



## Strategi Pembelajaran pada Materi Biomolekuler dan Bioteknologi

Shopiah Dhuha Siregar<sup>1✉</sup>, Kartika Nahdiyati<sup>2</sup>, Anggia Fitri Damayanti<sup>3</sup>, Kusnadi<sup>4</sup>, Taufik Rahman<sup>5</sup>

Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia<sup>1,2,3,4,5</sup>

e-mail : [dhuhashopiah@gmail.com](mailto:dhuhashopiah@gmail.com)<sup>1</sup>, [kartikanahdiyati@upi.edu](mailto:kartikanahdiyati@upi.edu)<sup>2</sup>, [anggiafitrid@upi.edu](mailto:anggiafitrid@upi.edu)<sup>3</sup>, [kusnadi@upi.edu](mailto:kusnadi@upi.edu)<sup>4</sup>, [taufikrahman@upi.edu](mailto:taufikrahman@upi.edu)<sup>5</sup>

### Abstrak

Biomolekuler dan bioteknologi merupakan dua bahasan yang penting dalam pembelajaran biologi, untuk membekali siswa pemahaman biomolekuler dan bioteknologi yang baik diperlukan strategi pembelajaran yang efektif berupa pendekatan, model, metode, dan media pembelajaran yang digunakan di dalam kelas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis strategi pembelajaran yang telah diimplementasikan dalam mempelajari bioteknologi dan biomolekuler. Metode penelitian yang digunakan adalah kajian literatur dengan menganalisis strategi pembelajaran pada materi biomolekuler dan bioteknologi. Analisis kajian literatur dilakukan dengan mengumpulkan publikasi dari Google Scholar dengan periode 10 tahun terakhir. Hasil analisis strategi pembelajaran dijabarkan secara rinci, meliputi pendekatan pembelajaran, model pembelajaran, metode pembelajaran, dan media pembelajaran yang mendukung pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi akan lebih efektif dengan pendekatan kontekstual, model *problem based learning*, metode diskusi dan tanya jawab, serta didukung oleh media pembelajaran *augmented reality*. Kajian mengenai strategi pembelajaran ini diharapkan dapat menjadi landasan dalam pemilihan dan penggunaan strategi pembelajaran yang paling baik dan efektif digunakan pada materi pokok bioteknologi dan biomolekuler.

**Kata Kunci:** strategi pembelajaran, biomolekuler, bioteknologi

### Abstract

*Biomolecular and biotechnology are two important topics in biology learning, to equip students with a good understanding of biomolecular and biotechnology, effective learning strategies are needed in the form of approaches, models, methods, and learning media used in the classroom. This study aims to review and analyze the learning strategies implemented in studying biotechnology and biomoleculars. The research method used is a literature review analyzing learning strategies on biomolecular and biotechnology materials. The literature review analysis was conducted by collecting publications from Google Scholar in the last 10 years period. The results of the study of learning strategies are described in detail, including learning approaches, learning models, learning methods, and learning media that support biomolecular and biotechnology learning. The analysis shows that biomolecular and biotechnology learning will be more effective with a contextual approach, problem-based learning model, discussion and question and answer methods, and supported by augmented reality learning media. The study of learning strategies is expected to be the basis for the selection and use of learning strategies that are best and most effectively used on the subject matter of biotechnology and biomoleculars.*

**Keywords:** learning strategy, biomolecular, biotechnology

Copyright (c) 2024 Shopiah Dhuha Siregar, Kartika Nahdiyati, Anggia Fitri Damayanti, Kusnadi, Taufik Rahman

✉ Corresponding author :

Email : [dhuhashopiah@gmail.com](mailto:dhuhashopiah@gmail.com)

DOI : <https://doi.org/10.31004/edukatif.v6i5.7031>

ISSN 2656-8063 (Media Cetak)

ISSN 2656-8071 (Media Online)

## PENDAHULUAN

Bioteknologi merupakan bidang ilmu luas yang melibatkan aktivitas kerja dari sel hidup atau senyawa yang dihasilkan darinya yang kemudian dimanfaatkan dalam berbagai alat dan teknologi yang bertujuan untuk kesejahteraan manusia, bioteknologi juga dijelaskan sebagai kombinasi dari berbagai ilmu biologi dan juga teknik di mana makhluk hidup, sel, atau bagiannya digunakan untuk menghasilkan produk dan layanan (Gupta et al., 2016). Prinsip dasar dari bioteknologi adalah penggunaan organisme hidup atau komponennya (sel, enzim atau protein) dalam menciptakan produk baru atau suatu proses (Bentahar et al., 2023). Bioteknologi harus dipahami dan dikuasai siswa dengan baik, hal ini disebabkan oleh teknologi yang telah dan akan terintegrasi ke dalam seluruh elemen kehidupan sehingga sangat penting bagi siswa sebagai generasi muda untuk memahami bioteknologi.

Pembelajaran dan pemahaman bioteknologi pada sekolah di Indonesia mengalami berbagai masalah dan kesulitan. Penelitian (Zulpadly et al., 2016) menunjukkan banyaknya siswa yang tidak dapat mencapai kriteria ketuntasan pada setiap sub bab materi bioteknologi. Bioteknologi menjadi topik yang relatif sulit bagi guru dan siswa dikarenakan agar dapat memahami ilmu ini, diperlukan pemahaman ilmu-ilmu dasar yang sebagian besar bersifat abstrak (Purwianingsih et al., 2009). Karakteristik materi bioteknologi yang relatif sulit, debatable dan sangat abstrak (Todd & Murphy, 2003) serta multidisipliner, aplikatif dan terus berkembang (Purwianingsih et al., 2009) menyebabkan materi sulit untuk dipahami dan dibelajarkan dengan tepat. Terdapat empat faktor yang membatasi pembelajaran bioteknologi yakni kurangnya keahlian guru, kurangnya waktu mengajar, kurangnya sumber dan materi kurikulum serta aktivitas belajar mengajar yang tidak sesuai untuk membelajarkan bioteknologi (Dawson & Schibeci, 2003).

Biomolekuler merupakan ilmu multidisipliner yang mencakup biologi sel, biokimia dan genetika yang mempelajari aktivitas biologi pada level molekuler, termasuk interaksi antara perbedaan tipe DNA, RNA, protein, dan biosintesisnya (Wahyudi, 2015). Biologi molekuler juga merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari hubungan antara struktur dan fungsi molekul-molekul hayati serta kontribusi hubungan tersebut terhadap pelaksanaan dan pengendalian berbagai proses biokimia (Kartini et al., 2023). Pemahaman biomolekuler akan menjadi dasar untuk memahami cabang ilmu biologi lainnya. Pemahaman struktur sel sangat esensial untuk memahami bioteknologi yang melibatkan pengetahuan struktur sel seperti kultur sel dan jaringan, pembelahan sel dan fisiologi sel juga menjadi dasar untuk memahami bioteknologi dan genetika (Adhikarla et al., 2019). Pemahaman mengenai sel dan enzim juga menjadi dasar dalam memahami hampir semua cabang ilmu biologi lain. Sehingga dapat disimpulkan bahwa siswa perlu memahami materi biomolekuler agar dapat memahami materi biologi lainnya. Sama halnya dengan bioteknologi, pembelajaran biomolekuler mengalami berbagai kendala dan kesulitan.

Penelitian Dreyfus & Jungwirth dalam (Gregers et al., 2021) menyatakan bahwa siswa sekolah menengah pertama menganggap sel hidup bersifat abstrak, dan sel sering kali disajikan sebagai “blok bangunan” suatu organisme, yang mengarah pada gagasan bahwa sel adalah unit fisiologis di dalam tubuh daripada unit yang saling berhubungan yang membentuk seluruh tubuh. Siswa sulit memahami materi biomolekuler terkhusus materi pembelahan sel disebabkan oleh materi yang abstrak, objek yang sulit diamati secara langsung, serta banyaknya konsep yang harus dipahami siswa (Ifatrizah & Mellisa, 2022). Karakteristik materi yang mengandung banyak konsep dan istilah, sangat abstrak dan multidisipliner menjadi kendala dalam pembelajaran biomolekuler.

Strategi belajar yang tepat dan sesuai dengan karakteristik materi diperlukan agar dihasilkan proses pembelajaran dan membelajarkan yang efektif baik bagi guru maupun siswa. Pembelajaran akan lebih efektif jika guru memahami strategi pembelajaran yang tepat untuk materi yang dibelajarkan, analisis pedagogi diperlukan untuk mengidentifikasi strategi pembelajaran yang efektif dalam mengajarkan materi biologi tertentu (Zidan et al., 2023). Kajian pedagogi yang mendalam dalam memetakan strategi pembelajaran yang

telah diimplementasikan dalam mempelajari bioteknologi dan biomolekuler diharapkan dapat membantu guru untuk menemukan cara yang tepat dan paling sesuai dalam membelajarkan kedua materi ini. Kajian pedagogi dalam penelitian ini meliputi kajian mengenai model, metode, media dan pendekatan yang digunakan dalam pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi. Kajian mendalam mengenai strategi pembelajaran yang telah dilakukan adalah pada materi ekosistem dan pencemaran lingkungan (Zidan et al., 2023). Kajian dan analisis mengenai strategi pembelajaran pada materi biomolekuler dan bioteknologi belum banyak dilakukan, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis strategi pembelajaran yang telah diimplementasikan dalam mempelajari bioteknologi dan biomolekuler.

## METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah kajian literatur (*literature review*) mengenai pembelajaran materi biomolekuler dan bioteknologi. Tinjauan pustaka secara luas dapat digambarkan sebagai cara yang sistematis dalam mengumpulkan dan mensintesis penelitian sebelumnya. Tinjauan yang efektif dan dilakukan dengan baik sebagai metode penelitian menciptakan landasan yang kuat untuk memajukan pengetahuan dan memfasilitasi pengembangan teori (Webster & Watson, 2002). Analisis kajian literatur dilakukan dengan mengumpulkan publikasi dari *google scholar* dengan periode 10 tahun terakhir. Kriteria yang digunakan adalah artikel merupakan hasil penelitian baik skala kelas atau laboratorium dengan partisipan dari jenjang SMA hingga perguruan tinggi, pada materi biomolekuler dan bioteknologi, serta terindex Q1-Q3 atau Sinta 1-Sinta 5 artikel yang memenuhi kriteria kemudian akan dianalisis sebagai bahan kajian tentang bagaimana biomolekuler dan bioteknologi diajarkan di dalam kelas. Dengan mengintegrasikan temuan dan perspektif dari banyak temuan empiris, tinjauan pustaka dapat menjawab pertanyaan penelitian dengan kekuatan yang tidak dimiliki oleh penelitian sebelumnya (Snyder, 2019).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian dilakukan pada penelitian-penelitian yang berfokus pada pembelajaran bioteknologi dan biomolekuler. Hasil kajian menunjukkan bahwa telah dilakukan berbagai strategi pembelajaran pada bioteknologi dan biomolekuler baik di Indonesia maupun di luar negeri. Berikut disajikan hasil kajian strategi pembelajaran pada materi bioteknologi dan biomolekuler.

**Tabel 1. Kajian Penelitian-Penelitian dalam Pembelajaran Bioteknologi dan Biomolekuler**

Author	Jurnal	Fokus Penelitian
(Utomo et al., 2020)	International Journal of Instruction	Modul bioteknologi berbasis STEAM yang dilengkapi dengan Animasi <i>Flash</i>
(Haro et al., 2019)	Journal of Biological Education	Lingkungan Pembelajaran Online dengan <i>Worked Example</i> dan <i>Peer Feedback</i>
(Johann et al., 2024)	Journal of Biological Education	<i>Students' Thinking Pathways</i> dalam Materi Membrane Cell sebagai Evaluasi Pembelajaran Berbasis <i>Model of Educational Reconstruction</i>
(Yap et al., 2021)	Biochemistry and Molecular Biology Education	Penggunaan <i>Virtual Laboratory Simulations</i> pada Pembelajaran Bioteknologi
(Membrillo-Hernández et al., 2019)	IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)	<i>Challenge Based Learning Strategy</i> dalam Pembelajaran Bioteknologi

Author	Jurnal	Fokus Penelitian
(de Oliveira & Galembeck, 2016)	Journal of Biological Education	<i>Mobile Applications</i> yang dapat Digunakan dalam Pembelajaran Biologi Sel
(Sadler et al., 2016)	International Journal of Science Education	<i>Socio-Scientific Issues-Based Instruction</i> pada Pembelajaran Bioteknologi
(Bielik & Yarden, 2016)	International Journal of STEM Education	Mempelajari <i>Research-Question-Asking</i> Pada konteks pembelajaran bioteknologi berbasis <i>Innovative Inquiry-Oriented Program</i>
(Sofia et al., 2020)	JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)	Modul STEAM dilengkapi dengan Game Bioteknologi
(Fatmah, 2021)	Pedagonal (Jurnal Ilmiah Pendidikan)	Pembelajaran Bioteknologi dengan PJBL Berbasis STEAM
(Mantilla et al., 2023)	Jurnal Pendidikan IPA Indonesia (JPIPA)	Pengembangan <i>DIVTCELL APP: Gamifying Eukaryotic Cell Division</i>
(Fitriani et al., 2017)	Jurnal Pendidikan Biologi (BIOSFERJPB)	Modul Pembelajaran Berbasis Sains Teknologi Dan Masyarakat (STM) Pada Konsep Bioteknologi
(Marcellina et al., 2023)	BIOEDUSAINS:Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains	Pengembangan <i>E-Booklet</i> Lemea Lebong sebagai Media Pembelajaran Materi Bioteknologi untuk Siswa SMP
(Suratno et al., 2020)	International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)	Pengembangan Model Pembelajaran Bioteknologi Inovatif Terintegrasi <i>Life-Based Learning</i> Berbasis Kearifan Lokal
(Aisa et al., 2023)	Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPIPA)	Model pembelajaran <i>Problem-Based Learning</i> Bermuatan Kearifan Lokal Jruak Drien Aceh
(Fakinah et al., 2018)	Prosiding Seminar Nasional Biotik	Pembelajaran Berbasis Praktikum pada Sub Materi Enzim
(Reflina, 2020)	Jurnal Ilmiah Dikdaya	Model Pembelajaran Kooperatif <i>Picture and Picture</i> pada Materi Pembelahan Sel
(Haryanto et al., 2017)	Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi (JUSTIN)	Aplikasi Augmented Reality sebagai Media Pembelajaran pada Materi Pembelahan Sel
(Nurfadilah et al., 2024)	Jurnal Pemikiran dan Pengembangan Pembelajaran	Model Pembelajaran Discovery pada Materi Konsep Enzim
(Hendriana, 2023)	Berajah Journal	Model Problem Based Learning pada Materi Bioteknologi

Strategi pembelajaran yang digunakan dan dikembangkan terdiri atas model, media, bahan ajar dan metode. Strategi-strategi ini digunakan untuk mengembangkan berbagai variabel-variabel berupa keterampilan-keterampilan tertentu yang dapat dicapai dan dikembangkan siswa melalui pembelajaran bioteknologi maupun biomolekuler. Keterampilan tersebut di antaranya adalah keterampilan *problem solving*, *self directed learning skill*, *thinking pathways*, *asking of research questions*, pengetahuan, kinerja belajar, hasil belajar, motivasi belajar, *argumentative essay writing*, pencapaian akademik dan kreativitas. Beberapa penelitian berfokus pada pengembangan-pengembangan yang bermuatan materi bioteknologi dan biomolekuler. Pengembangan tersebut diantaranya adalah pengembangan bahan ajar baik berupa Modul berbasis STM, Modul berbasis STEAM yang dilengkapi animasi, Modul STEAM dengan game, E-Modul, E-

*Booklet*, pengembangan aplikasi pembelajaran berbasis android, pengembangan model pembelajaran berbasis *life-based learning* dan kearifan lokal. Penelitian lainnya mengeksplorasi berbagai jenis aplikasi pembelajaran berbasis *smartphone* serta pemakaian *virtual laboratory* pada periode tertentu.

### Pendekatan Pembelajaran Biomolekuler dan Bioteknologi

Pendekatan pada pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi akan memudahkan guru untuk menjelaskan konsep biomolekuler dan bioteknologi yang kompleks, abstrak, dan sulit dipahami siswa. Hasil kajian dan analisis mengenai pendekatan pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi disajikan pada tabel 2.

**Tabel 2. Hasil Analisis Pendekatan Pembelajaran Biomolekuler dan Bioteknologi**

Pendekatan	Deskripsi
<b>Kontekstual</b> (Aisa et al., 2023); (Fitriani et al., 2017); (Marcellina et al., 2023); (Mantilla et al., 2023); (Fatmah, 2021); (Bielik & Yarden, 2016); (Haro et al., 2019)	Pendekatan kontekstual dapat memberikan dampak positif dalam meningkatkan kemampuan belajar siswa pada materi biomolekuler dan bioteknologi. Selain meningkatkan kemampuan belajar, pendekatan kontekstual juga mampu mengembangkan kreativitas siswa pada materi biomolekuler dan bioteknologi. Manfaat lainnya yaitu melatih siswa berpikir kritis dan mampu menyelesaikan masalah.
<b>Kontekstual Berbasis Kearifan Lokal</b> (Suratno et al., 2020)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan kontekstual berbasis kearifan lokal dalam pembelajaran bioteknologi merupakan pendekatan yang valid, efektif, dan efisien untuk digunakan.
<b>Lingkungan</b> (Yap et al., 2021)	Pendekatan lingkungan menjadi aspek penting dalam penelitian ini karena menitikberatkan pada penggunaan lingkungan simulasi virtual dalam pembelajaran di kelas. Hal ini meningkatkan kepercayaan diri siswa dalam keterampilan laboratorium dan dapat diterapkan dalam situasi nyata.
<b>Konsep</b> (Johann et al., 2024)	Dengan penggunaan analogi, siswa berhasil merevisi konsep terkait biomolekuler (sel). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan analogi dengan pendekatan konsep dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa pada pelajaran biologi, khususnya pada konsep membran sel.
<b>Socio-Scientific Issue / SSI</b> (Sadler et al., 2016)	Pendekatan SSI atau <i>socioscientific issue</i> meningkatkan pembelajaran sains, termasuk pada konsep bioteknologi. Pengetahuan siswa terhadap suatu konten diketahui mengalami peningkatan yang signifikan dengan pendekatan SSI.
<b>Terintegratif</b> (de Oliveira & Galembeck, 2016); (Sofia et al., 2020); (Utomo et al., 2020)	Pendekatan terintegratif melibatkan berbagai disiplin ilmu. Penggunaan modul yang dipadukan dengan pendekatan terintegratif memberikan pengalaman pembelajaran yang komprehensif dan mendalam bagi siswa dalam memahami biomolekuler dan bioteknologi.

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 2, terdapat beberapa pendekatan yang digunakan dalam pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi, yaitu pendekatan kontekstual, pendekatan kontekstual berbasis kearifan lokal, pendekatan lingkungan, pendekatan konsep, pendekatan *socio-scientific issue* (SSI), dan pendekatan terintegratif. Sebanyak 53% penelitian yang dianalisis menggunakan pendekatan kontekstual dalam membelajarkan konsep biomolekuler dan bioteknologi. Hal ini berkaitan dengan manfaat dan keunggulan dari pendekatan kontekstual. Menurut (Widodo, 2021) pendekatan kontekstual berarti membawa fenomena atau kejadian di sekitar siswa ke dalam konteks pembelajaran di kelas. Pendekatan kontekstual akan memberikan pemahaman yang lebih dalam bagi siswa, sehingga menjadi pendekatan yang paling efektif untuk membelajarkan konsep biomolekuler dan bioteknologi.

### Model Pembelajaran Biomolekuler dan Bioteknologi

Berdasarkan hasil studi literatur terhadap artikel yang ditemukan, terdapat beberapa penggunaan model pembelajaran dalam membelajarkan biomolekuler dan bioteknologi. Model pembelajaran merupakan kerangka dasar pelaksanaan pembelajaran yang berisi langkah-langkah bagaimana pembelajaran akan dilaksanakan untuk mencapai tujuan pembelajaran (Widodo, 2021). Tujuan yang hendak dicapai harus dapat menggabungkan pengetahuan secara utuh mulai dari pengetahuan ilmiah, proses ilmiah dan sikap ilmiah. Model pembelajaran yang teridentifikasi dijelaskan pada tabel 3.

**Tabel 3. Hasil Analisis Model Pembelajaran Biomolekuler dan Bioteknologi**

Model	Deskripsi
<b>Inkuiri</b> (Bielik & Yarden, 2016)	Siswa diarahkan untuk dapat membuat pertanyaan penelitian yang mengarahkan mereka untuk melaksanakan inkuiri. Untuk meningkatkan kemampuan membuat pertanyaan, dikembangkan aktivitas <i>peer-critique</i> . Dimana setiap kelompok akan menulis tiga pertanyaan penelitian, kemudian berdiskusi untuk memilih satu pertanyaan. Setelah itu siswa saling bertukar dengan teman satu kelas, untuk kemudian memberi tanggapan dan komentar. Strategi pembelajaran yang digunakan akan memusatkan pembelajaran pada siswa sehingga meningkatkan kemampuan siswa untuk bertanya dan mengarahkan pada kegiatan inkuiri yang efektif.
<b>STEAM learning</b> <i>based with biotechnology games</i> (Sofia et al., 2020)	Modul IPA berbasis STEAM dilengkapi dengan permainan bioteknologi layak dan efektif untuk digunakan dalam meningkatkan pembelajaran IPA Bioteknologi.
<b>Game learning</b> (Mantilla et al., 2023)	Siswa mengeksplorasi konsep mitosis dan meiosis melalui catatan konsep, video, tantangan dan pertanyaan, serta permainan lain di aplikasi. Permainan ini bertujuan untuk menyelesaikan semua tugas agar dapat mencapai skor tertinggi. Elemen permainan membantu mengubah cara pandang siswa dalam belajar dan membantu mempelajari topik-topik abstrak dan kompleks. Siswa menganggap lencana (skor) yang diberikan setelah setiap level terpenuhi sebagai dorongan motivasi untuk berusaha lebih keras dalam belajar.
<b>STEAM Project Learning (PJBL)</b> (Fatmah, 2021)	Model STEAM berbasis PJBL merupakan proses pembelajaran yang mendorong peserta didik memahami konsep dengan menggali kemampuan peserta didik sedemikian rupa sehingga kreativitas peserta didik bisa tergali dan meningkat. Sains sebagai dasar pengetahuan tentang kompetensi dasar yang dipelajari yaitu bioteknologi, teknologi engineering terapan dalam pembuatan inovasi produk bioteknologi, <i>art</i> bisa dilihat dari kreativitas bentuk maupun ukuran produk bioteknologi, dan matematika berperan untuk menentukan komposisi atau takaran yang tepat untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan yang diharapkan.
<b>Analogy-based learning</b> (Johann et al., 2024)	Konsep membran sel dibelajarkan melalui ekspresi linguistik (misalnya ‘membran sel adalah penghalang’), dan juga melalui model lain, seperti diagram, penggambaran dan model (misalnya model mozaik fluida). Kegiatan pembelajaran berbasis analogi dapat mendorong pengembangan konseptual siswa mengenai istilah dan pernyataan yang mereka gunakan untuk menjelaskan konsep membran sel. Penggunaan ekspresi linguistik ini dapat membantu siswa untuk menghubungkan analogi dengan konsepsi membran sel yang komprehensif.
<b>Discovery Learning</b> (Yap et al., 2021)	Siswa belajar melalui <i>Labster Cell Culture basic simulation</i> , dimana siswa diarahkan untuk menemukan pengetahuannya secara mandiri melalui simulasi dan gamifikasi. Siswa dapat menghubungkan teori mengenai kultur sel hewan termasuk pemeliharaan kultur sel, kultur primer, pengujian sitotoksitas sel dengan melakukan praktik dan memvisualisasi prosedur.
<b>Problem based</b>	Masalah yang dibahas dalam pembelajaran adalah “munculnya strain baru penyakit

Model	Deskripsi
<b>learning</b> berbasis SSI (Sadler et al., 2016)	virus menular seksual”. Siswa diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan terkait bagaimana strain baru penyakit menular seksual akan berdampak pada individu dan komunitas, serta bagaimana bioteknologi dapat digunakan untuk mengidentifikasi agen penyebab penyakit. Studi menguatkan integrasi <i>socio scientific issues</i> adalah cara untuk menjadikan proses permasalahan dapat mengatasi masalah global dan menjadikan sains relevan dan menarik bagi siswa.
<b>Problem based learning</b> berbasis kearifan lokal (Aisa et al., 2023)	Kemampuan pemecahan masalah siswa meningkat setelah diterapkannya pembelajaran berbasis masalah yang mengandung unsur lokal. Dalam pembelajaran berbasis masalah ini, siswa membuat makanan kering tradisional Jruék yang saat ini mulai ditinggalkan oleh masyarakat. Bahan utama untuk membuat Jruék drien adalah buah durian. Selama proses pembuatan Jruék drien, siswa diberikan kebebasan untuk merancang cara pembuatan Jruék drien berdasarkan informasi yang mereka peroleh.
<b>Problem based learning</b> dengan <i>worked example</i> dan <i>peer feedback</i> (Haro et al., 2019)	Siswa diberi topik ‘Biomassa sel serangga yang terinfeksi baculovirus hasil rekayasa genetika adalah alternatif daging yang sehat’, dan masing-masing siswa mengembangkan esai argumentatif untuk memposisikan diri serta memberikan solusi atas permasalahan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan <i>worked example</i> yang dibuat siswa dapat meningkatkan kemampuan argumentasi dan mendukung pemahaman mengenai bioteknologi.
<b>Life-based Learning with Local Wisdom</b> (Suratno et al., 2020)	Mengintegrasikan pembelajaran berbasis kehidupan dengan kearifan lokal adalah langkah untuk mempersiapkan siswa menjadi masyarakat yang memiliki daya saing tinggi dan potensi unggul dalam meningkatkan kehidupan ekonomi sehari-hari. Integrasi ini juga mendorong siswa untuk memperoleh pengetahuan atau keterampilan sepanjang hidup melalui pendidikan, pelatihan, pengalaman kerja, dan kehidupan sehari-hari. Tanggapan siswa dan guru terhadap pembelajaran berbasis kehidupan yang menggabungkan kearifan lokal serta pembelajaran literasi bioteknologi sangat positif.

Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa terdapat beberapa model yang terbukti efektif dalam meningkatkan motivasi dan pengetahuan. Diantaranya model yang paling banyak digunakan adalah *problem based learning* dan *project based learning*. Model tersebut memiliki banyak potensi untuk dapat dieksplorasi dalam membelajarkan biomolekuler dan bioteknologi. Hal ini dikarenakan makhluk hidup yang terus berevolusi dapat menyebabkan banyak permasalahan baru yang menarik untuk dipelajari. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Safithri et al., 2021) yang melakukan penelitian terkait pengaruh penerapan pembelajaran berbasis masalah (PBL) dan pembelajaran berbasis proyek (PjBL) pada pemecahan masalah kemampuan berdasarkan efikasi diri siswa. Selain itu, beberapa diantaranya menggunakan pembelajaran berbasis *game*. Hasil penelitian (Mantilla et al., 2023) belajar dengan menggunakan permainan akan membantu siswa mempelajari topik-topik yang abstrak dan kompleks dengan lebih menyenangkan. Permainan juga dapat meningkatkan motivasi untuk berusaha lebih keras dalam belajar. Berdasarkan hasil kajian, maka *problem based learning* merupakan model pembelajaran yang cocok terutama untuk materi bioteknologi, karena materi bioteknologi merupakan materi yang multidisipliner, aplikatif dan terus berkembang (Purwianingsih et al., 2009).

### Metode Pembelajaran Biomolekuler dan Bioteknologi

Metode pembelajaran merupakan hal yang krusial dalam kegiatan pembelajaran. Menurut (Dewi, 2018) banyak metode pembelajaran yang bisa dikembangkan dan diperkenalkan kepada siswa untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran. Berdasarkan hasil kajian dan analisis pada penelitian terdahulu, terdapat beberapa metode pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi yang sering digunakan guru di sekolah. Metode pembelajaran dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4. Hasil Analisis Metode Pembelajaran Biomolekuler dan Bioteknologi**

Metode	Deskripsi
<b>Diskusi</b> (Marcellina et al., 2023); (Suratno et al., 2020); (Sadler et al., 2016)	Metode diskusi dapat digunakan dalam pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi karena memungkinkan siswa untuk terlibat secara aktif dalam kegiatan pembelajaran, sehingga siswa mampu memahami konsep biomolekuler dan bioteknologi dengan lebih baik. Metode diskusi dapat dipadukan dengan penggunaan e-booklet yang mengandung pertanyaan untuk diskusi, atau membahas konteks isu sosiosaintifik ( <i>socioscientific issue</i> ).
<b>Tanya jawab</b> (Bielik & Yarden, 2016); (Suratno et al., 2020); (Johann et al., 2024)	Metode tanya jawab dalam pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi menekankan pada komunikasi dua arah, yaitu ada pihak yang bertanya dan ada pihak yang menjawab. Metode tanya jawab membantu siswa agar lebih memahami materi, memperjelas konsep, dan menumbuhkan sikap kolaborasi.
<b>Praktikum</b> (Aisa et al., 2023); (Yap et al., 2021)	Metode praktikum dapat digunakan dalam pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi, misalnya dengan melakukan praktikum berbasis kearifan lokal, atau melakukan praktikum virtual menggunakan perangkat lunak ( <i>virtual labs</i> ).
<b>Proyek</b> (Fatmah, 2021); (Haro et al., 2019)	Metode proyek dapat digunakan dalam pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi, misalnya memadukan antara <i>science</i> , <i>technology</i> , <i>engineering</i> , dan <i>mathematics</i> (STEM) dalam proyek berbasis konsep biomolekuler dan bioteknologi.

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 4, terdapat beberapa metode pembelajaran yang digunakan dalam pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi, yaitu metode diskusi, tanya jawab, praktikum, dan proyek. Metode diskusi dan tanya jawab menekankan pada pemahaman konsep yang lebih mendalam, sehingga cocok digunakan dalam pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi yang mengandung hal-hal abstrak. Metode praktikum cocok digunakan dalam pembelajaran bioteknologi konvensional, termasuk praktikum yang melibatkan kearifan lokal suatu daerah. Sedangkan metode proyek dapat digunakan untuk mengembangkan kemampuan siswa dalam mengaplikasikan konsep biomolekuler dan bioteknologi. Berdasarkan hasil kajian pada penelitian terdahulu didapatkan suatu kesimpulan, yaitu metode diskusi dan tanya jawab menjadi metode pembelajaran yang paling efektif untuk membelajarkan konsep biomolekuler dan bioteknologi.

### Media Pembelajaran Biomolekuler dan Bioteknologi

Berdasarkan hasil studi literatur terhadap artikel yang ditemukan, terdapat beberapa penggunaan media pembelajaran dalam membelajarkan biomolekuler dan bioteknologi. Media pembelajaran mencakup segala jenis bahan atau alat pendidikan yang mendukung proses belajar mengajar dengan menyampaikan informasi dan materi pembelajaran secara visual, audio, atau kombinasi keduanya (Dany et al., 2024). Media pembelajaran dapat berupa media cetak (seperti buku dan brosur), media elektronik (seperti presentasi, video, dan audio), atau media interaktif (seperti e-learning dan simulasi). Tujuan penggunaan media pembelajaran adalah untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi pelajaran dan kemampuan mereka dalam memahaminya. Media pembelajaran yang teridentifikasi dijelaskan pada tabel 5.

**Tabel 5. Hasil Analisis Media Pembelajaran Biomolekuler dan Bioteknologi**

Media	Deskripsi
Modul bioteknologi dengan animasi flash (Utomo et al., 2020)	Adanya animasi flash pada modul bioteknologi berbasis STEAM dapat meningkatkan hasil belajar siswa dalam menyajikan animasi pada materi bioteknologi modern yang tidak dapat dipraktikkan dan dilihat langsung oleh siswa. Melalui konten video berupa animasi flash siswa akan lebih mudah memahami materi karena adanya unsur audio visual.
Kartun, model sel	Siswa kesulitan membayangkan bahwa membran sel terdiri dari lipid amfifilik

Media	Deskripsi
membran dengan permen (Johann et al., 2024)	karena mereka tampaknya salah memahami hubungan antara lipid dan membran sel. Pembelajaran analogi dilakukan juga dengan beberapa pemodelan, salah satunya membuat kartun dan model sel dari permen. Hal ini meningkatkan kemampuan siswa dalam memilih analogi yang tepat dan meningkatkan pemahamannya.
Animasi realistik kultur sel hewan (Yap et al., 2021)	Simulasi laboratorium terstruktur yang berisi kasus dan animasi realistik, ditambah dengan penjelasan teoritis sangat membantu dalam memfasilitasi pemahaman teknik dan prinsip-prinsip yang mendasari kultur sel dan jaringan.
<i>DIVTCELL APP</i> : Gamifikasi pembelahan sel eukariotik (Mantilla et al., 2023)	Materi sel adalah materi yang kompleks yang bergantung pada aktivitas visual. Seperti diberitakan, elemen permainan membantu mengubah cara pandang siswa dalam belajar dengan bantuan teknologi. Selain itu, elemen permainan yang dimasukkan ke dalam platform pembelajaran membantu mempelajari topik-topik abstrak dan kompleks dengan lebih diinginkan dan mudah dikelola.
<i>Augmented Reality</i> (Haryanto et al., 2017)	<i>Augmented Reality</i> (AR) adalah teknologi dalam bidang multimedia yang bisa menampilkan objek 3D beserta animasinya yang seakan-akan ada pada lingkungan nyata. <i>Augmented Reality</i> juga memiliki kelebihan dari sisi interaktif karena menggunakan marker untuk menampilkan objek 3D tertentu yang diarahkan ke kamera. AR dapat menjadi alternatif media pembelajaran dalam materi pembelahan sel, serta dapat meningkatkan minat siswa dalam belajar.

Berdasarkan hasil analisis tentang penggunaan media dalam membelajarkan biomolekuler dan bioteknologi, dapat disimpulkan bahwa semua media yang digunakan bertujuan untuk menghadirkan materi yang sangat abstrak menjadi mudah dipahami oleh siswa. Hal ini dikarenakan materi biomolekuler dan bioteknologi merupakan materi yang abstrak, sulit dipahami secara langsung sehingga menyebabkan murid merasa sangat sulit untuk dipahami oleh siswa (Todd & Murphy, 2003; Gregers et al., 2021). Teknologi memiliki peran penting dalam menghadirkan media yang tepat, terutama menghadapi siswa dari generasi Z. Karakter siswa generasi Z memiliki motivasi dan keterlibatan dalam belajar yang rendah dan cenderung menyerah ketika menghadapi tantangan yang sulit (Seibert, 2021). Diantaranya dapat mengembangkan modul yang berbasis flash, aplikasi-aplikasi baru yang membuat struktur sel menjadi realistik, *Augmented reality*, bahkan VR (*Virtual Reality*). Integrasi media dan teknologi akan menjadi tepat untuk mengatasi masalah pembelajaran yang dianggap kompleks dan abstrak. Berdasarkan hasil kajian, maka *Augmented Reality* menjadi media yang memiliki potensi untuk dikembangkan dan efektif untuk membelajarkan biomolekuler dan bioteknologi.

### Strategi Pembelajaran Berdasarkan Hasil Penelitian

Strategi pembelajaran berdasarkan hasil penelitian didominasi oleh pengembangan bahan ajar ataupun teknologi pembelajaran. Pengembangan pertama adalah aplikasi DIVTCELL, efeknya terhadap pencapaian atau prestasi akademik siswa juga diteliti. Diketahui bahwa penggunaan aplikasi tersebut dapat meningkatkan motivasi siswa yang berdampak positif terhadap pencapaian akademik siswa. Terdapat pula pengembangan model pembelajaran bioteknologi berbasis *life-based learning* dan kearifan lokal yang telah teruji valid, efektif dan efisien serta dapat diimplementasikan di sekolah menengah atas. Pengembangan selanjutnya adalah *E-Booklet* yang dapat digunakan sebagai bahan ajar yang memudahkan siswa dan guru dalam melaksanakan pembelajaran bioteknologi.

Terdapat juga penelitian yang mengembangkan model berbasis sains, teknologi, masyarakat (STM) yang telah teruji dan dapat digunakan sebagai bahan ajar yang menunjang pembelajaran bioteknologi. Penelitian lain mengembangkan modul bioteknologi berbasis STEAM (*Science, Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*) dilengkapi animasi *flash* untuk pembelajaran biologi di SMA. Hasilnya

menunjukkan bahwa modul ini efektif digunakan dalam pembelajaran bioteknologi. Terdapat juga penelitian yang mengembangkan modul STEAM dengan game bioteknologi, hasil penelitian menunjukkan bahwa modul ini valid dan efektif dalam meningkatkan pembelajaran bioteknologi sehingga direkomendasikan penggunaannya. Penelitian lain menggunakan *augmented reality (AR)* sebagai media pembelajaran, *AR* terbukti dapat meningkatkan hasil belajar siswa.

Eksplorasi aplikasi *mobile phone* yang dapat digunakan untuk merepresentasikan dan mempelajari biologi sel menghasilkan data bahwa terdapat 97 aplikasi yang dapat digunakan untuk mempelajari model sel. 97 aplikasi tersebut dikategorikan menjadi aplikasi edukasi, games dan aplikasi obat-obatan. Eksplorasi lain dilakukan pada penggunaan *virtual laboratory* pada materi bioteknologi sebelum, ketika dan setelah pandemi COVID-19. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *virtual laboratory* dapat memberikan instruksi dan penjelasan yang jelas dan mendukung peningkatan yang signifikan dalam pembelajaran bioteknologi. Beberapa penelitian juga mengintegrasikan kearifan lokal pada strategi pembelajaran. Integrasi kearifan lokal dalam pembelajaran terbukti dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran sehingga direkomendasikan dalam pembelajaran bioteknologi maupun biomolekuler.

Implementasi *problem based learning* yang bermuatan kearifan lokal dapat meningkatkan hasil belajar, keterampilan memecahkan masalah serta *self-directed learning*. Penggunaan model pembelajaran *educational reconstruction* pada materi biomolekuler dapat membantu siswa memiliki pemahaman yang baik mengenai konsep membran sel serta dapat mengaitkan berbagai konsep-konsep dalam membrane sel secara koheren. Terdapat pula implementasi *socio-scientific issue (SSI)* yang digunakan dalam pembelajaran bioteknologi, penelitian ini mengemukakan bahwa pengajaran berbasis SSI dapat mendorong pembelajaran konten dan peningkatan kinerja evaluasi tingkat tinggi. Pembelajaran bioteknologi berbasis inquiry dapat meningkatkan kemampuan siswa untuk mengajukan pertanyaan penelitian (*research question*).

Model pembelajaran STEAM berbasis PJBL juga telah diimplementasikan dalam pembelajaran bioteknologi, hasilnya menunjukkan bahwa implementasi model ini dapat meningkatkan kreativitas siswa sekolah menengah atas. Implementasi pembelajaran daring dengan *worked examples* serta *peer feedback* juga telah dilakukan pada pembelajaran bioteknologi, hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi keduanya dalam pembelajaran daring dapat meningkatkan kualitas argumen serta memfasilitasi perolehan pengetahuan siswa. Implementasi model pembelajaran *problem based learning* pada pada hasil kajian ini dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah siswa.

Model pembelajaran lainnya yang digunakan adalah model *discovery learning*, model ini mampu meningkatkan hasil belajar siswa. Model lainnya yakni model pembelajaran kooperatif *picture and picture* juga dapat meningkatkan hasil belajar siswa pada materi pembelahan sel. Implementasi metode praktikum dalam membelajarkan materi enzim dapat meningkatkan hasil belajar dan mengembangkan keterampilan proses sains siswa. Guru dapat memilih untuk menggunakan strategi tertentu dalam pembelajaran bioteknologi dan biomolekuler untuk meningkatkan dan mengembangkan pengetahuan maupun keterampilan yang diinginkan dari siswa.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan kajian pada beberapa 20 penelitian yang telah dilakukan mengenai pembelajaran bioteknologi dan biomolekuler, diketahui bahwa pendekatan yang telah dilakukan dalam pembelajaran bioteknologi dan biomolekuler adalah kontekstual, lingkungan, konsep, *socio-scientific issue* dan terintegratif. Model pembelajaran yang telah dilakukan adalah inkuiri, STEAM, *game based learning*, *analogy based learning*, *discovery learning*, *problem based learning* dan *life-based learning*. Metode pembelajaran yang telah digunakan adalah diskusi, tanya jawab, praktikum dan proyek. Adapun media pembelajaran adalah media gambar, teks, model sel dan animasi yang disajikan dengan berbagai perantara

berupa modul, aplikasi, kartun dan *augmented reality*. Pembelajaran biomolekuler dan bioteknologi akan lebih efektif dengan menggunakan pendekatan kontekstual, model *problem based learning*, metode diskusi dan tanya jawab, serta didukung oleh media pembelajaran *Augmented Reality* (AR). Kajian dan analisis mendalam mengenai strategi pembelajaran ini diharapkan dapat menjadi landasan dalam pemilihan dan penggunaan strategi pembelajaran yang paling baik dan efektif digunakan pada materi pokok bioteknologi dan biomolekuler bagi guru maupun siswa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhikarla, P. S., Bhavanasi, P., & Bollapragada, R. S. (2019). Understanding Cell Biology. *International Journal of Research In Phytochemical And Pharmacological Sciences*, 1(1), 39–45. <https://doi.org/10.33974/ijrpps.v1i1.108>
- Aisa, R., Kusnadi, K., & Solihat, R. (2023). Application of Problem-Based Learning in Biotechnology Learning Contains Local Potential Jruak Drien Aceh to Improve Problem-Solving and Self-Directed Learning Skills of High School Students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 10128–10137. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.5047>
- Bentahar, S., Abada, R., Ykhlef, N., Soumia, B., Rofia, A., & Ykhlef, N. (2023). Biotechnology: Definitions, Types and Main Applications. *YAMER Digital*, 22(1), 563–575. <https://doi.org/10.37896/YMER22.04/49>
- Bielik, T., & Yarden, A. (2016). Promoting the asking of research questions in a high-school biotechnology inquiry-oriented program. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3–15. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0048-x>
- Dany, A., Rifan, H., & Suryandari, M. (2024). Peran Media Pembelajaran dalam Konteks Pendidikan Modern. *Cendekia Pendidikan*, 4(1), 91–100. <https://doi.org/10.9644/sindoro.v4i1.2933>
- Dawson, V., & Schibeci, R. (2003). Western Australian high school students' attitudes towards biotechnology processes. *Journal of Biological Education*, 38(1), 7–12. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655889>
- de Oliveira, M. L., & Galembeck, E. (2016). Mobile Applications in Cell Biology Present New Approaches for Cell Modelling. *Journal of Biological Education*, 50(3), 290–303. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1085428>
- Dewi, E. R. (2018). Metode Pembelajaran Modern Dan Konvensional Pada Sekolah Menengah Atas. *PEMBELAJAR: Jurnal Ilmu Pendidikan, Keguruan, Dan Pembelajaran*, 2(1), 44. <https://doi.org/10.26858/pembelajar.v2i1.5442>
- Fakinah, I., Taib, e va nauli, & Agustina, E. (2018). Penerapan Pembelajaran Berbasis Praktikum terhadap Keterampilan Proses Sains Siswa pada Sub Materi Enzim Di Kelas XII Mas Darul Aitami Aceh Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 735–741.
- Fatmah, H. (2021). Kreativitas Peserta Didik dalam Pembelajaran Bioteknologi dengan PJBL Berbasis STEAM. *Pedagonal : Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 5(1), 7–14. <https://doi.org/10.33751/pedagonal.v5i1.2574>
- Fitriani, D. E. N., Amelia, E., & Marianingsih, P. (2017). Penyusunan Modul Pembelajaran Berbasis Sains Teknologi dan Masyarakat (STM) pada Konsep Bioteknologi (Sebagai Bahan Ajar Siswa SMA Kelas XII). *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 10(2), 60–72. <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.10-2.8>
- Gregers, T. F., Lill, M. A. I., & Lunde, S. (2021). Students' understanding of the cell and cellular structures. *Nordic Studies in Science Education*, 17(2), 225–241.
- Gupta, V., Sengupta, M., Prakash, J., & Tripathy, B. C. (2016). Basic and Applied Aspects of Biotechnology. *Basic and Applied Aspects of Biotechnology*, 1–520. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0875-7>

- 5562 *Strategi Pembelajaran pada Materi Biomolekuler dan Bioteknologi - Shopiah Dhuha Siregar, Kartika Nahdiyati, Anggia Fitri Damayanti, Kusnadi, Taufik Rahman*  
DOI : <https://doi.org/10.31004/edukatif.v6i5.7031>
- Haro, A. V., Noroozi, O., Biemans, H. J. A., & Mulder, M. (2019). The effects of an online learning environment with worked examples and peer feedback on students' argumentative essay writing and domain-specific knowledge acquisition in the field of biotechnology. *Journal of Biological Education*, 53(4), 390–398. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1472132>
- Haryanto, T., Anra, H., & Pratiwi, H. S. (2017). Aplikasi Augmented Reality Sebagai Media pembelajaran Materi Pembelahan Sel dalam Mata Pelajaran Biologi. *Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi (JUSTIN)*, 5(2), 1–5.
- Hendriana, R. F. (2023). Meningkatkan Kemampuan Memecahkan Masalah dalam Pembelajaran Biologi Materi Bioteknologi Dengan Model PBL Pada Siswa Kelas XII MIPA 1 Di SMAN 3 Mataram Tahun Pelajaran 2022/2023. *Berajah Journal*, 3(2), 333–342. <https://doi.org/10.47353/bj.v3i2.166>
- Ifatrizah, & Mellisa. (2022). Analisis Kesulitan Belajar Siswa Kelas XII IPA SMA Negeri 9 Mandau Duri Pada Materi Reproduksi Sel. *Biology and Education Journal*, 2(2), 22–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.25299/baej.2022.11064>
- Johann, L. I., Rusk, F. K. H., Reiss, M. J., & Groß, J. (2024). Upper secondary students' thinking pathways in cell membrane biology—an evidence-based development and evaluation of learning activities using the Model of Educational Reconstruction. *Journal of Biological Education*, 58(1), 144–165. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2026805>
- Kartini, Anggraini, F. T., Khairuddin, Supardan, A. D., Darsono, K., Syahbanu, F., Malau, J., Megawati, Yulianti, E., Kasasiah, A., Ihsani, N., Wibowo, R. A., & Sukweenadhi, J. (2023). *Pengantar Biomolekuler*. Eureka Media Aksara.
- Mantilla, S. A. A., Macababat, L. A., Nasayao, R. D. S., & Walag, A. M. P. (2023). Design, development, and evaluation of divtcell app: Gamifying eukaryotic cell division and its effects on academic achievement. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 12(2), 199–207. <https://doi.org/10.15294/jpii.v12i2.43852>
- Marcellina, R. J., Karyadi, B., Parlindungan, D., Uliyandari, M., & Sutarno, M. (2023). Pengembangan E-Booklet Lemea Lebong sebagai Media Pembelajaran Materi Bioteknologi untuk Siswa SMP. *BIOEDUSAINS:Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 6(1), 110–119. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v6i1.5923>
- Membrillo-Hernández, J., Muñoz-Soto, R. B., Rodríguez-Sánchez, Á. C., Díaz-Quinonez, J. A., Villegas, P. V., Castillo-Reyna, J., & Ramírez-Medrano, A. (2019). Student engagement outside the classroom: Analysis of a challenge-based learning strategy in biotechnology engineering. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, 15, 617–621. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725246>
- Nurfadilah, A., Muis, A., & Rahma, S. (2024). Peningkatan Hasil Belajar Biologi Konsep Enzim Melalui Penerapan Model Pembelajaran Discovery pada Peserta Didik Kelas XI Biologi 3 SMA Negeri 2 Makassar. *Jurnal Pemikiran Dan Pengembangan Pembelajaran Peningkatan*, 6(2), 226–230. <https://doi.org/https://doi.org/10.31970/pendidikan.v6i2.1038>
- Purwianingsih, W., Rustaman, N. Y., & Redjeki, S. (2009). Identifikasi Kesulitan Pembelajaran Bioteknologi pada Guru SLTA se Jawa Barat. *Seminar Nasional Inovasi Biologi Dan Pendidikan Biologi Dalam Pengembangan Sumber Daya Manusia*, Juli, 12–42.
- Reflina, R. (2020). Penerapan Model Pembelajaran Kooperatif Picture and Picture dalam Meningkatkan Hasil Belajar Mata Pelajaran Biologi Materi Pokok Pembelahan Sel Kelas XII-MIA 2 di SMAN 5 Kota Jambi Tahun Ajaran 2018/2019. *Jurnal Ilmiah Dikdaya*, 10(1), 43. <https://doi.org/10.33087/dikdaya.v10i1.158>
- Sadler, T. D., Romine, W. L., & Topçu, M. S. (2016). Learning science content through socio-scientific issues-based instruction: a multi-level assessment study. *International Journal of Science Education*, 38(10), 1622–1635. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1204481>
- Safithri, R., Syaiful, S., & Huda, N. (2021). Pengaruh Penerapan Problem Based Learning (PBL) dan Project Based Learning (PjBL) Terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Berdasarkan Self Efficacy Siswa. *Jurnal Cendekia : Jurnal Pendidikan Matematika*, 5(1), 335–346.

- 5563 *Strategi Pembelajaran pada Materi Biomolekuler dan Bioteknologi - Shopiah Dhuha Siregar, Kartika Nahdiyati, Anggia Fitri Damayanti, Kusnadi, Taufik Rahman*  
DOI : <https://doi.org/10.31004/edukatif.v6i5.7031>
- <https://doi.org/10.31004/cendekia.v5i1.539>
- Seibert, S. A. (2021). Problem-based learning: A strategy to foster generation Z's critical thinking and perseverance. *Teaching and Learning in Nursing*, 16(1), 85–88.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sofia, H. W., Utomo, A. P., Hariyadi, S., Wahono, B., & Narulita, E. (2020). The validity and effectivity of learning using STEAM module with biotechnology game. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 6(1), 91–100. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v6i1.10979>
- Suratno, Umamah, N., Narulita, E., Komaria, N., & Khotimah, K. (2020). The integration of life-based learning based local wisdom in the development of innovative biotechnology learning models. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 14(12), 54–68. <https://doi.org/10.3991/IJIM.V14I12.15575>
- Todd, A., & Murphy, D. J. (2003). Evaluating University Masterclasses and School Visits as mechanisms for enhancing teaching and learning experiences for undergraduates and school pupils. A pilot study involving biotechnology students. *Bioscience Education*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.3108/beej.2003.02000005>
- Utomo, A. P., Hasanah, L., Hariyadi, S., Narulita, E., Suratno, & Umamah, N. (2020). The effectiveness of steam-based biotechnology module equipped with flash animation for biology learning in high school. *International Journal of Instruction*, 13(2), 463–476. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13232a>
- Wahyudi, I. A. (2015). Resensi Biologi Molekular adalah Ilmu yang Menyenangkan dan Mudah. *Jurnal Teknosains*, 4(2), 192–193. <https://doi.org/10.22146/teknosains.7973>
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analysing the past for prepare the future : writing a review. *MIS Quarterly*, 26(2), xiii–xxiii. <https://www.jstor.org/stable/413231>
- Widodo, A. (2021). *Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam*. UPI Press.
- Yap, W. H., Teoh, M. L., Tang, Y. Q., & Goh, B. H. (2021). Exploring the use of virtual laboratory simulations before, during, and post COVID-19 recovery phase: An Animal Biotechnology case study. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(5), 685–691. <https://doi.org/10.1002/bmb.21562>
- Zidan, Z., Maftuhah, M., Yusti, D., Rahmat, A. A. R., Riandi, R., & Kusnadi, K. (2023). Learning strategies on ecosystem concepts and environmental change: A pedagogical study analysis. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 6(2), 141–152. <https://doi.org/10.17509/aijbe.v6i2.59777>
- Zulpadly, Harahap, F., & Edi, S. (2016). *Analisis Kesulitan Belajar Siswa Materi Bioteknologi SMA Negeri Se- Kabupaten Rokan Hilir*. 6(1), 242–248. <https://doi.org/https://doi.org/10.24114/jpb.v6i1.4327>