

Pembelajaran bioteknologi dalam pembelajaran IPA sekolah menengah pertama: Tinjauan sistematis model pembelajaran, media berbasis teknologi, dan kompetensi abad ke-21

Nabila Putri Miftakhul Huda ¹; Rizki Nor Amelia ^{2,*}

Pendidikan IPA, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia

¹ nabilamiftakhul@students.unnes.ac.id; ² rizkinoramelia@mail.unnes.ac.id

* Penulis koresponden

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
Riwayat artikel Dikirim 7 April 2026 Revisi 21 Juni 2026 Diterima 27 Juni 2026	Orientasi kajian ini bertumpu pada pemetaan tren instruksional bioteknologi dalam kurikulum Sains Sekolah Menengah Pertama (SMP), yang mencakup dimensi model pembelajaran, instrumen media berbasis teknologi, serta penguasaan keterampilan abad ke-21. Pendekatan <i>Systematic Literature Review</i> berbasis kriteria PRISMA diterapkan untuk mengevaluasi 18 artikel terpilih yang lolos tahapan inklusi. Data selanjutnya diolah melalui analisis deskriptif kuantitatif menggunakan distribusi frekuensi dan persentase. Evaluasi literatur mengeksplisitkan dominasi <i>Project-Based Learning</i> (44,4%), yang mengindikasikan pergeseran paradigma menuju intervensi pedagogis berpusat pada siswa. Mengenai media instruksional, lanskap penggunaan masih terfragmentasi, meskipun buku saku digital mencatatkan proporsi tertinggi (11,1%). Analisis keterampilan 4C memperlihatkan ketimpangan fokus; kemampuan berpikir kritis mendominasi ruang kajian bersama berpikir kreatif dan kolaborasi, sementara ranah komunikasi cenderung terabaikan. Kesenjangan ini mengonfirmasi belum padunya penyatuan antara model pembelajaran, media digital, dan kompetensi 4C secara utuh pada topik bioteknologi SMP. Implikasinya, perancangan strategi instruksional yang lebih holistik amat mendesak guna memfasilitasi pembentukan kompetensi siswa secara konvergen dan seimbang.
Kata kunci Bioteknologi Keterampilan abad ke-21 Media pembelajaran Model pembelajaran <i>Systematic literature review</i>	

Keywords:

Biotechnology
21st-century skills
Educational media
Instructional models
Systematic literature review

ABSTRACT

Biotechnology learning in junior high school science: A systematic review of instructional models, technology-based media, and 21st-century competencies. This systematic investigation maps current pedagogical trends in junior high school biotechnology education, specifically evaluating instructional framework choices, digital media integration, and 21st-century skill targeting. Adopting the PRISMA-guided Systematic Literature Review methodology, 18 eligible studies meeting strict inclusion criteria were selected. Analytical procedures relied on descriptive quantitative metrics, primarily frequency distribution and percentage calculations. Findings reveal Project-Based Learning as the prevailing pedagogical framework (44.4%), signaling a broader transition toward learner-centered instructional delivery. Media adoption remains fragmented, with digital pocketbooks emerging as the most cited format (11.1%). Regarding 4C competencies, researchers heavily prioritized critical thinking, with creative thinking and collaboration receiving moderate focus, whereas communication skills remained largely unexamined. Such disparity points to an incomplete synergy among instructional models, technology-mediated resources, and 4C competency development in secondary biotechnology instruction. Consequently, designing integrated pedagogical frameworks becomes essential to cultivate balanced 21st-century learner competencies.

© 2026 The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC-BY-4.0, which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Pendahuluan**

Pembentukan fondasi kognitif dan keterampilan dasar peserta didik tingkat Sekolah Menengah Pertama (SMP) bertumpu pada efektivitas mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) (Prihatini, 2023). Laju perkembangan teknologi digital serta kompleksitas dinamika global menuntut transformasi paradigma belajar; penguasaan materi teoretis belaka tidak lagi memadai tanpa dibarengi kapabilitas adaptif terhadap dinamika sosial (Pare & Sihotang, 2023). Konsekuensinya, orientasi pembelajaran IPA bergeser ke arah akumulasi keterampilan abad ke-21 yang terformulasikan dalam kerangka 4C (*critical thinking, creative thinking, collaboration, dan communication*). Penguasaan keempat elemen ini menjadi imperatif kognitif agar peserta didik mampu berpartisipasi secara produktif di tengah kompetisi global (Partono et al., 2021).

Kendati demikian, artikulasi keterampilan abad ke-21 pada ruang kelas nyata masih menemui beragam hambatan teknis maupun pedagogis. Pendekatan *blended learning* berbasis sarana digital menawarkan potensi esensial untuk mengakselerasi kompetensi tersebut, namun eksekusinya di Indonesia terhambat oleh keterbatasan infrastruktur teknologi (Hafiz et al., 2025). Masalah ini diperparah oleh kapasitas literasi digital tenaga pendidik yang belum merata, yang turut mendistorsi penetrasi kompetensi

abad ke-21 (Jannah & Rosdiana, 2025). Implikasinya, integrasi perangkat teknologi kerap gagal menciptakan lingkungan belajar yang interaktif dan substansial. Kesenjangan ini menegaskan adanya jurang pemisah antara artikulasi kebijakan kurikulum dengan realitas instruksional di lapangan.

Efektivitas pembenahan konteks tersebut sangat bergantung pada presisi pemilihan model pembelajaran. Selain berfungsi sebagai wahana penyampaian substansi materi, model instruksional berperan mendasar dalam membangun konstruksi konseptual serta memfasilitasi penyerapan keterampilan 4C. Pencapaian target instruksional membutuhkan keterlibatan aktif siswa dalam seluruh ranah pembelajaran (Baehaqi et al., 2024). Desain rancangan yang tepat mampu mengondisikan siswa ke dalam skenario pemikiran kritis, kreasi ide, kolaborasi, dan artikulasi komunikasi, sehingga proses kognisi berlangsung secara konstruktif dan eksploratif (Azzahara & Lestari, 2026).

Di sisi lain, model pembelajaran juga berfungsi sebagai kerangka sistematis bagi guru dalam merancang dan mengorganisasi proses pembelajaran. Seiring dengan meningkatnya tuntutan kompetensi global abad ke-21, kebutuhan akan model pembelajaran yang inovatif semakin menguat, terutama yang tidak hanya berorientasi pada hasil belajar, tetapi juga pada proses berpikir dan pengalaman belajar peserta didik (Adyputri et al., 2025). Hal ini menuntut guru untuk mampu menyesuaikan pendekatan pembelajaran dengan karakteristik generasi digital. Oleh karena itu, integrasi teknologi dalam pembelajaran menjadi kebutuhan yang tidak terelakkan untuk menciptakan pembelajaran yang relevan, adaptif, dan menarik (Puspitarini, 2022).

Operasionalisasi teknologi terealisasi melalui pemanfaatan media berbasis teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Perangkat media ini berfungsi sebagai sarana pedagogis yang memperjelas substansi materi sekaligus mengefisienkan interaksi komunikatif antara pendidik dan peserta didik (Khorriidah et al., 2025). Dalam paradigma pendidikan modern, keberadaan media berbasis TIK telah bertransformasi dari sekadar elemen pelengkap menjadi komponen intensional yang menentukan mutu instruksional (Khotimah, 2025). Potensi media ini terbukti signifikan dalam memacu keterlibatan kognitif siswa.

Pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran dapat diwujudkan melalui penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi informasi dan komunikasi. Media pembelajaran berperan sebagai instrumen pedagogis yang membantu memperjelas penyampaian informasi serta meningkatkan efektivitas komunikasi antara guru dan peserta didik (Khorriidah et al., 2025). Dalam perkembangan pendidikan modern, penggunaan media berbasis teknologi tidak lagi sekadar pelengkap, melainkan telah menjadi komponen integral dalam mendukung kualitas pembelajaran (Khotimah, 2025). Dengan demikian, media pembelajaran berbasis teknologi memiliki potensi yang signifikan untuk meningkatkan keterlibatan dan pemahaman peserta didik.

Berbagai bentuk media pembelajaran berbasis teknologi telah digunakan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di kelas. Media tersebut memungkinkan penyajian materi secara lebih interaktif dan kontekstual, sehingga dapat meningkatkan keterlibatan peserta didik. Penggunaan simulasi komputer dan permainan edukatif, misalnya, dapat membantu peserta didik memahami konsep yang kompleks secara lebih konkret (Rahmadhea, 2024). Selain itu, platform pembelajaran daring memberikan fleksibilitas untuk mengakses sumber belajar kapan saja dan di mana saja. Melalui *e-learning*, peserta didik dapat mengakses berbagai materi pembelajaran, seperti teks, video pembelajaran, kuis, dan sumber belajar lainnya yang mendukung proses belajar secara lebih efektif (Simangunsong, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan

teknologi berkontribusi langsung terhadap penguatan keterampilan 4C dalam pembelajaran.

Topik bioteknologi dalam kurikulum IPA SMP tergolong materi yang memerlukan presisi visualisasi berbasis teknologi. Karakteristik objek kajiannya yang mikroskopis serta mekanisme reaksinya yang abstrak sulit diinternalisasi tanpa bantuan instrumen representasi visual yang tepat. Visualisasi tidak hanya bertugas menjernihkan abstraksi konsep, tetapi juga memicu kemampuan pemecahan masalah, analisis kontekstual, dan refleksi kognitif yang relevan dengan sains abad ke-21 (Hadianty et al., 2025). Kendati menawarkan keterkaitan erat dengan aplikasi kehidupan nyata, sifat materi yang imperseptibel secara kasat mata kerap menjadi barikade kognitif bagi siswa (Noor et al., 2025). Penggunaan nomenklatur ilmiah yang intensif seperti pada alur fermentasi mikrob juga berisiko menurunkan preferensi dan minat belajar (Masinah, 2025). Tanpa strategi pemodelan yang terstruktur dan bantuan media visual yang memadai, penyampaian esensi bioteknologi rentan mengalami hambatan serius.

Rendahnya pemahaman konsep bioteknologi diperkuat oleh berbagai data empiris. Penelitian Zetkas et al. (2016) mendokumentasikan bahwa pencapaian ketuntasan belajar siswa hanya menyentuh angka 45,62%, sementara 54,38% sisanya berada di bawah ambang batas kriteria. Hambatan utama berpusat pada materi yang melibatkan fenomena tersembunyi atau proses yang tak teramati langsung, mencakup kultur jaringan, sistem hidroponik, aeroponik, hingga rekombinasi DNA (Hadianty et al., 2025). Sifat materi yang interkoneksi ini menuntut penalaran integratif suatu tingkat kapasitas pemikiran yang pada kenyataannya belum terbangun secara merata di tingkat SMP.

Meskipun perhatian akademik terhadap pembelajaran berpusat pada siswa, teknologi pendidikan, dan kompetensi abad ke-21 terus meningkat, pemetaan terhadap pengajaran bioteknologi SMP sejauh ini masih terfragmentasi. Studi-studi terdahulu cenderung mengisolasi variabel hanya mengevaluasi model pembelajaran atau media digital secara terpisah sehingga gagal menghadirkan sintesis terpadu mengenai korelasi sistematis antara rancangan instruksional, sarana media, dan pemupukan keterampilan 4C. Sebaran hasil penelitian di pelbagai publikasi juga menyulitkan praktisi dan akademisi dalam mengidentifikasi praktik terbaik berbasis bukti (*evidence-based practice*). Guna mengisi rumpang pengetahuan tersebut, penelitian ini menerapkan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk memetakan dan menyintesis literatur secara komprehensif. Kajian ini secara spesifik merumuskan tiga pertanyaan utama: (1) apa saja model pembelajaran yang diterapkan dalam pengajaran bioteknologi; (2) media berbasis teknologi apa saja yang diintegrasikan; serta (3) keterampilan abad ke-21 apa saja yang berhasil dieksplorasi dan dikembangkan dalam cakupan materi tersebut.

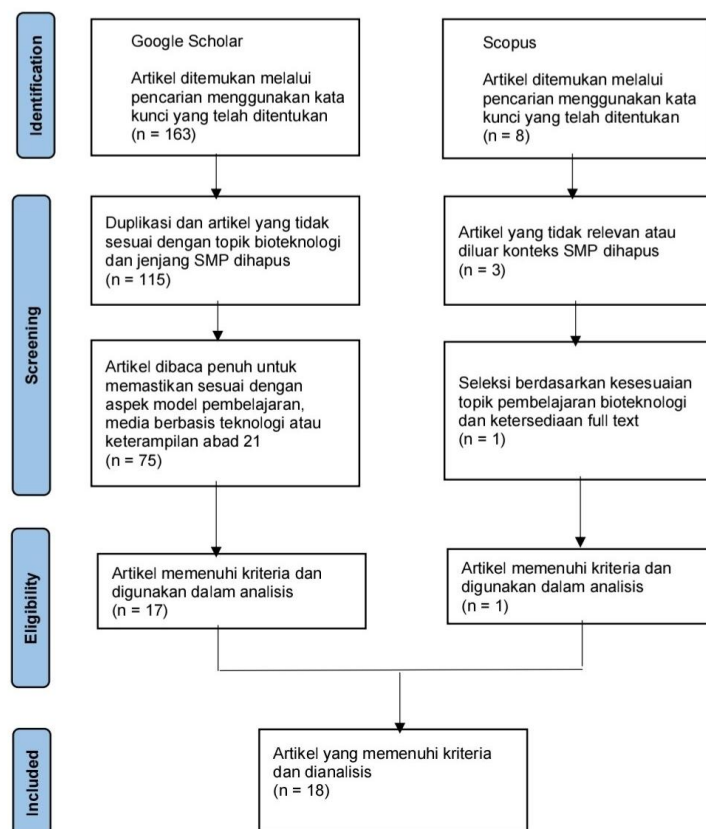
Metode

Penelitian literatur ini mengadopsi rancangan *Systematic Literature Review* (SLR) berorientasi pada panduan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pendekatan tersebut diterapkan guna mengomparasi secara kritis rekam jejak riset pembelajaran bioteknologi sains jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP), khususnya pada domain model instruksional, integrasi media berbasis teknologi, dan akumulasi kompetensi abad ke-21. Seleksi naskah berpatokan ketat pada kriteria kelayakan inklusi maupun eksklusi, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Aspek	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Rentang waktu	Artikel publikasi dalam kurun tahun 2015–2025	Artikel yang diterbitkan di luar rentang tahun 2015-2025
Jenis dan mutu publikasi	Hasil riset empiris pada jurnal ilmiah nasional terakreditasi (SINTA 1–6) atau artikel prosiding terindeks Scopus	Artikel non-empiris (ulasan konseptual, opini, editorial), serta prosiding non-reputasi/tanpa indeksasi
Subjek fokus	Pembahasan spesifik mengenai instruksi bioteknologi pada mata pelajaran IPA	Topik di luar materi bioteknologi IPA
Jenjang pendidikan	Subjek atau konteks penelitian berada pada jenjang SMP/ sederajat	Konteks pendidikan SD, SMA, perguruan tinggi, maupun jalur nonformal
Variabel amatan	Mengkaji salah satu atau kombinasi dari: model pembelajaran, media berbasis teknologi, atau keterampilan abad ke-21	Luput dari kajian model pembelajaran, media digital, dan kompetensi abad ke-21
Aksesibilitas data	Artikel tersedia utuh (<i>full text</i>) untuk ditelaah secara mendalam	Hanya tersedia dalam bentuk abstrak atau tidak dapat diakses secara penuh

Protokol PRISMA dijalankan secara bertahap melalui empat fase mendasar: *identification*, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion* (Gambar 1). Prosedur ini menjamin penelusuran pustaka berlangsung sistematis, transparan, serta dapat direplikasi (*reproducible*). Ekstraksi diawali dengan penghimpunan dokumen ilmiah dari pangkalan data bereputasi pada fase *identification*. Selanjutnya, fase *screening* menyeleksi naskah awal berdasarkan parameter umum. Evaluasi substansial secara komprehensif dilakukan pada tahapan *eligibility* sesuai kriteria yang ditetapkan, hingga menghasilkan sekumpulan artikel final pada tahap *inclusion*. Penerapan alur baku ini meminimalkan bias seleksi sekaligus mengamalkan ketelitian ilmiah dalam sintesis data.

Gambar 1. Tahapan *Systematic Literature Review* Berbasis Kerangka PRISMA

Seluruh artikel yang lolos kurasi akhir dibedah melalui teknik deskriptif-kuantitatif. Informasi ekstraksi dari tiap studi dikategorisasikan secara terstandar ke dalam tiga ranah analitis: model instruksional bioteknologi, penggunaan instrumen media digital, dan jenis keterampilan abad ke-21 yang diintervensi. Penyeragaman protokol klasifikasi ini krusial untuk menjaga reliabilitas antarstudi. Data kuantitatif dari tiap kategori kemudian dikalkulasi tingkat frekuensinya dan dipresentasikan dalam wujud persentase guna menyingkap kecenderungan serta pola distribusi fokus penelitian secara transparan.

Hasil dan pembahasan

Kurasi literatur menghasilkan 18 artikel yang lolos kriteria inklusi. Penelaahan selanjutnya mengelompokkan naskah-naskah ini berdasarkan karakteristik jurnal, strata akreditasi, serta sebaran publikasi. Data pada Tabel 2 mengonfirmasi bahwa kajian instruksional bioteknologi, media digital, dan keterampilan abad ke-21 jenjang SMP masih bertumpu pada ranah domestik. Kontribusi platform internasional masih minim. Implikasinya, ekstrapolasi temuan ke skala global menuntut kecermatan ekstra serta validasi empiris lanjutan melalui studi lintas negara.

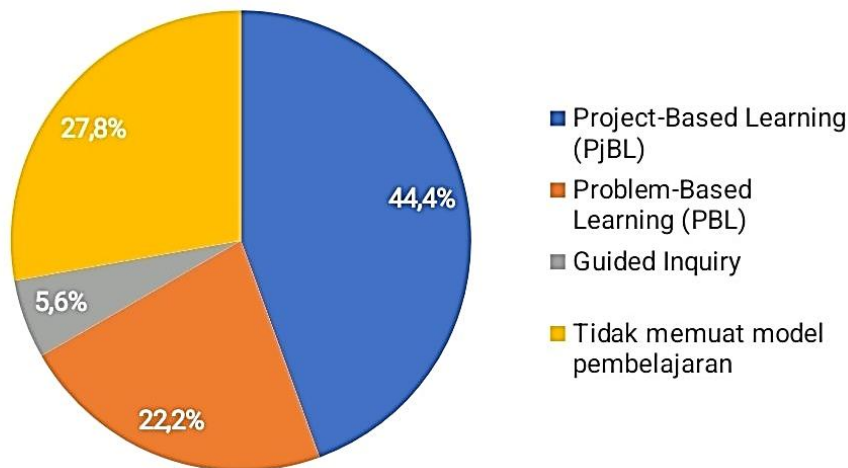
Ditinjau dari mutu penerbitan, artikel berakreditasi Sinta 4 mendominasi proporsi kajian, disusul oleh kualifikasi Sinta 5 dan Sinta 3. Distribusi ini mencerminkan bahwa mutu publikasi mayoritas berada pada tingkatan menengah. Kendati pemuatan artikel pada prosiding terindeks Scopus menunjukkan dinamika positif menuju peningkatan visibilitas global, kuantitasnya yang masih sangat terbatas menegaskan perlunya eskalasi publikasi pada jurnal internasional bereputasi tinggi.

Tabel 2. Distribusi Artikel Berdasarkan Jenis Publikasi

Jenis Publikasi	Penulis	Jumlah Artikel
Artikel jurnal nasional terakreditasi SINTA 3	Agustina (2015); Hidayati et al. (2021); Hutasoit et al. (2025); Labibah et al. (2023); Sofyan et al. (2018)	5
Artikel jurnal nasional terakreditasi SINTA 4	Baehaqi et al. (2024); Cc dan Sari (2026); Dinanti dan Susiyawati (2025); Hutasoit et al. (2025); Ma'wa et al. (2022); Nurfadillah et al. (2023); Putri dan Sugiyanto (2025); Ramadhani (2020); Yolida dan Priadi (2021)	9
Artikel jurnal nasional terakreditasi SINTA 5	Fitriani et al. (2023); Khoridah (2021); Shaumuristi et al. (2025)	3
Prosiding internasional bereputasi (terindeks Scopus)	Jefriadi, et al. (2018)	1

Model Pembelajaran

Evaluasi terhadap model instruksional menempatkan *Project-Based Learning* (PjBL) sebagai pendekatan yang paling dominan dengan porsi 8 artikel (44,4%). *Problem-Based Learning* (PBL) mengekor di posisi kedua sejumlah 4 artikel (22,2%), sedangkan *Guided Inquiry* (GI) hanya teridentifikasi dalam 1 artikel (5,6%). Adapun 5 artikel sisa (27,8%) tidak mendeklarasikan model pembelajaran secara eksplisit. Sebagaimana tertera pada Gambar 2, kecenderungan ini menegaskan pergeseran paradigma ke arah *student-centered learning*. Guru tidak lagi memegang kendali tunggal sebagai penyampai materi, melainkan bertindak sebagai fasilitator eksplorasi, interaksi kolaboratif, dan refleksi siswa (Ramadani et al., 2025). Kerangka kerja berbasis konstruktivisme pun mendominasi landasan teoretis penelitian bioteknologi SMP, meski variasi modalitas instruksional alternatif masih sangat terbatas.



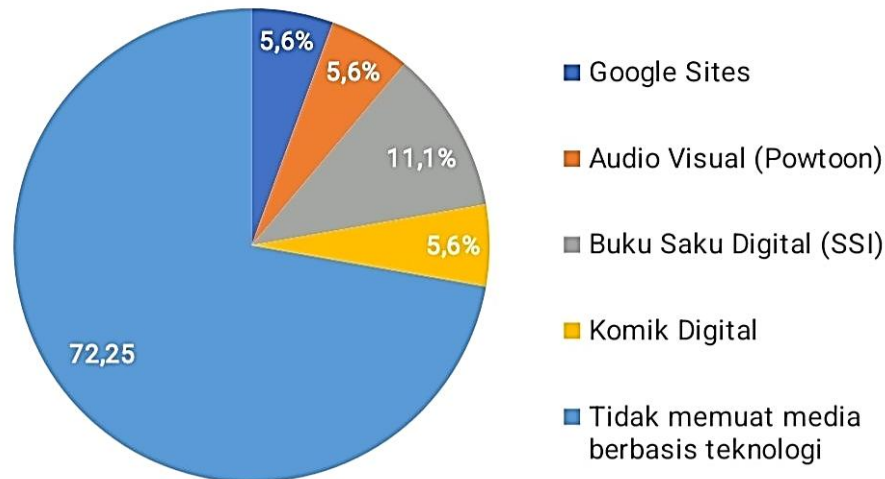
Gambar 2. Distribusi Penelitian Berdasarkan Model Pembelajaran

Tingginya preferensi terhadap PjBL berakar pada desain pembelajarannya yang memfasilitasi pengoperasian proyek kontekstual bertarget produk nyata. Kerangka ini tidak hanya mengokohkan pemahaman konsep bioteknologi, tetapi juga memantik daya kreasi, komunikasi, serta semangat kolaborasi (Wahyu & Romadhon, 2024). PjBL menjembatani jurang antara teori kognitif dan aplikasi praktis melalui pengalaman empiris yang relevan dengan realitas harian siswa. Pada ranah berbeda, PBL memanfaatkan masalah autentik sebagai pemicu penalaran; strategi ini efektif mengasah ketajaman analisis kritis melalui skenario pemecahan masalah (Khadijah et al., 2025). Kedua pendekatan ini secara konseptual koheren dengan orientasi pembelajaran modern yang menuntut peran aktif siswa dalam pengorekan pengetahuan.

Sebaliknya, modalitas seperti *guided inquiry* belum banyak dieksplorasi, padahal pendekatan ini menawarkan potensi penguatan konsep yang substansial. Modifikasi PjBL melalui integrasi STEM, sebagaimana ditunjukkan Ma'wa et al. (2022), terbukti ampuh mendongkrak motivasi belajar siswa pada materi bioteknologi. Sinergi lintas disiplin dalam kerangka STEM memperkaya pemahaman sekaligus memicu keterampilan berpikir tingkat tinggi secara komprehensif (Effendi & Yoto, 2024). Minimnya diversifikasi model mengindikasikan ketergantungan riset yang terlampau tinggi pada PjBL dan PBL. Penyelidikan lanjutan yang lebih berani mengeksplorasi variasi metodologi baru amat diperlukan guna membebaskan pengajaran bioteknologi SMP dari batas-batas konvensional.

Media Pembelajaran Berbasis Teknologi

Pemetaan perangkat teknologi memperlihatkan bahwa buku saku digital menjadi media yang paling sering dikaji, meskipun hanya diwakili oleh 2 artikel (11,1%). Platform lain seperti *Google Sites*, media audiovisual berbasis *Powtoon*, dan komik digital masing-masing hanya muncul dalam 1 artikel (6%). Sebagian besar literatur yakni 13 artikel (72,25%) sama sekali tidak melibatkan intervensi media digital. Sebaran pada Gambar 3 mengonfirmasi bahwa penggunaan teknologi masih bersifat sporadis tanpa adanya dominasi instrumen tertentu. Kepraktisan dan fleksibilitas akses menjadi alasan utama pemilihan buku saku digital, mengingat format ini memfasilitasi pemahaman bertahap atas materi bioteknologi yang kompleks secara mandiri (Salsabila, 2024). Sementara itu, peranti audiovisual seperti *Powtoon* memvisualisasikan mekanisme abstrak melalui animasi (Labibah et al., 2023), serta komik digital mengoptimalkan daya pikat visual dan konteks cerita untuk mengikat atensi belajar (Rahayu et al., 2023).

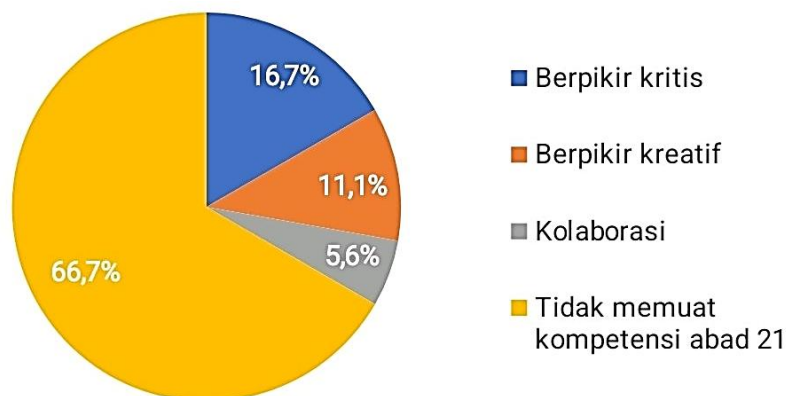


Gambar 3. Distribusi Penelitian Berdasarkan Media Pembelajaran Berbasis Teknologi

Pemanfaatan platform *Google Sites* memudahkan pengorganisasian materi secara terstruktur melalui konsolidasi pelbagai sumber belajar dalam satu pangkalan data (Febrian & Nasution, 2024). Kendati demikian, taraf interaktivitas media yang ditemukan secara umum masih berada pada level rendah hingga menengah; belum ada pengembangan media yang responsif-adaptif atau berinteraktivitas tinggi. Ketimpangan ini menyingkap rumpang antara potensi konseptual teknologi instruksional dan realitas eksekusinya di sekolah. Angka 72,25% studi tanpa media berbasis teknologi mempertegas betapa terbatasnya penetrasi sarana digital dalam pembelajaran bioteknologi SMP. Peluang riset untuk merancang media interaktif yang adaptif dan selaras dengan penguatan keterampilan abad ke-21 masih sangat terbuka lebar.

Kompetensi Abad 21

Penelusuran terhadap pengembangan keterampilan abad ke-21 menunjukkan bahwa pemikiran kritis menjadi fokus utama dengan porsi 3 artikel (16,7%). Keterampilan berpikir kreatif menyulut perhatian 2 artikel (11,1%), diikuti oleh aspek kolaborasi sebanyak 1 artikel (5,6%). Sebagian besar literatur yakni 12 artikel (66,7%) luput mengeksplisitkan target keterampilan 4C (*critical thinking, creative thinking, communication, collaboration*) dalam desain penelitiannya (Gambar 4). Dominasi fokus pada penalaran kritis mengindikasikan kecenderungan para peneliti untuk memprioritaskan kapabilitas analitis dan evaluatif siswa (Patras et al., 2024). Aspek ini memperlihatkan pemusatan perhatian yang berat sebelah pada domain kognitif tingkat tinggi, sementara dimensi sosial dan artikulasi komunikatif cenderung terpinggirkan.



Gambar 4. Distribusi Penelitian Berdasarkan Kompetensi Siswa Abad 21

Penilaian menyeluruh membuktikan bahwa eksplorasi kerangka 4C mengalami ketimpangan serius. Ranah komunikasi bahkan luput dari amatan seluruh artikel yang ditelaah. Hambatan ini berpotensi mengikis kemampuan siswa dalam menyampaikan gagasan, berinteraksi secara saintifik, serta membangun kerja sama lintas peranan. Secara umum, pengajaran bioteknologi SMP masih terkunci pada orientasi kognitif belaka; pengintegrasian model instruksional dan media berbasis TIK belum mampu menyokong penguasaan keterampilan abad ke-21 secara holistik.

Walaupun pengadopsian PjBL telah menandai pergeseran ke arah *student-centered learning*, langkah tersebut belum diimbangi oleh pemanfaatan media digital adaptif maupun pembinaan seimbang pada seluruh pilar 4C. Kesenjangan ini menandakan adanya jurang pemisah antara potensi desain pedagogis inovatif dengan realitas aplikatif di ruang kelas. Selain itu, keterbatasan jumlah sampel (18 artikel) serta dominasi konteks nasional membatasi daya generalisasi temuan terhadap tren global. Karakteristik literatur yang homogen juga membatasi kedalaman analisis sintesis. Oleh sebab itu, temuan ini harus ditafsirkan secara proporsional sebagai wawasan awal yang bersifat parsial, sekaligus menjadi pijakan krusial untuk meluncurkan riset empiris yang lebih luas, mendalam, dan berdaya jangkauan global.

Simpulan

Penelaahan sistematis terhadap 18 artikel terpilih menyingkap fragmentasi substansial dalam instruksi bioteknologi IPA jenjang SMP, di mana adopsi model *Project-Based Learning* yang dominan belum terkonvergensi secara fungsional dengan peranti media digital maupun sintesis keterampilan abad ke-21. Penetrasi teknologi pembelajaran masih terisolasi pada format berinteraktivitas rendah hingga menengah. Ketimpangan ini meluas pada pengondisian kerangka 4C; domain berpikir kritis terakomodasi secara dominan, sementara dimensi komunikasi dan interaksi sosial terabaikan dari amatan literatur. Kesenjangan sistematis tersebut membuktikan bahwasanya praksis pendidikan bioteknologi di sekolah menengah masih terkunci pada orientasi kognitif belaka. Menghadapi implikasi tersebut, rekayasa strategi pembelajaran holistik menjadi imperatif guna menyelaraskan dimensi kognitif, sosial, dan komunikatif siswa melalui fasilitasi media imersif seperti *Augmented Reality* (AR) serta *Virtual Lab* (VL) yang ampuh mengonkretkan fenomena mikroskopis yang abstrak. Agenda penelitian mendatang perlu mentransformasi pendekatan parsial ini melalui penerapan desain eksperimental dan longitudinal berbasis studi internasional bereputasi tinggi guna memperkuat validitas eksternal serta daya generalisasi temuan secara global.

Referensi

- Adyputri, N. N., Narsan, Z., & Palennari, M. (2025). Konseptualisasi pengembangan model pembelajaran CELL (Constructive, Experiential, Lifelong Learning) dalam konteks era digital. *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 11(4), 326–346. <https://doi.org/10.36989/didaktik.v11i04.9302>
- Agustina, D. K. (2015). Meningkatkan hasil belajar kognitif siswa dan aktivitas guru pada materi bioteknologi pangan kelas IX MTs melalui model pembelajaran berbasis masalah. *Konstruktivisme: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 7(2), 107–188. <https://doi.org/10.35457/konstruk.v7i2.15>
- Azzahara, J. S., & Lestari, A. (2026). Integrasi 4C (critical thinking, creativity, communication, collaboration) dalam pembelajaran modern. *Aliansi: Jurnal Hukum, Pendidikan dan Sosial Humaniora*, 3(1), 14–22. <https://doi.org/10.62383/aliansi.v3i1.1445>

- Baehaqi, I. B., Agustini, F., Hayat, M. S., & Rachmawati, F. (2024). Keefektifan penerapan model pembelajaran problem-based learning terhadap hasil belajar materi bioteknologi pada kelas IX SMP. *Pancasakti Science Education Journal*, 9(2), 118–123. <https://doi.org/10.24905/psej.v9i2.191>
- Cc, Y., & Sari, M. (2026). Pengembangan modul bioteknologi pupuk kompos dari pelepah sawit berbasis project-based learning (PjBL) untuk meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa SMP. *JKIP: Jurnal Kajian Ilmu Pendidikan*, 7(3), 1240–1248.
- Dinanti, A. N., & Susiyawati, E. (2025). Peningkatan keterampilan berpikir kreatif peserta didik melalui model PjBL pada materi bioteknologi. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(3), 1197–1204. <https://doi.org/10.37630/jpm.v15i3.2869>
- Effendi, M. I., & Yoto, Y. (2024). Pembelajaran abad ke-21 melalui model project-based learning terintegrasi STEM (PjBL-STEM) dalam meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi. *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, 9(1), 67–73. <https://doi.org/10.28926/briliant.v9i1.1637>
- Fitriani, F., Rahayu, H. M., Setiadi, A. E., & Susanti, H. (2023). Validasi dan respon siswa terhadap komik digital bioteknologi berbasis potensi lokal Kalimantan Barat. *SAP (Susunan Artikel Pendidikan)*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.30998/sap.v8i1.13682>
- Hadianty, H., Rochman, C., & Rahmawati, R. (2025). Evaluasi hasil belajar siswa pada materi bioteknologi dalam meningkatkan kemampuan literasi sains. *BIODIK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 11(1), 180–188. <https://doi.org/10.22437/biodik.v11i1.41244>
- Hafiz, M., Agustini, K., & Suartama, I. K. (2025). Blended learning and its impact on 21st century student learning: Blended learning dan dampaknya terhadap pembelajaran siswa abad 21. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 26(3), 1–19. <https://doi.org/10.21070/ijins.v26i3.1449>
- Hidayati, A. R., Fadly, W., & Ekapti, R. F. (2021). Analisis keterampilan berpikir kritis siswa pada pembelajaran IPA materi bioteknologi. *Jurnal Tadris IPA Indonesia*, 1(1), 34–48. <https://doi.org/10.21154/jtii.v1i1.68>
- Hutasoit, D. P., Gultom, E. S., & Hafzari, R. (2025). Uji kelayakan buku saku digital berbasis socio-scientific issues (SSI) pada materi dampak penerapan bioteknologi kelas IX SMPN 37 Medan. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(3), 1175–1180. <https://doi.org/10.29407/jbp.v12i2.25813>
- Jannah, R., & Rosdiana, R. (2025). Transformasi digital dan literasi teknologi terhadap profesionalisme guru. *Socius: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Sosial*, 2(12), 782–786. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15614949>
- Jefriadi, J., Ahda, Y., & Sumarmin, R. (2018). Validity of students worksheet based problem-based learning for 9th grade junior high school in living organism inheritance and food biotechnology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 335(1), Article 012088. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/335/1/012088>
- Khadijah, I., Wiran, M., Nurhadi, J., Wijaya, A., Baiturrahman, R., Zia, K., Azahra, F., & Hambali, S. (2025). Pengaruh problem-based learning terhadap kemampuan memecahkan masalah peserta didik. *Jurnal Pendidikan Indonesia: Teori, Penelitian, dan Inovasi*, 5(4), 337–345. <https://doi.org/10.59818/jpi.v5i4.1837>
- Khoridah, M. (2021). Upaya meningkatkan prestasi belajar biologi tentang penerapan bioteknologi melalui pembelajaran problem-based learning pada siswa kelas IX-A

- SMP Negeri 2 Pagerwojo Tulungagung. *Jurnal Terapan Pendidikan Dasar dan Menengah*, 1(1), 55–59. <https://doi.org/10.28926/jtpdm.v1i1.1>
- Khoriidah, N., Arzeki, S., & Munawir, M. (2025). Analisis profesionalisme guru dalam implementasi media pembelajaran untuk meningkatkan karakter siswa sekolah dasar. *Didaktika Dwija Indria*, 13(2), 168–178. <https://doi.org/10.20961/ddi.v13i2.101101>
- Khotimah, D. F. K. (2025). Pengembangan media pembelajaran kreatif dan interaktif melalui teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dalam pendidikan. *IHSAN: Jurnal Pendidikan Islam*, 3(1), 1–8.
- Labibah, H., Ajizah, A., & Sari, M. M. (2023). Pengembangan media audio visual berbasis Powtoon pada materi bioteknologi untuk kelas IX SMP. *Oryza: Jurnal Pendidikan Biologi*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.33627/oz.v12i1.992>
- Masinah, S., & Fikri, A. A. (2025). Pengembangan E-Bio: E-modul pembelajaran biologi materi bioteknologi terintegrasi nilai keislaman. *Jurnal Penelitian Sains dan Pendidikan (JPSP)*, 5(2), 136–149. <https://doi.org/10.23971/r1kckj47>
- Ma'wa, A. J., Toto, T., & Kustiawan, A. (2022). Pengaruh model PjBL-STEM dalam pembelajaran IPA pada materi bioteknologi terhadap motivasi belajar siswa. *J-KIP: Jurnal Keguruan dan Ilmu Pendidikan*, 3(1), 307–314. <https://doi.org/10.25157/j-kip.v3i1.7256>
- Noor, M. (2025). Pengaruh pembelajaran berbasis proyek terhadap hasil belajar IPA pada materi bioteknologi di SMP Negeri 30 Bekasi. *Madrasah: Journal on Education and Teacher Professionalism*, 3(2), 1–8.
- Nurfadillah, S., Yulisma, L., & Hardi, E. (2023). Implementasi model pembelajaran project-based learning (PjBL) menggunakan pola argumentasi terhadap kemampuan analisis siswa SMP pada mata pelajaran IPA. *J-KIP: Jurnal Keguruan dan Ilmu Pendidikan*, 4(3), 832–839. <https://doi.org/10.25157/j-kip.v4i3.11406>
- Pare, A., & Sihotang, H. (2023). Pendidikan holistik untuk mengembangkan keterampilan abad 21 dalam menghadapi tantangan era digital. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 27778–27787.
- Partono, P., Wardhani, H. N., Setyowati, N. I., Tsalitsa, A., & Putri, S. N. (2021). Strategi meningkatkan kompetensi 4C (critical thinking, creativity, communication, & collaborative). *Jurnal Penelitian Ilmu Pendidikan*, 14(1), 41–52. <https://doi.org/10.21831/jpipfip.v14i1.35810>
- Patras, Y. E., Yolanita, C., Wildan, D. A., & Fajrudin, L. (2024). Pembelajaran berbasis STEM di sekolah dasar guna meningkatkan kemampuan berpikir kritis dalam rangka menyongsong pencapaian kompetensi siswa abad 21. *Kalam Cendekia: Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 12(2), 857–867. <https://doi.org/10.20961/jkc.v12i2.87662>
- Prihatini, R. S. T. (2023). Pembelajaran berdiferensiasi dalam konteks ilmu pengetahuan alam di SMP: Kajian literatur. *Pendekar: Jurnal Pendidikan Berkarakter*, 1(6), 179–186. <https://doi.org/10.51903/pendekar.v1i6.499>
- Puspitarini, D. (2022). Blended learning sebagai model pembelajaran abad 21. *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, 7(1), 1–6. <https://doi.org/10.51169/ideguru.v7i1.307>
- Rahmadhea, S. (2024). Pemanfaatan game edukasi untuk meningkatkan minat dan pemahaman siswa dalam pembelajaran sains. *Journal Sains and Education*, 2(2), 33–39. <https://doi.org/10.59561/jse.v2i02.380>

- Ramadani, A., Rohmaniah, H. F., Syafitri, D. L., Hermawan, C., & Mustikawati, A. (2025). Perspektif guru tentang rancangan pembelajaran yang berpusat pada siswa (student-centered learning). *Biologiei Educatia: Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(1), 59–68. <https://doi.org/10.62734/be.v5i1.406>
- Ramadhani, F. (2020). Penerapan model pembelajaran project-based learning untuk meningkatkan hasil belajar IPA dalam pembelajaran daring di kelas IX SMP. *Jurnal Pelita Pendidikan*, 8(4), 237–243. <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/pelita/index>
- Romadhon, D. W. S. (2024). Kemampuan komunikasi dan berpikir kreatif peserta didik pada materi organisasi kehidupan melalui penerapan model project-based learning (PjBL). *Proceeding Universitas Muhammadiyah Surabaya*, 1(1), 252–260. <https://doi.org/10.30651/pc.v1i1.24079>
- Salsabila, S. N., & Yuliani, Y. (2024). Pengembangan buku saku digital berbasis TPACK learning model collaborative learning materi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan untuk melatih keterampilan berpikir kritis siswa. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 13(3), 674–683. <https://doi.org/10.26740/bioedu.v13n3.p674-683>
- Shaumuristi, S. S., Fisabilillah, Q. P., Ilma, R., Wahyuni, S., & Susiani, S. (2025). Implementasi model PjBL pada materi bioteknologi untuk meningkatkan literasi sains siswa kelas IX di SMP Negeri 4 Jember. *Media Didaktika: Jurnal Ilmiah Pendidikan dan Pembelajaran*, 11(1), 60–65. <https://doi.org/10.52166/didaktika.v11i1.9411>
- Simangunsong, W. N. A. (2024). Pemanfaatan e-learning untuk fleksibilitas pembelajaran dan mudah mendapatkan kebutuhan informasi di mana saja. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, 1(6), 492–499. <https://doi.org/10.59837/jpnmb.v1i6.91>
- Sofyan, N. A., Hamka, L., & Saleh, A. R. (2018). Keefektifan penerapan model pembelajaran berbasis proyek terhadap kemampuan pemecahan masalah peserta didik pada materi bioteknologi. *Jurnal Nalar Pendidikan*, 6(1), 14–23. <https://doi.org/10.26858/jnp.v6i1.6038>
- Yolida, B., & Priadi, M. (2021). Pengaruh model pembelajaran inkuiri terbimbing berbasis kearifan lokal terhadap kemampuan berpikir kreatif peserta didik pada materi bioteknologi. *Jurnal Bioterdidik: Wahana Ekspresi Ilmiah*, 9(2), 38–48. <https://doi.org/10.23960/jbt.ix.ii.05>
- Zetkas, E., Harahap, F., & Edi, S. (2016). Analisis pemahaman dan kesulitan belajar siswa materi bioteknologi berdasarkan indikator kelas IX SMP se-Kota Padang Sidempuan. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(3), 154–159.