, sehingga memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pengembangan pembelajaran Biologi berbasis bukti.

Kata-kata Kunci: Project-Based; Learning; Berpikir; Kritis.

PENDAHULUAN

Pendidikan memiliki peran strategis dalam membentuk kualitas sumber daya manusia yang mampu menghadapi tantangan abad ke-21 yang ditandai oleh perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang pesat. Perubahan paradigma pembelajaran menuntut sistem pendidikan untuk tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi seperti berpikir kritis. Penelitian oleh Salsabilla dan Purnomo menjelaskan bahwa rendahnya capaian kemampuan berpikir kritis siswa Indonesia berdasarkan data internasional mendorong perlunya inovasi pembelajaran yang mampu mengaktifkan siswa secara kognitif, kreatif, dan reflektif melalui pendekatan yang kontekstual dan berbasis masalah nyata.¹ Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran konvensional tidak lagi memadai untuk menjawab kebutuhan pendidikan modern. Keterampilan berpikir kritis menjadi indikator penting dalam menentukan kualitas hasil belajar siswa. Oleh karena itu, diperlukan model pembelajaran yang mampu mengembangkan kemampuan tersebut secara optimal.

Salah satu pendekatan pembelajaran yang berkembang pesat dan dinilai efektif adalah Project-Based Learning. Model ini menekankan keterlibatan aktif siswa melalui penyelesaian proyek yang berkaitan dengan permasalahan nyata. Penelitian oleh Safarni et al. menjelaskan secara rinci bahwa penerapan Project-Based Learning mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui proses pembelajaran yang sistematis, kolaboratif, serta berorientasi pada pemecahan masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari.²

¹ Ardita Sukma Salsabilla dan Tarzan Purnomo, "Pengembangan E-LKPD Berbasis Project Based Learning Materi Bioteknologi untuk Melatih Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik Kelas XII," *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi* 15, no. 1 (2026): 249–256, <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu/article/view/72463>.

² Safarni et al., "Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning (PjBL) dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Kelas X MIA 1 SMA Negeri 2 Sirenja pada Pelajaran Biologi,"

Model ini memberikan kesempatan kepada siswa untuk belajar secara mandiri dan aktif. Pembelajaran menjadi lebih bermakna karena siswa terlibat langsung dalam proses konstruksi pengetahuan. Hal ini menjadikan Project-Based Learning sebagai alternatif penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran.

Pembelajaran Biologi di tingkat SMA memiliki karakteristik yang kompleks karena mengkaji fenomena kehidupan yang dinamis, saling berinteraksi, dan terus berkembang. Pemahaman konsep Biologi tidak dapat dicapai hanya melalui hafalan, tetapi menuntut kemampuan analisis, sintesis, dan evaluasi yang mendalam. Penelitian Ramadani dan Ubaidillah menunjukkan bahwa pendekatan Project-Based Learning berbasis metakognitif efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui aktivitas reflektif serta pemecahan masalah yang terstruktur dan kontekstual.³ Temuan tersebut menegaskan bahwa pembelajaran Biologi memerlukan strategi yang tepat, sistematis, dan berorientasi pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Siswa perlu dilatih untuk menghubungkan konsep teoretis dengan realitas kehidupan sehari-hari agar pembelajaran menjadi lebih bermakna. Oleh karena itu, penerapan pendekatan pembelajaran inovatif menjadi kebutuhan mendesak guna meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar Biologi secara optimal.

Keterampilan berpikir kritis merupakan kemampuan esensial yang harus dimiliki siswa untuk menghadapi berbagai tantangan global yang semakin kompleks dan dinamis. Kemampuan ini mencakup proses analisis, evaluasi, interpretasi, serta pengambilan keputusan secara rasional, logis, dan berbasis bukti yang valid. Penelitian Prandifa et al. menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis dapat ditingkatkan melalui pembelajaran berbasis masalah yang mendorong siswa untuk berpikir secara mendalam, sistematis, dan reflektif dalam menyelesaikan persoalan Biologi yang kontekstual.⁴ Temuan tersebut menegaskan bahwa keterampilan berpikir kritis memiliki peran penting tidak hanya dalam konteks akademik, tetapi juga dalam kehidupan sehari-hari yang menuntut kemampuan adaptasi dan pemecahan masalah. Siswa yang memiliki kemampuan berpikir kritis

Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi 13, no. 2 (2025): 1216–1228, <https://e-journal.undikma.ac.id/index.php/bioscientist/article/view/16503>.

³ Shefa Dwijayanti Ramadani dan Ubaidillah, “Reflective Metacognitive Project Based Learning (RM-PjBL) untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis pada Pembelajaran Biologi,” *Simbiosis* 12, no. 1 (2023): 56–65, https://www.researchgate.net/publication/375440479_Reflective_Metacognitive_Project_Based_Learning_RM-PjBL_untuk_Meningkatkan_Keterampilan_Berpikir_Kritis_pada_Pembelajaran_Biologi.

⁴ Riandho Prandifa, Fitri Arsih, dan Heffi Alberida, “Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Pelajaran Biologi SMA,” *Jurnal Pendidikan Tambusai* 7, no. 1 (2023): 407–417, <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/5311>.

cenderung lebih responsif, adaptif, dan mampu menghadapi perubahan secara efektif. Oleh karena itu, pengembangan keterampilan ini perlu menjadi prioritas utama dalam proses pendidikan.

Berbagai penelitian telah mengkaji pengaruh Project-Based Learning terhadap keterampilan berpikir kritis siswa pada berbagai jenjang pendidikan dan konteks pembelajaran. Namun, temuan yang dihasilkan masih menunjukkan variasi yang cukup signifikan, baik dari segi peningkatan maupun konsistensi hasil. Penelitian Nurhayati et al. menjelaskan bahwa efektivitas Project-Based Learning dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dipengaruhi oleh integrasi pendekatan lain, seperti STEAM, serta kondisi implementasi pembelajaran yang berbeda di setiap kelas.⁵ Sejumlah penelitian melaporkan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan, terutama ketika pembelajaran dirancang secara kontekstual dan kolaboratif. Sebaliknya, beberapa studi lain menunjukkan hasil yang kurang konsisten akibat perbedaan desain, instrumen, dan karakteristik siswa. Variasi temuan ini mengindikasikan adanya kesenjangan penelitian yang perlu dikaji lebih mendalam dan sistematis.

Selain itu, rendahnya keterampilan berpikir kritis siswa turut dipengaruhi oleh minimnya penggunaan media pembelajaran yang inovatif dan variatif. Proses pembelajaran yang masih berpusat pada guru menyebabkan siswa kurang terlibat secara aktif, sehingga kesempatan untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis menjadi terbatas. Penelitian Alif dan Raharjo menunjukkan bahwa penggunaan bahan ajar berbasis Project-Based Learning efektif dalam melatih keterampilan berpikir kritis siswa, karena mendorong keterlibatan aktif, eksplorasi mandiri, serta pemahaman konsep yang kompleks dan kontekstual.⁶ Temuan tersebut menegaskan bahwa media pembelajaran memiliki peran strategis dalam meningkatkan kualitas proses belajar mengajar. Penggunaan media yang tepat tidak hanya membantu penyampaian materi, tetapi juga memfasilitasi interaksi dan pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Oleh karena itu, inovasi dalam pengembangan dan pemanfaatan media pembelajaran menjadi sangat diperlukan.

Permasalahan lain yang muncul adalah rendahnya keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran yang berdampak langsung pada kemampuan berpikir kritis. Pembelajaran

⁵ Nurhayati et al., "Efektivitas Penerapan Model PjBL Terintegrasi STEAM terhadap Keterampilan Proses Sains, Berpikir kreatif, dan Berpikir kritis pada Bidang Studi Biologi Siswa SMA," *Jurnal Biotek* 13, no. 2 (2025): 141–153, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/biotek/article/view/61447>.

⁶ Rika Nur Alif dan Raharjo, "Pengembangan E-Book Berbasis Project Based Learning Materi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan untuk Melatih Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA," *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi* 14, no. 2 (2025): 492–501, <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu/article/view/67546>.

yang kurang kontekstual menyebabkan siswa mengalami kesulitan dalam memahami materi secara mendalam dan mengaitkannya dengan kehidupan nyata. Jannah et al. dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penerapan Project-Based Learning dengan pendekatan yang relevan dengan konteks siswa mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis serta hasil belajar secara signifikan.⁷ Temuan tersebut menegaskan pentingnya desain pembelajaran yang kontekstual, partisipatif, dan berpusat pada siswa. Keterlibatan aktif siswa dalam setiap tahapan pembelajaran memungkinkan terjadinya proses eksplorasi, refleksi, dan pemecahan masalah secara lebih optimal. Hal ini menjadikan pembelajaran tidak hanya berorientasi pada hasil, tetapi juga pada proses. Dengan demikian, pembelajaran yang kontekstual dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan berkelanjutan.

Kajian lain menunjukkan bahwa Project-Based Learning memiliki potensi besar dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada berbagai konteks pembelajaran. Model ini memungkinkan siswa belajar melalui pengalaman langsung, keterlibatan aktif, serta proses eksplorasi yang mendalam dan bermakna. Penelitian Ningsih et al. menjelaskan bahwa penerapan Project-Based Learning memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan berpikir kritis siswa, terutama pada materi Biologi yang bersifat aplikatif dan kontekstual.⁸ Temuan tersebut menunjukkan bahwa model ini efektif digunakan untuk mendorong siswa memahami konsep secara lebih komprehensif dan mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Namun demikian, hasil penelitian yang ada masih menunjukkan variasi yang cukup beragam, baik dari segi tingkat efektivitas maupun implementasinya di kelas. Variasi ini menandakan perlunya kajian yang lebih mendalam, sistematis, dan komprehensif untuk memperoleh pemahaman yang lebih utuh mengenai efektivitas Project-Based Learning.

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa Project-Based Learning berpengaruh terhadap peningkatan hasil belajar dan keterampilan berpikir kritis siswa pada berbagai mata pelajaran. Model ini mampu mengintegrasikan aspek kognitif dengan keterampilan proses sains secara seimbang melalui aktivitas yang menuntut keterlibatan aktif siswa. Penelitian Olevia, Irwandi, dan Cahaya menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara siswa yang

⁷ Saltsa Ridlotul Jannah et al., "Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Biologi dengan Model PjBL dan Pendekatan CRT," *Jurnal Biologi* 1, no. 4 (2024): 1–11, <https://journal.pubmedia.id/index.php/biology/article/view/1994>.

⁸ Anggun Febriani Wahyu Ningsih et al., "Pengaruh Penerapan Project Based Learning (PjBL) terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA pada Materi Bioteknologi," *Prosiding Seminar Nasional Biologi* 3, no. 2 (2023): 1392–1403, <https://semnas.biologi.fmipa.unp.ac.id/index.php/prosiding/article/view/880>.

belajar menggunakan Project-Based Learning dan mereka yang mengikuti pembelajaran konvensional, khususnya dalam kemampuan berpikir kritis.⁹ Temuan ini menegaskan bahwa Project-Based Learning memiliki keunggulan dalam mendorong pemahaman konsep yang lebih mendalam dan pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Namun demikian, efektivitas model ini tidak bersifat mutlak karena masih dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti desain pembelajaran, kesiapan guru, serta karakteristik siswa. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang lebih komprehensif dan kontekstual.

Berdasarkan berbagai hasil penelitian tersebut, terlihat adanya ketidakkonsistenan hasil terkait efektivitas Project-Based Learning. Variasi hasil penelitian menunjukkan adanya faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan penerapan model tersebut. Penelitian-penelitian sebelumnya masih terbatas pada konteks tertentu dan belum memberikan gambaran yang menyeluruh. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan meta-analisis untuk mengintegrasikan berbagai hasil penelitian yang ada. Pendekatan ini memungkinkan peneliti memperoleh kesimpulan yang lebih kuat. Dengan demikian, hasil penelitian menjadi lebih komprehensif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak Project-Based Learning terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran Biologi di Indonesia melalui pendekatan meta-analisis. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efektivitas model pembelajaran tersebut. Penelitian ini penting karena dapat menjadi dasar dalam pengembangan kurikulum dan strategi pembelajaran yang lebih efektif. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pendidikan. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: bagaimana pengaruh Project-Based Learning terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMA dalam pembelajaran Biologi di Indonesia? Faktor apa saja yang memoderasi pengaruh tersebut? Seberapa besar effect size yang dihasilkan dari berbagai penelitian yang dianalisis?

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain meta-analisis untuk mengkaji efektivitas Project-Based Learning terhadap keterampilan berpikir kritis pada pembelajaran Biologi. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengintegrasikan hasil

⁹ Delta Olevia, Irwandi, dan Mariana Ade Cahaya, "Pengaruh Project Based Learning terhadap Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Kognitif Peserta Didik IPA Biologi," *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains* 9, no. 1 (2026): 35–41, <https://journal.ipm2kpe.or.id/index.php/BIOEDUSAINS/article/view/18707>.

berbagai penelitian secara sistematis sehingga menghasilkan kesimpulan yang lebih komprehensif dan akurat. Menurut Sugiyono, penelitian kuantitatif berfokus pada pengolahan data numerik untuk menguji hipotesis secara objektif.¹⁰ Prosedur penelitian dilakukan melalui tahapan terstruktur yang mencakup penentuan kriteria inklusi dan eksklusi, pengumpulan literatur, penyaringan studi, pengkodean data, serta analisis statistik. Kriteria inklusi meliputi publikasi tahun 2016-2026, penggunaan desain eksperimen atau kuasi-eksperimen, serta ketersediaan data statistik lengkap seperti jumlah sampel, rata-rata, dan standar deviasi. Studi yang tidak memenuhi kriteria tersebut dikeluarkan agar kualitas analisis tetap terjaga.

Proses pengumpulan literatur dilakukan secara sistematis melalui Google Scholar dengan menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan terkait Project-Based Learning, berpikir kritis, dan pembelajaran Biologi. Tahapan seleksi studi mengikuti prosedur PRISMA yang meliputi identifikasi, penyaringan, kelayakan, dan inklusi hingga diperoleh 27 studi yang sesuai untuk dianalisis. Menurut Arikunto, prosedur pengumpulan dan seleksi data harus dilakukan secara sistematis untuk menjaga validitas hasil penelitian.¹¹ Data dari setiap studi kemudian dikodekan oleh tiga penilai guna memastikan konsistensi dan reliabilitas. Variabel yang dikodekan mencakup indikator berpikir kritis, variasi penerapan Project-Based Learning, variabel terikat tambahan, serta ukuran sampel. Proses ini membantu penyederhanaan data sehingga lebih mudah dianalisis dan diinterpretasikan.

Analisis data dilakukan dengan menghitung ukuran efek menggunakan pendekatan standardized mean difference serta parameter statistik lain seperti standar error, varians, confidence interval, nilai Z, dan p-value. Model analisis yang digunakan meliputi fixed effect dan random effect yang dipilih berdasarkan tingkat heterogenitas data melalui uji Q-statistic dan I^2 . Menurut Creswell, analisis data kuantitatif bertujuan untuk menguji hubungan antarvariabel secara sistematis dan menghasilkan kesimpulan yang dapat digeneralisasikan.¹² Selain itu, analisis moderator dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel seperti indikator berpikir kritis, tambahan model pembelajaran, variabel terikat lain, serta ukuran sampel terhadap variasi ukuran efek. Menurut Ghozali, penggunaan analisis statistik inferensial sangat penting untuk menarik kesimpulan yang valid berdasarkan data

¹⁰ Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D* (Bandung: Alfabeta, 2022).

¹¹ Suharsimi Arikunto, *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek* (Jakarta: PT. Rineka Cipta, 2021).

¹² John W. Creswell, *Research Design Pendekatan Metode Kualitatif Kuantitatif dan Campuran*, Edisi 4. (Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pelajar, 2016).

empiris.¹³ Hasil analisis kemudian diinterpretasikan menggunakan klasifikasi ukuran efek Cohen untuk menentukan tingkat pengaruh yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi ukuran efek dari 27 studi yang dianalisis memiliki variasi yang cukup luas, mulai dari nilai terendah sebesar 0,06 hingga nilai tertinggi mencapai 10,38. Seluruh nilai effect size yang diperoleh menunjukkan arah positif, yang berarti bahwa penerapan Project-Based Learning memberikan kontribusi terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Variasi nilai ini mencerminkan adanya perbedaan karakteristik implementasi pembelajaran serta konteks penelitian pada masing-masing studi. Secara umum, sebagian besar studi berada pada kategori efek besar hingga sangat besar, yang menunjukkan bahwa model pembelajaran ini memiliki kekuatan yang signifikan dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Distribusi kategori menunjukkan bahwa 11,11% termasuk kategori tidak berpengaruh, 3,70% kategori kecil, 14,81% kategori sedang, 33,33% kategori besar, dan 37,03% kategori sangat besar. Dominasi kategori efek sangat besar menegaskan bahwa Project-Based Learning merupakan pendekatan yang efektif dalam konteks pembelajaran Biologi di tingkat SMA.

Hasil analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa nilai effect size tertinggi diperoleh pada penelitian Kuswara dan Setiawati sebesar 10,38, sedangkan nilai terendah ditemukan pada penelitian Novita et al sebesar 0,06. Perbedaan ini menunjukkan bahwa efektivitas Project-Based Learning sangat dipengaruhi oleh faktor implementasi, desain pembelajaran, serta karakteristik siswa. Studi dengan nilai effect size tinggi umumnya menerapkan pendekatan yang lebih kontekstual, kolaboratif, dan berbasis masalah nyata. Sebaliknya, studi dengan nilai rendah cenderung memiliki keterbatasan dalam desain pembelajaran atau kurang optimal dalam penerapan model. Hal ini mengindikasikan bahwa keberhasilan Project-Based Learning tidak hanya bergantung pada model itu sendiri, tetapi juga pada kualitas pelaksanaannya di kelas. Temuan ini memperkuat pentingnya perencanaan pembelajaran yang matang dan sistematis. Dengan demikian, variasi hasil ini memberikan gambaran bahwa efektivitas Project-Based Learning bersifat kontekstual.

Pengujian heterogenitas menunjukkan nilai Q sebesar 31,98 dengan derajat kebebasan 26 serta nilai I² sebesar 18,70%, yang mengindikasikan tingkat heterogenitas

¹³ Imam Ghozali, *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 26*, Cet. 10. (Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2021).

yang rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa variasi antar studi relatif homogen dan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik. Dengan demikian, penggunaan model fixed effect dianggap relevan untuk menghitung ukuran efek gabungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai effect size kumulatif sebesar 0,98 dengan interval kepercayaan 95% sebesar [0,85; 1,11] dan nilai signifikansi $p < 0,001$. Nilai ini termasuk kategori efek besar yang menunjukkan bahwa Project-Based Learning memiliki pengaruh yang kuat terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Hasil dari model random effect juga menunjukkan nilai yang relatif konsisten yaitu sebesar 0,93. Konsistensi ini memperkuat validitas dan reliabilitas temuan meta-analisis.

Analisis variabel moderator menunjukkan bahwa indikator berpikir kritis memiliki pengaruh signifikan terhadap variasi ukuran efek. Indikator Ennis menghasilkan effect size sebesar 1,86 dengan jumlah studi terbanyak, sehingga menunjukkan tingkat sensitivitas yang tinggi dalam mengukur keterampilan berpikir kritis. Indikator Facione menunjukkan nilai sebesar 0,82 yang tergolong moderat, sedangkan Fisher sebesar 0,96 masih berada pada kategori besar. Indikator Paul dan Elder menunjukkan nilai yang sangat tinggi yaitu 10,38, namun perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena berpotensi sebagai outlier. Kategori indikator yang tidak jelas hanya menghasilkan nilai 0,46, yang menunjukkan efektivitas yang lebih rendah. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pemilihan indikator sangat memengaruhi hasil penelitian. Oleh karena itu, penting untuk menggunakan indikator yang terstandar dan valid.

Analisis moderator juga menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi model pembelajaran tidak selalu meningkatkan efektivitas Project-Based Learning. Kelompok yang menggunakan kombinasi model (PBL+) memiliki effect size sebesar 1,54, sedangkan kelompok tanpa kombinasi memiliki nilai sedikit lebih tinggi yaitu 1,65. Hal ini menunjukkan bahwa Project-Based Learning secara mandiri sudah cukup efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Penambahan model lain tidak selalu memberikan dampak signifikan dan bahkan dapat meningkatkan kompleksitas pembelajaran. Selain itu, analisis variabel terikat tambahan menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara kelompok yang menggunakan variabel tambahan dan yang tidak. Hal ini menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis sebagai variabel utama sudah cukup representatif. Dengan demikian, fokus penelitian tetap relevan pada variabel utama.

Ukuran sampel juga dianalisis sebagai variabel moderator dan menunjukkan bahwa kelompok dengan sampel lebih dari 30 memiliki effect size sebesar 1,79, sedangkan kelompok dengan sampel kurang dari atau sama dengan 30 memiliki nilai sebesar 1,34.

Meskipun terdapat perbedaan numerik, hasil ini tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran sampel tidak memengaruhi variasi ukuran efek secara signifikan. Dengan demikian, efektivitas Project-Based Learning lebih ditentukan oleh kualitas implementasi daripada jumlah sampel. Hasil ini memperkuat bahwa model pembelajaran memiliki kekuatan intrinsik yang konsisten. Oleh karena itu, perhatian utama perlu difokuskan pada desain dan pelaksanaan pembelajaran. Keseluruhan temuan ini menunjukkan bahwa Project-Based Learning merupakan pendekatan yang stabil dan efektif.

Analisis bias publikasi menggunakan metode Fail-Safe N menghasilkan nilai sebesar 4268, yang jauh lebih besar dibandingkan batas aman sebesar 145. Hal ini menunjukkan bahwa hasil penelitian ini sangat kuat dan tidak rentan terhadap bias publikasi. Diperlukan ribuan studi tambahan untuk mengubah hasil menjadi tidak signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa temuan ini memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa hasil meta-analisis dapat dijadikan dasar yang kuat dalam pengambilan keputusan pendidikan. Validitas hasil juga diperkuat oleh konsistensi antar studi yang dianalisis. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan pembelajaran Biologi. Hasil ini juga menunjukkan bahwa Project-Based Learning layak diimplementasikan secara luas.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Project-Based Learning memiliki pengaruh signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMA pada pembelajaran Biologi, yang ditunjukkan oleh dominasi kategori effect size besar hingga sangat besar. Kondisi ini mengindikasikan bahwa model pembelajaran berbasis proyek mampu mendorong siswa untuk aktif mengeksplorasi konsep melalui pengalaman belajar yang kontekstual dan bermakna. Temuan ini sejalan dengan penelitian Sholeh et al. yang menunjukkan bahwa penggunaan perangkat pembelajaran berbasis Project-Based Learning efektif melatih keterampilan berpikir kritis siswa secara signifikan.¹⁴ Aktivitas pembelajaran yang melibatkan investigasi, kolaborasi, dan pemecahan masalah nyata memperkuat kemampuan analisis siswa. Proses ini memungkinkan siswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Dengan demikian, Project-Based Learning terbukti relevan sebagai pendekatan pembelajaran Biologi modern.

¹⁴ Muh Ibnu Sholeh et al., "Penerapan Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL) dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa," *Jurnal Tinta* 6, no. 2 (2024): 158–176, <https://ejournal.alqolam.ac.id/index.php/jurnaltinta/article/view/1484>.

Variasi nilai effect size yang cukup lebar menunjukkan adanya perbedaan kualitas implementasi Project-Based Learning pada setiap penelitian. Perbedaan ini dipengaruhi oleh desain pembelajaran, kesiapan guru, serta karakteristik siswa yang berbeda pada setiap konteks pembelajaran. Penelitian Muksin, Zainudin, dan Affaf menunjukkan bahwa penerapan Project-Based Learning yang dilakukan secara sistematis melalui tahapan siklus pembelajaran mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis secara bertahap.¹⁵ Studi dengan nilai effect size tinggi umumnya menerapkan pembelajaran berbasis proyek yang kontekstual dan berpusat pada siswa. Sebaliknya, studi dengan nilai rendah menunjukkan adanya keterbatasan dalam pelaksanaan pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas model sangat dipengaruhi oleh kualitas implementasi di kelas. Oleh karena itu, perencanaan pembelajaran yang matang menjadi faktor penting dalam keberhasilan Project-Based Learning.

Nilai heterogenitas yang rendah menunjukkan bahwa hasil penelitian relatif konsisten antar studi yang dianalisis. Konsistensi ini menegaskan bahwa Project-Based Learning memiliki pengaruh yang stabil terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian Sidabariba, Warouw, dan Moko juga menunjukkan bahwa Project-Based Learning memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan berpikir kritis dengan hasil yang konsisten antar kelompok eksperimen.¹⁶ Nilai effect size kumulatif yang tinggi memperkuat bahwa model ini memiliki kekuatan yang signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kecil antar penelitian tidak mengubah kesimpulan utama. Konsistensi hasil juga menjadi indikator tingginya validitas meta-analisis. Dengan demikian, Project-Based Learning dapat direkomendasikan sebagai model pembelajaran yang efektif secara luas.

Peran indikator berpikir kritis sebagai moderator menunjukkan bahwa pemilihan instrumen sangat memengaruhi hasil penelitian. Indikator Ennis yang menghasilkan nilai effect size tinggi menunjukkan bahwa kerangka ini lebih sensitif dalam mengukur keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian Mai, Mappedasse, dan Nasrun menunjukkan bahwa pendekatan metakognitif dalam Project-Based Learning mampu meningkatkan

¹⁵ Muksin, Zainudin, dan Moh. Affaf, "Penerapan Model PjBL pada Pembelajaran Matematika untuk Melatih Keterampilan Berfikir Kritis Siswa SMP," *Jurnal Pengembangan Ilmu Pengetahuan* 6, no. 2 (2025): 37–53, <https://ijurnal.com/1/index.php/jpip/article/view/631>.

¹⁶ Zulviana Y. Sidabariba, Zusje Warouw, dan Emma M. Moko, "Pengaruh Model Project Based Learning dalam Pembelajaran Biologi terhadap Berpikir Kritis Siswa pada Materi Keanekaragaman Hayati," *J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah* 3, no. 4 (2024): 1297–1304, <https://al-haramjournal.id/index.php/J-CEKI/article/view/3899>.

keterampilan berpikir kritis secara lebih terstruktur.¹⁷ Perbedaan indikator menyebabkan variasi dalam hasil pengukuran meskipun menggunakan model yang sama. Hal ini menunjukkan pentingnya penggunaan indikator yang valid dan terstandar. Instrumen yang tepat akan menghasilkan data yang lebih akurat dan reliabel. Dengan demikian, standarisasi pengukuran menjadi kebutuhan penting dalam penelitian pendidikan.

Temuan bahwa Project-Based Learning tetap efektif tanpa kombinasi model lain menunjukkan bahwa model ini memiliki kekuatan intrinsik yang tinggi. Model ini telah mampu mengintegrasikan berbagai aspek pembelajaran seperti kognitif, sosial, dan kontekstual secara optimal. Penelitian Firawaty, Nisa, dan Wijayanto menunjukkan bahwa integrasi Project-Based Learning dengan pendekatan lain seperti STEAM tetap efektif, namun tidak selalu meningkatkan hasil secara signifikan.¹⁸ Hal ini menunjukkan bahwa penambahan model lain tidak selalu memberikan dampak yang lebih baik. Kompleksitas pembelajaran justru dapat meningkat jika tidak dirancang secara tepat. Oleh karena itu, penggunaan kombinasi model harus disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran. Dengan demikian, Project-Based Learning dapat berdiri sendiri sebagai model yang efektif.

Tidak signifikannya pengaruh variabel terikat tambahan menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis sudah cukup mewakili keberhasilan pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa berpikir kritis merupakan indikator utama dalam pembelajaran Biologi yang berbasis konstruktivistik. Penelitian Adnan, Ningrum, dan Jauhari menunjukkan bahwa penggunaan bahan ajar berbasis Project-Based Learning mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis secara efektif tanpa memerlukan variabel tambahan.¹⁹ Fokus pada satu variabel utama memungkinkan analisis yang lebih mendalam dan terarah. Penambahan variabel lain tidak selalu memberikan kontribusi signifikan terhadap hasil. Oleh karena itu, penelitian sebaiknya menitikberatkan pada variabel yang paling relevan. Hal ini akan meningkatkan kejelasan interpretasi hasil penelitian.

¹⁷ Martinus Mai, Muh. Yusuf Mappede, dan Muh. Nasrun, "Meningkatkan Keterampilan Metakognitif dan Problem Solving melalui Pendekatan Belajar Project Base Learning," *Journal of Computers, Informatics, and Vocational Education* 1, no. 1 (2024): 14–18, <https://journal.unm.ac.id/index.php/CIVE/article/view/2574>.

¹⁸ Firawaty, Ana Fitrotun Nisa, dan Zainnur Wijayanto, "Integrasi Pendekatan STEAM dalam Project Based Learning untuk Meningkatkan Literasi Sainifik dan Numerasi Siswa SD," *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Dasar Inovasi Pendidikan Dasar Berbasis Deep Learning* 3, no. 1 (2025): 290–303, https://seminar.ustjogja.ac.id/index.php/semnas_dikdasUST/article/view/3410.

¹⁹ Moch. Zidan Nur Adnan, A.M. Nila Ainu Ningrum, dan Moh. Irmawan Jauhari, "Penerapan Metode Project Based Learning (PjBL) sebagai Upaya Mengembangkan Kemampuan Berfikir Kritis dan Kreatif Mahasiswa Prodi Psikologi Islam pada Mata Kuliah Psikologi Umum di UIT Lirboyo Kediri," *Jurnal Riset Multidisiplin Edukasi* 2, no. 11 (2025): 1103–1117, <https://journal.hasbaedukasi.co.id/index.php/jurmie/article/view/1267>.

Ukuran sampel yang tidak berpengaruh signifikan menunjukkan bahwa kualitas pembelajaran lebih menentukan dibandingkan jumlah sampel penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa desain pembelajaran yang baik mampu menghasilkan efek yang kuat meskipun dengan jumlah peserta yang terbatas. Penelitian Dewi et al. menunjukkan bahwa penerapan Project-Based Learning mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis secara signifikan meskipun dilakukan pada jumlah sampel yang terbatas.²⁰ Hal ini menegaskan bahwa efektivitas pembelajaran tidak bergantung pada kuantitas, tetapi pada kualitas proses belajar. Dengan demikian, fokus penelitian perlu diarahkan pada strategi pembelajaran yang efektif. Temuan ini memberikan implikasi bahwa penelitian skala kecil tetap memiliki nilai penting. Oleh karena itu, kualitas metodologi harus menjadi prioritas utama.

Nilai Fail-Safe N yang sangat tinggi menunjukkan bahwa hasil penelitian memiliki tingkat kepercayaan yang kuat dan tidak rentan terhadap bias publikasi. Hal ini menunjukkan bahwa temuan penelitian tetap stabil meskipun terdapat kemungkinan studi yang tidak dipublikasikan. Penelitian Habibu, Hasiru, dan Maruwae menunjukkan bahwa Project-Based Learning memberikan pengaruh signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar kognitif siswa.²¹ Konsistensi hasil ini memperkuat bahwa model pembelajaran berbasis proyek efektif secara empiris. Validitas hasil juga didukung oleh jumlah studi yang dianalisis secara komprehensif. Dengan demikian, hasil penelitian dapat dijadikan dasar dalam pengambilan kebijakan pendidikan. Project-Based Learning layak diimplementasikan secara luas dalam pembelajaran Biologi.

Penelitian ini menegaskan bahwa Project-Based Learning memiliki pengaruh signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMA pada pembelajaran Biologi, yang ditunjukkan oleh nilai effect size besar dan konsisten. Temuan ini menjawab rumusan masalah bahwa model pembelajaran berbasis proyek mampu meningkatkan kemampuan analisis, evaluasi, dan pemecahan masalah melalui pengalaman belajar yang kontekstual dan aktif. Variasi effect size menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi sangat dipengaruhi oleh kualitas desain pembelajaran, keterlibatan siswa, serta kesiapan guru. Rendahnya heterogenitas memperkuat bahwa hasil penelitian bersifat stabil dan dapat digeneralisasikan pada berbagai konteks pembelajaran. Analisis moderator menegaskan bahwa indikator

²⁰ Dewi et al., "The Effectiveness of Project-Based Learning in Improving Students' Critical Thinking Skills," *Journal of English Language and Education* 10, no. 4 (2025): 1139–1145, <https://jele.or.id/index.php/jele/article/view/1292>.

²¹ Pebriyanti Habibu, Roy Hasiru, dan Abdulrahim Maruwae, "Pengaruh Model Pembelajaran Project Based Learning dengan Pendekatan Respect Education terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Mata Pelajaran Ekonomi," *Jurnal Pendidikan Dirgantara* 2, no. 3 (2025): 154–170, <https://ejournal.aripi.or.id/index.php/jupendir/article/view/581>.

berpikir kritis menjadi faktor utama yang memengaruhi hasil, sedangkan ukuran sampel dan variabel tambahan tidak berpengaruh signifikan. Dengan demikian, Project-Based Learning terbukti sebagai pendekatan efektif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa secara optimal.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan meta-analisis yang mengintegrasikan 27 studi sehingga menghasilkan kesimpulan yang lebih kuat dan komprehensif dibandingkan penelitian tunggal. Penelitian ini tidak hanya membuktikan efektivitas Project-Based Learning, tetapi juga mengungkap faktor-faktor yang memoderasi pengaruhnya secara sistematis. Temuan bahwa model ini tetap efektif tanpa kombinasi pendekatan lain menunjukkan kekuatan intrinsik Project-Based Learning sebagai strategi pembelajaran mandiri. Selain itu, penekanan pada pentingnya indikator berpikir kritis memberikan kontribusi teoretis dalam meningkatkan akurasi pengukuran hasil belajar. Analisis bias publikasi yang menunjukkan hasil stabil juga memperkuat validitas temuan penelitian. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dan praktis bagi pengembangan pembelajaran Biologi yang berbasis bukti.

KESIMPULAN

Hasil meta-analisis terhadap 27 studi menunjukkan bahwa Project-Based Learning berpengaruh signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMA pada pembelajaran Biologi di Indonesia. Nilai effect size berkisar antara 0,06 hingga 10,38 dengan seluruhnya bernilai positif, serta didominasi kategori besar (33,33%) dan sangat besar (37,03%), yang menegaskan efektivitas model ini. Nilai effect size kumulatif sebesar 0,98 dengan interval kepercayaan 95% [0,85; 1,11] dan $p < 0,001$ menunjukkan pengaruh kuat dan signifikan. Tingkat heterogenitas yang rendah ($Q = 31,98$; $I^2 = 18,70\%$) mengindikasikan konsistensi hasil antar studi, sehingga temuan bersifat stabil dan dapat digeneralisasikan. Hasil ini menjawab rumusan masalah bahwa Project-Based Learning mampu meningkatkan kemampuan analisis, evaluasi, dan pemecahan masalah melalui pembelajaran yang kontekstual, aktif, dan berpusat pada siswa, meskipun variasi effect size menunjukkan bahwa kualitas implementasi tetap menjadi faktor penentu utama.

Analisis moderator menegaskan bahwa indikator berpikir kritis menjadi faktor paling berpengaruh, dengan effect size Ennis 1,86, Facione 0,82, Fisher 0,96, dan Paul dan Elder 10,38, sedangkan kategori tidak jelas hanya 0,46. Project-Based Learning tanpa kombinasi model lain menunjukkan efektivitas sedikit lebih tinggi (1,65) dibandingkan kombinasi (1,54), sehingga mencerminkan kekuatan intrinsik model ini. Variabel tambahan tidak

berpengaruh signifikan, dan ukuran sampel >30 (1,79) maupun ≤ 30 (1,34) tidak menunjukkan perbedaan berarti. Nilai Fail-Safe N sebesar 4268 yang jauh melampaui batas 145 menegaskan ketahanan hasil terhadap bias publikasi. Temuan ini menegaskan bahwa Project-Based Learning merupakan pendekatan yang efektif, konsisten, dan layak diimplementasikan secara luas, sekaligus memberikan dasar empiris yang kuat bagi pengembangan pembelajaran Biologi berbasis bukti.

REFERENSI

- Adnan, Moch. Zidan Nur, A.M. Nila AINU Ningrum, dan Moh. Irmawan Jauhari. "Penerapan Metode Project Based Learning (PjBL) sebagai Upaya Mengembangkan Kemampuan Berfikir Kritis dan Kreatif Mahasiswa Prodi Psikologi Islam pada Mata Kuliah Psikologi Umum di UIT Lirboyo Kediri." *Jurnal Riset Multidisiplin Edukasi* 2, no. 11 (2025): 1103–1117. <https://journal.hasbaedukasi.co.id/index.php/jurmie/article/view/1267>.
- Alif, Rika Nur, dan Raharjo. "Pengembangan E-Book Berbasis Project Based Learning Materi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan untuk Melatih Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA." *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi* 14, no. 2 (2025): 492–501. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu/article/view/67546>.
- Arikunto, Suharsimi. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: PT. Rineka Cipta, 2021.
- Creswell, John W. *Research Design Pendekatan Metode Kualitatif Kuantitatif dan Campuran*. Edisi 4. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pelajar, 2016.
- Dewi, Ayu Mukaromah, Muhammad Ilham, dan Zaenal Arifin. "The Effectiveness of Project-Based Learning in Improving Students' Critical Thinking Skills." *Journal of English Language and Education* 10, no. 4 (2025): 1139–1145. <https://jele.or.id/index.php/jele/article/view/1292>.
- Firawaty, Ana Fitrotun Nisa, dan Zainnur Wijayanto. "Integrasi Pendekatan STEAM dalam Project Based Learning untuk Meningkatkan Literasi Sainifik dan Numerasi Siswa SD." *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Dasar Inovasi Pendidikan Dasar Berbasis Deep Learning* 3, no. 1 (2025): 290–303. https://seminar.ustjogja.ac.id/index.php/semnas_dikdasUST/article/view/3410.
- Ghozali, Imam. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 26*. Cet. 10. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2021.
- Habibu, Pebriyanti, Roy Hasiru, dan Abdulrahim Maruwae. "Pengaruh Model Pembelajaran Project Based Learning dengan Pendekatan Respect Education terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Mata Pelajaran Ekonomi." *Jurnal Pendidikan Dirgantara* 2, no. 3 (2025): 154–170. <https://ejournal.aripi.or.id/index.php/jupendir/article/view/581>.
- Jannah, Saltsa Ridlotul, Kukuh Munandar, Gandu Wadiono, dan Dian Nur Aisah. "Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Biologi dengan Model PjBL dan Pendekatan CRT." *Jurnal Biologi* 1, no. 4 (2024): 1–11.

- <https://journal.pubmedia.id/index.php/biology/article/view/1994>.
- Mai, Martinus, Muh. Yusuf Mapeasse, dan Muh. Nasrun. "Meningkatkan Keterampilan Metakognitif dan Problem Solving melalui Pendekatan Belajar Project Base Learning." *Journal of Computers, Informatics, and Vocational Education* 1, no. 1 (2024): 14–18. <https://journal.unm.ac.id/index.php/CIVE/article/view/2574>.
- Muksin, Zainudin, dan Moh. Affaf. "Penerapan Model PjBL pada Pembelajaran Matematika untuk Melatih Keterampilan Berfikir Kritis Siswa SMP." *Jurnal Pengembangan Ilmu Pengetahuan* 6, no. 2 (2025): 37–53. <https://ijurnal.com/1/index.php/jpip/article/view/631>.
- Ningsih, Anggun Febriani Wahyu, Dara Umami, Fathurrahman Hidayat, Tasya Humaira Hazirin, dan Rahmadhani Fitri. "Pengaruh Penerapan Project Based Learning (PjBL) terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA pada Materi Bioteknologi." *Prosiding Seminar Nasional Biologi* 3, no. 2 (2023): 1392–1403. <https://semnas.biologi.fmipa.unp.ac.id/index.php/prosiding/article/view/880>.
- Nurhayati, Adnan, Andi Asmawati Azis, Ismail, Abdul Hadis, Suriyani, Muhammad Isrul, dan Rahmawati Latif. "Efektivitas Penerapan Model PjBL Terintegrasi STEAM terhadap Keterampilan Proses Sains, Berpikir kreatif, dan Berpikir kritis pada Bidang Studi Biologi Siswa SMA." *Jurnal Biotek* 13, no. 2 (2025): 141–153. <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/biotek/article/view/61447>.
- Olevia, Delta, Irwandi, dan Mariana Ade Cahaya. "Pengaruh Project Based Learning terhadap Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Kognitif Peserta Didik IPA Biologi." *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains* 9, no. 1 (2026): 35–41. <https://journal.ipm2kpe.or.id/index.php/BIOEDUSAINS/article/view/18707>.
- Prandifa, Riandho, Fitri Arsih, dan Heffi Alberida. "Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa pada Pelajaran Biologi SMA." *Jurnal Pendidikan Tambusai* 7, no. 1 (2023): 407–417. <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/5311>.
- Ramadani, Shefa Dwijayanti, dan Ubaidillah. "Reflective Metacognitive Project Based Learning (RM-PjBL) untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis pada Pembelajaran Biologi." *Simbiosis* 12, no. 1 (2023): 56–65. https://www.researchgate.net/publication/375440479_Reflective_Metacognitive_Project_Based_Learning_RM-PjBL_untuk_Meningkatkan_Keterampilan_Berpikir_Kritis_pada_Pembelajaran_Biologi.
- Safarni, Gamar B.N. Shamdas, Yulia Windarsih, Mohammad Jamhari, Lilies, dan Astija. "Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning (PjBL) dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Kelas X MIA 1 SMA Negeri 2 Sirenja pada Pelajaran Biologi." *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi* 13, no. 2 (2025): 1216–1228. <https://e-journal.undikma.ac.id/index.php/bioscientist/article/view/16503>.
- Salsabilla, Ardita Sukma, dan Tarzan Purnomo. "Pengembangan E-LKPD Berbasis Project Based Learning Materi Bioteknologi untuk Melatih Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik Kelas XII." *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi* 15, no. 1 (2026): 249–256. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu/article/view/72463>.
- Sholeh, Muh Ibnu, Nur 'Azah, Dinar Ayu Tasya', Sokip, Asrop Syafi'i, Sahri, Hasyim

- Rosyidi, Zainur Arifin, dan Siti Fatinnah binti Ab Rahman. “Penerapan Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL) dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa.” *Jurnal Tinta* 6, no. 2 (2024): 158–176. <https://ejournal.alqolam.ac.id/index.php/jurnaltinta/article/view/1484>.
- Sidabariba, Zulviana Y., Zusje Warouw, dan Emma M. Moko. “Pengaruh Model Project Based Learning dalam Pembelajaran Biologi terhadap Berpikir Kritis Siswa pada Materi Keanekaragaman Hayati.” *J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah* 3, no. 4 (2024): 1297–1304. <https://al-haramjournal.id/index.php/J-CEKI/article/view/3899>.
- Sugiyono. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. Bandung: Alfabeta, 2022.