

Integrasi AI dan ORPIN dalam Pembelajaran Biologi untuk Meningkatkan Keterampilan Generasi 4C

Rahmawati¹, Nurfiana Abdullah^{1*}

¹ Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat, Indonesia. Jalan Prof. Dr. Baharuddin Lopa, SH, Talumug, Majene, Sulawesi Barat/(0422) 22559

* Corresponding author: nurfiana.abdullah@unsulbar.ac.id

Abstrak

Perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) telah membawa transformasi signifikan dalam dunia pendidikan dengan membuka aksesibilitas pembelajaran, namun di sisi lain juga menimbulkan tantangan terhadap kualitas peserta didik dalam mencapai keterampilan abad ke-21, khususnya *communication*, *collaboration*, *critical thinking*, dan *creativity* (4C). Kondisi ini menuntut adanya inovasi dalam model pembelajaran yang dapat memanfaatkan AI serta mengintegrasikannya secara pedagogis dalam proses pembelajaran guna memperkuat kompetensi peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model ORPIN (*Orientation, Relating, Prompt Engineering*, dan *Interacting*) sebagai model yang dapat digunakan untuk mendampingi peserta didik dalam menghadapi tantangan perkembangan AI serta mendukung pengembangan keterampilan 4C. Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan mengadaptasi *Successive Approximation Model* (SAM) yang meliputi tiga tahap, yaitu *preparation*, *iterative design*, dan validasi ahli. Tahap *preparation* dilakukan melalui sintesis literatur sebagai dasar analisis kebutuhan dan perumusan karakteristik model. Tahap *iterative design* menghasilkan rancangan konseptual model orpin yang terdiri atas empat sintaks, yaitu *orientation*, *relating*, *prompt engineering*, dan *interacting*, beserta komponen pendukungnya. Selanjutnya, rancangan model divalidasi oleh ahli untuk menilai kelayakan teoritis sebelum diimplementasikan. Hasil validasi menunjukkan bahwa model ORPIN memperoleh kategori sangat valid dengan skor rata-rata 3,71, sehingga layak digunakan sebagai model konseptual pembelajaran biologi berbasis AI. Meskipun penelitian ini belum menguji kepraktisan dan efektivitas model, hasil penelitian ini memberikan landasan konseptual bagi pengembangan pembelajaran biologi berbasis AI yang relevan dengan tuntutan pendidikan abad ke-21.

Kata kunci— *model pembelajaran artificial intelligence, ORPIN, generasi 4C*

Abstract

The advancement of Artificial Intelligence (AI) has significantly transformed education by enhancing access to learning; however, it also poses challenges to students' ability to acquire 21st-century skills—specifically, communication, collaboration, critical thinking, and creativity (the 4Cs). This situation necessitates innovative learning models that leverage AI and integrate it pedagogically into the learning process to strengthen student competencies. This study aims to develop the ORPIN model (Orientation, Relating, Prompt Engineering, and Interacting) to assist students in navigating the challenges posed by AI advancements while fostering 4C skills. The study employs the Research and Development (R&D) method, adapting the Successive Approximation Model (SAM), which comprises three stages: Preparation, Iterative Design, and Expert Validation. The Preparation stage involved a literature synthesis to serve as the basis for a needs analysis and for formulating the model's characteristics. The Iterative Design stage produced the conceptual design of the ORPIN model, featuring four phases—Orientation, Relating, Prompt Engineering, and Interacting—along with its supporting components. Subsequently, the model design underwent expert validation to assess its theoretical feasibility prior to implementation. Validation results indicate that the ORPIN model achieved a "highly valid" rating, with an average score of 3.71, making it suitable as a conceptual model for AI-based biology instruction. Although this study did not assess the model's practicality or effectiveness, the findings provide a conceptual foundation for developing AI-based biology learning that aligns with the demands of 21st-century education.

Keywords— learning model, artificial intelligence, ORPIN, 4C generation

1. PENDAHULUAN

Asosiasi Perguruan Tinggi Amerika untuk Pendidikan Guru menyatakan bahwa keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, inovasi, kreativitas, kolaborasi, serta komunikasi adalah keterampilan yang harus dikuasai peserta didik pada abad ke-21, sehingga pendidikan nasional seharusnya difokuskan pada pembentukan keterampilan pada setiap lulusan (Nurhamidah et al., 2025; Annisa et al., 2023). Keterampilan ini merupakan keterampilan yang sangat esensial dan seharusnya dibentuk sejak dini agar dapat menghadapi berbagai tantangan di abad ke-21 (Redhana, 2019). Namun, upaya tersebut menghadapi tantangan yang semakin besar seiring dengan perkembangan teknologi. Perkembangan teknologi membuat aktivitas manusia lebih cepat dalam menyelesaikan pekerjaan. Perkembangan terbaru memperkenalkan *Artificial Intelligence* (AI) sebagai sistem komputer yang dapat menyelesaikan pekerjaan yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia (Kirana et al., 2024).

Gitakarma & Tjahyanti (2022) menjelaskan bahwa AI merupakan sebuah pemrograman yang belajar melalui pengalaman dengan cara mengenali pola peristiwa dan mampu berimprovisasi sehingga secara berkelanjutan dapat meningkatkan kinerjanya, dan bermanfaat untuk manusia. Perkembangan AI telah banyak membantu pekerjaan manusia dari berbagai aspek, termasuk di bidang pendidikan. Kemunculan AI dalam dunia pendidikan memberikan efisiensi dan efektivitas dalam penyusunan perencanaan pembelajaran. Menurut Kirana et al., (2024), AI ini merupakan bagian yang

tidak terpisahkan dalam tumbuh kembang teknologi pendidikan sehingga akan memberikan dampak khususnya terhadap komponen sekolah secara eksplisit. Seorang guru dapat dengan mudah menyusun rencana pembelajaran hanya dengan memasukkan kata kunci, dan pekerjaan akan selesai.

Penggunaan AI dalam bidang pendidikan lebih lanjut dijelaskan oleh Abidin (2023) sebagai alat bantu untuk merancang media pembelajaran, bahan ajar, modul, dan perangkat ajar lainnya. Selain itu, AI dapat membantu dalam bidang administratif, seperti membuat rancangan penilaian, sehingga mempermudah tugas pendidik dan peserta didik dalam proses belajar-mengajar. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pembelajaran mampu menciptakan lingkungan belajar yang lebih inklusif, mendukung personalisasi pembelajaran, meningkatkan efisiensi proses belajar, serta memperkaya pengalaman belajar peserta didik melalui penyediaan sumber belajar yang adaptif (Oktavianus et al., 2023; Kirana et al., 2024; Abidin, 2023).

Namun, kemudahan yang disajikan oleh AI juga menimbulkan berbagai tantangan, khususnya bagi para peserta didik. Menurut Rochim, (2024), peserta didik cenderung selalu mengandalkan AI dalam menyelesaikan tugasnya sehingga jawaban yang diberikan selalu sama. Hal ini dapat mendorong peserta didik melakukan plagiasi, karena mereka secara pasif menerima jawaban tanpa melakukan verifikasi kritis terhadap informasi yang diberikan. Kebiasaan ini perlu diwaspadai agar tidak menimbulkan rasa nyaman hingga menyebabkan ketergantungan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Andini et al. (2024), penggunaan AI untuk menyelesaikan tugas mampu meningkatkan produktivitas mahasiswa, namun skor tingkat kemalasan berpikir juga meningkat.

Kenyataan ini menunjukkan kesenjangan antara kemajuan AI dan pemahaman etis terhadap penggunaannya, sehingga mendesak untuk segera diperhatikan dan diberikan solusi alternatif. Solusinya bukan untuk menghindari, melainkan untuk menerapkan AI yang terintegrasi ke dalam model pembelajaran. Hal ini didukung oleh pernyataan Mandayani & Haifaturrahman (2025) bahwa AI dapat memberikan pengalaman belajar yang relevan dengan kerangka pembelajaran abad ke-21 jika diimplementasikan dalam model pembelajaran. Model pembelajaran yang ditawarkan adalah model ORPIN yang terdiri atas sintaks *Orientation, Relating, Prompt Engineering, dan Interacting*. Salah satu sintaks model ini adalah tahapan *prompt engineering* yang akan mendampingi peserta didik untuk berpikir inovatif dengan memanfaatkan AI serta mengkritisi jawaban yang diberikan. Sehingga melalui model ini, peserta didik akan berkomunikasi dan berkolaborasi dengan AI yang diiringi oleh kemampuan berpikir kreatif serta berpikir kritis dengan mengevaluasi jawaban yang diberikan oleh AI. Kemampuan tersebut secara otomatis membentuk generasi 4C. Berdasarkan rasionalisasi tersebut, dianggap perlu mengembangkan desain model pembelajaran ORPIN untuk membentuk generasi 4C yang dikhususkan untuk pembelajaran biologi.

Pengembangan model ORPIN dalam penelitian ini didasarkan pada hasil sintesis berbagai penelitian terdahulu yang secara konsisten menunjukkan adanya kesenjangan antara pesatnya perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) dan kesiapan peserta didik untuk memanfaatkannya secara kritis dan bertanggung jawab. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan AI yang tidak diarahkan secara pedagogis berpotensi

mengurangi keterlibatan peserta didik dalam proses berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan sintesis literatur sebagai dasar analisis kebutuhan untuk mengidentifikasi pola permasalahan yang bersifat umum serta merumuskan karakteristik model pembelajaran ORPIN yang relevan dengan tuntutan pembelajaran biologi abad ke-21.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan tujuan utama merancang model pembelajaran ORPIN (*Orientation, Relating, Prompt Engineering, dan Interacting*) sebagai model pembelajaran biologi yang mengintegrasikan pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) untuk mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21 (4C). Pengembangan model mengadaptasi *Successive Approximation Model* (SAM) yang dikembangkan oleh Michael Allen karena memiliki karakteristik iteratif dan fleksibel, sehingga sesuai digunakan dalam pengembangan model pembelajaran (Izza & Rusydiyah, 2020; Rothwell et al., 2020). Proses *Successive Approximation Model* (SAM) terstruktur ke dalam tiga fase utama yang masing-masing memiliki batasan capaian spesifik, yaitu tahap Persiapan (*Preparation*), Desain Iteratif (*Iterative Design*), dan Pengembangan Iteratif (*Iterative Development*). Walaupun hanya mencakup tiga tahapan, kerangka instruksional ini terbukti komprehensif dan sangat efektif untuk diterapkan (Maulidya et al., 2020; Rahmawati, 2023).

Penelitian ini dibatasi hingga tahap pengembangan model dan validasi oleh ahli. Oleh karena itu, produk yang dihasilkan berupa model pembelajaran ORPIN yang telah dinyatakan layak secara teoritis berdasarkan hasil validasi ahli. Tahap implementasi berupa uji coba terbatas, uji kepraktisan, maupun uji efektivitas belum dilakukan dan direncanakan sebagai bagian dari penelitian lanjutan.

2.1 Prosedur Pengembangan

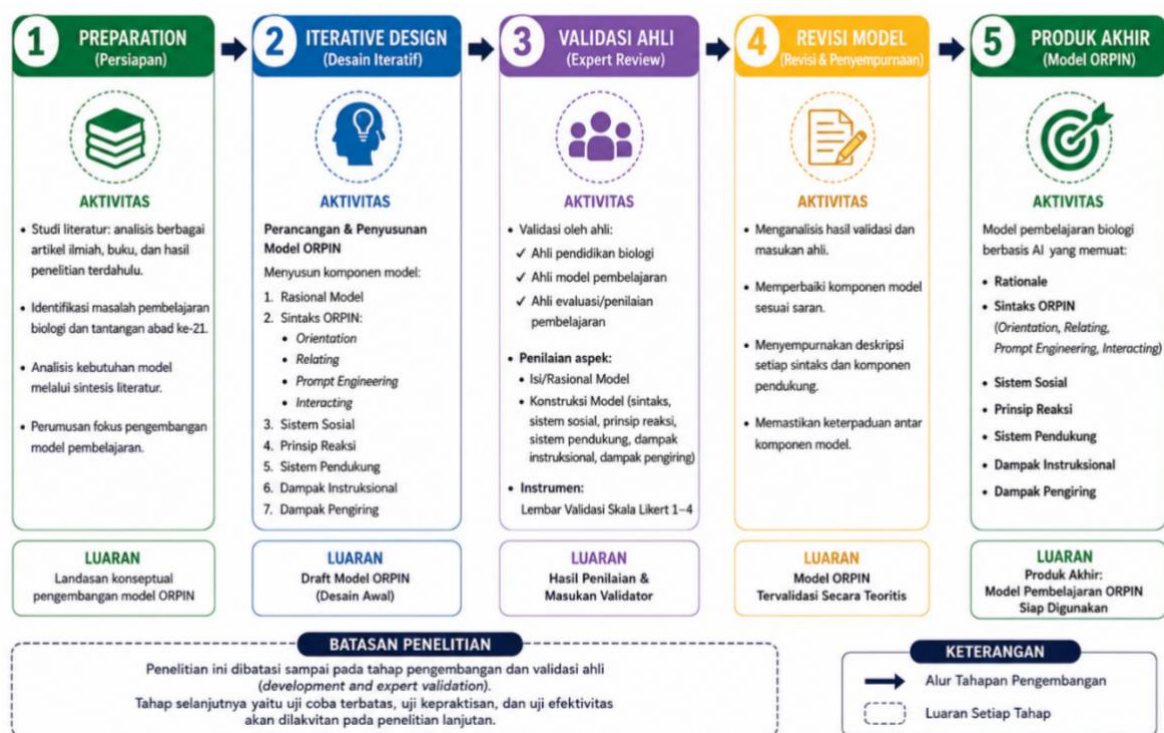
Pengembangan model ORPIN mengadaptasi tahapan dalam *Successive Approximation Model* (SAM) yang meliputi tahap *preparation, iterative design*, dan validasi ahli sebagai penyempurnaan desain model sebelum implementasi.

1. Tahap *Preparation*

Tahap *Preparation* bertujuan membangun landasan konseptual untuk pengembangan model. Tahapan ini meliputi kajian literatur yang mendalam melalui penelaahan beragam artikel ilmiah, buku referensi, serta temuan penelitian terdahulu yang relevan dengan konteks pembelajaran biologi, keterampilan abad ke-21 (4C), pemanfaatan *Artificial Intelligence* dalam pendidikan, teori belajar, serta model-model pembelajaran inovatif. Studi literatur dilakukan untuk mengidentifikasi berbagai permasalahan dalam pembelajaran serta merumuskan kebutuhan pengembangan model pembelajaran.

Analisis kebutuhan dan karakteristik peserta didik dalam penelitian ini tidak dilakukan melalui observasi, wawancara, maupun penyebaran angket di lapangan, melainkan diperoleh melalui sintesis berbagai hasil penelitian terdahulu yang membahas karakteristik peserta didik, tantangan pembelajaran biologi di era digital, serta dampak penggunaan AI terhadap proses belajar. Hasil sintesis tersebut

digunakan sebagai dasar untuk menentukan karakteristik model pembelajaran ORPIN.



Gambar 1. Tahapan Pengembangan Model Pembelajaran ORPIN (Adaptasi *Successive Approximation Model/SAM*)

2. Tahap *Iterative Design*

Tahap *iterative design* dilakukan dengan menyusun rancangan model pembelajaran berdasarkan hasil studi literatur. Penyusunan model diawali dengan perumusan rasional pengembangan model, kemudian dilanjutkan dengan penyusunan sintaks pembelajaran yang terdiri atas 4 tahap, yaitu *orientation*, *relating*, *prompt engineering*, dan *interacting*. Selanjutnya disusun komponen pendukung model yang meliputi sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, serta dampak instruksional dan dampak pengiring.

Pengembangan setiap komponen model mengacu pada hasil sintesis teori konstruktivisme, teori belajar kognitif, konstruktivisme sosial, pendekatan *problem-based learning*, serta konsep *prompt engineering* dalam pemanfaatan AI untuk pembelajaran. Proses penyusunan dilakukan secara bertahap, sehingga seluruh komponen model saling terintegrasi menjadi desain pembelajaran yang utuh.

3. Tahap Validasi Ahli

Rancangan model yang telah disusun kemudian divalidasi oleh ahli untuk memperoleh penilaian terhadap rasionalitas model, sintaks pembelajaran, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, dampak instruksional, dan dampak pengiring. Proses validasi ini melibatkan dua pakar yang kompeten di bidang pendidikan biologi dan desain model pembelajaran. Temuan dari para validator tersebut kemudian dijadikan landasan utama dalam merevisi rencana, guna memastikan model pembelajaran ORPIN telah memenuhi standar kelayakan teoritis

sebelum diujicobakan pada tahap implementasi. Selain memberikan skor penilaian, validator juga memberikan saran dan masukan terhadap setiap komponen model. Seluruh masukan tersebut digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi sehingga diperoleh model pembelajaran ORPIN yang layak secara teoritis.

2.2 Instrumen Penelitian

Rancangan model pembelajaran ORPIN divalidasi oleh 2 orang validator yang memiliki kompetensi di bidang pendidikan biologi dan pengembangan pembelajaran. Validator pertama adalah Dr. Sainab, S.Pd., M.Pd., dosen Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat, yang memiliki kepakaran dalam bidang pendidikan biologi, pengembangan model pembelajaran, inovasi pembelajaran, serta pengembangan bahan ajar. Validator kedua adalah Dr. Muhammad Mifta Fausan, S.Pd., M.Pd., dosen Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat. Beliau memiliki kepakaran dalam pendidikan biologi dengan fokus penelitian pada literasi sains, inovasi pembelajaran biologi, pengembangan perangkat pembelajaran, serta penelitian di bidang pendidikan biologi. Aktivitas akademiknya tercermin dari berbagai publikasi ilmiah di bidang pendidikan biologi serta keterdaftarannya sebagai peneliti pada SINTA. Kedua validator dipilih karena memiliki latar belakang akademik dan pengalaman penelitian yang relevan dengan pengembangan model pembelajaran biologi. Mereka memberikan penilaian terhadap rasional model, sintaks pembelajaran, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, dampak instruksional, dan dampak pengiring.

Setiap aspek dinilai menggunakan skala Likert empat tingkat, yaitu skor 1 (tidak valid); 2 (kurang valid); 3 (valid); 4 (sangat valid), serta dilengkapi kolom komentar dan saran sebagai bahan penyempurnaan model.

2.3 Teknik Analisis Data

Bahan pengembangan model diperoleh melalui studi literatur dan data hasil validasi ahli. Hasil studi literatur dianalisis secara deskriptif kualitatif melalui proses membaca, membandingkan, menginterpretasikan, dan mensintesis berbagai referensi yang relevan, sehingga diperoleh landasan konseptual untuk pengembangan model ORPIN.

Data hasil validasi ahli dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung skor rata-rata pada setiap aspek penilaian untuk mengetahui tingkat kelayakan model pembelajaran yang dikembangkan. Selanjutnya, komentar dan saran validator dianalisis secara deskriptif sebagai dasar untuk merevisi model hingga diperoleh produk akhir yang layak diimplementasikan dalam penelitian selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Evaluasi (Analisis) sebagai Dasar Pengembangan Model

Sebelum model pembelajaran ORPIN dikembangkan, dilakukan tahap evaluasi (analisis) melalui studi literatur terhadap berbagai artikel ilmiah, buku referensi, dan hasil

penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pembelajaran biologi, keterampilan abad ke-21 (4C), teori belajar, model pembelajaran inovatif, serta pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pendidikan. Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai permasalahan pembelajaran sekaligus menemukan kebutuhan pengembangan model pembelajaran yang lebih relevan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21.

Hasil studi literatur menunjukkan bahwa berbagai model pembelajaran yang diterapkan dalam pembelajaran biologi pada umumnya telah mengadopsi pendekatan yang berpusat pada peserta didik. Meskipun demikian, berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi model-model tersebut belum sepenuhnya mampu mengoptimalkan pengembangan keterampilan abad ke-21, khususnya kemampuan berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi (4C). Kondisi ini mengindikasikan masih adanya kesenjangan antara penerapan pembelajaran yang berpusat pada peserta didik dan pencapaian kompetensi yang diharapkan, sehingga diperlukan inovasi model pembelajaran yang mampu memfasilitasi pengembangan keterampilan tersebut secara lebih efektif.

Selain itu, pesatnya perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) telah membuka peluang baru dalam pembelajaran, tetapi pemanfaatannya masih lebih banyak digunakan sebagai alat pencarian informasi daripada diintegrasikan secara sistematis ke dalam proses pembelajaran. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengembangan model pembelajaran yang mampu mengintegrasikan AI secara pedagogis untuk mendukung pencapaian keterampilan 4C tanpa mengurangi peran aktif peserta didik dalam membangun pengetahuan.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, pengembangan model ORPIN diarahkan untuk menjawab tiga kebutuhan utama, yaitu: (1) mengembangkan keterampilan 4C melalui pembelajaran biologi; (2) mengintegrasikan pemanfaatan AI secara bertanggung jawab ke dalam proses pembelajaran; dan (3) menyediakan sintaks pembelajaran yang sistematis, sehingga AI berperan sebagai mitra belajar, bukan sebagai pengganti proses berpikir peserta didik.

3.2 Hasil Pengembangan Model Pembelajaran ORPIN

Berdasarkan hasil evaluasi (analisis) dan proses perancangan model, dikembangkan model pembelajaran ORPIN sebagai model pembelajaran inovatif berbasis *Artificial Intelligence* (AI) yang dirancang untuk memfasilitasi peserta didik dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, komunikasi, dan kolaborasi melalui proses pembelajaran yang interaktif, reflektif, dan adaptif.

Model ORPIN merupakan model sintesis (*hybrid model*) yang mengintegrasikan teori belajar, pendekatan *problem-based learning*, serta konsep *prompt engineering* dalam pemanfaatan AI. Integrasi tersebut menghasilkan empat sintaks utama, yaitu *Orientation*, *Relating*, *Prompt Engineering*, dan *Interacting* yang saling berkaitan dalam membimbing peserta didik membangun pengetahuan secara mandiri sekaligus memanfaatkan AI secara kritis dan bertanggung jawab.

Model Pembelajaran Konstruktivistik menuntut peserta didik tidak hanya menerima informasi, tetapi juga dapat membangun makna sendiri melalui eksplorasi, diskusi, dan refleksi (Ulya, 2024). Model PBL mendorong peserta didik untuk berpikir aktif melalui kegiatan belajar yang berpusat pada pemecahan masalah. Dengan pendekatan ini, siswa dituntut untuk berpikir kritis, terlibat secara aktif dalam proses

belajar, serta bekerja sama secara kolaboratif. Selain itu, PBL juga memberikan ruang bagi peserta didik untuk menentukan tindakan yang ingin dipelajari sekaligus menemukan cara terbaik untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang dihadapi (Hindun, 2022). Model Pembelajaran Berbasis Teknologi dan AI menjadi fondasi inovatif yang memayungi seluruh tahap ORPIN. AI berperan sebagai *co-facilitator* yang mendukung proses belajar melalui *prompt*, umpan balik, analisis data, dan rekomendasi yang adaptif.

Tahap pengembangan model dilaksanakan dengan mengacu pada komponen model pembelajaran yang dikemukakan oleh Fathurrohman (2017), Irwandi (2018), dan Martaningrum & Grogeria (2018). Komponen tersebut meliputi lima aspek utama, yaitu sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, serta dampak instruksional dan dampak pengiring. Kelima komponen tersebut dijadikan sebagai kerangka konseptual dalam merancang, mengembangkan, dan menyempurnakan model pembelajaran ORPIN sehingga setiap komponen memiliki keterkaitan yang sistematis dan mendukung pencapaian tujuan pembelajaran. Sintaks adalah urutan aktivitas pembelajaran, fase, atau langkah-langkah dalam pembelajaran dari awal hingga akhir yang sistematis dan terstruktur. Sintaks model pembelajaran ORPIN terdiri atas 4 tahap, yaitu *Orientation*, *Relating*, *Prompt Engineering*, dan *Interacting*.

3.2.1 Sintaks

Tahap pertama yaitu *Orientation* (Orientasi). Tujuannya adalah untuk mempersiapkan siswa secara mental dan membuat mereka terlibat aktif dalam proses belajar (Hindun, 2022). Tahap ini dikembangkan berdasarkan teori belajar kognitif dan teori konstruktivisme sebagai landasan konseptual model ORPIN (Reski & Fadilah, 2024). Teori belajar kognitif memandang belajar sebagai proses mental yang melibatkan pengolahan informasi melalui aktivitas berpikir, mengingat, menalar, dan pemecahan masalah. Sementara itu, teori konstruktivisme menekankan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh peserta didik melalui interaksi dengan pengalaman, lingkungan, dan proses refleksi. Oleh karena itu, setiap sintaks dalam model ORPIN dirancang untuk memfasilitasi keterlibatan aktif peserta didik dalam mengonstruksi pengetahuan, mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi, serta menghubungkan konsep yang dipelajari dengan pengalaman belajar yang bermakna.

Pada tahap orientasi, guru melakukan apersepsi, yaitu mengaitkan materi baru dengan pengetahuan awal yang sudah dimiliki siswa. Hal ini sejalan dengan teori kognitif yang menyatakan bahwa pembelajaran akan lebih efektif jika informasi baru dapat dihubungkan dengan skema pengetahuan yang sudah ada (Darmayanti et al., 2022). Guru membantu siswa mengaktifkan skema lama mereka sebagai jembatan menuju pengetahuan baru. Selain itu, hal ini juga bertujuan untuk menarik perhatian siswa dan memotivasi mereka.

Teori kognitif menganggap perhatian sebagai langkah pertama dalam memproses informasi. Dengan menciptakan suasana yang kondusif dan menarik, guru memastikan bahwa siswa siap secara mental untuk menerima dan memproses informasi yang akan datang. Teori konstruktivisme berpandangan bahwa pengetahuan tidak ditransmisikan secara pasif, melainkan dikonstruksi secara aktif oleh individu berdasarkan pengalaman mereka (Suparlan, 2019). Tahap orientasi digunakan untuk mengidentifikasi gagasan intuitif atau miskonsepsi yang mungkin dimiliki siswa. Dengan mengenali pengetahuan awal yang salah, guru dapat mengklarifikasi dan mengonstruksi ulang dengan

pemahaman yang benar (Kusumawati et al., 2022). Tahap orientasi lebih berfokus pada "apa" dan "mengapa" pembelajaran akan dilakukan. Ini adalah fondasi yang memastikan peserta didik memiliki pemahaman dasar tentang arah dan tujuan pembelajaran. Pada tahap ini, AI dapat berperan sebagai fasilitator awal untuk mengenalkan topik biologi dan mengorientasikan siswa terhadap masalah atau konsep inti.

Tahap *Relating* (menghubungkan konsep). Tahap ini berfokus pada upaya menghubungkan materi pembelajaran dengan kehidupan, pengalaman pribadi, atau lingkungan sekitar peserta didik. Tahap *relacting* juga dikembangkan berdasarkan teori kognitif dan konstruksionisme. Teori kognitif, terutama yang dikembangkan oleh David Ausubel, sangat menekankan pentingnya "pembelajaran bermakna" (*meaningful learning*). Dengan mengaitkan materi pelajaran dengan pengalaman pribadi atau konteks nyata siswa, materi tersebut menjadi lebih bermakna dan lebih mudah diserap ke dalam struktur kognitif mereka. Selain itu, tahap *relating* merupakan inti dari konstruktivisme, yang berakar kuat pada gagasan bahwa pengetahuan paling baik dibangun ketika siswa secara aktif menghubungkan materi dengan pengalaman dan lingkungan nyata mereka (Darmayanti et al., 2022). Guru tidak bertindak sebagai penceramah, melainkan sebagai fasilitator yang membimbing siswa untuk menemukan sendiri keterkaitan antara materi dan dunia mereka (Sari & Isnawati, 2025). Hal ini sejalan dengan pandangan konstruktivisme bahwa guru harus menciptakan lingkungan belajar yang memungkinkan siswa berinteraksi dan membangun pengetahuan. Tahap *relating* lebih berfokus pada "bagaimana" materi dapat dihubungkan dengan kehidupan nyata peserta didik (Kusumawati et al., 2022). Tujuannya adalah agar pembelajaran menjadi lebih bermakna, tidak hanya sekadar teori, tetapi juga bermanfaat secara praktis. Peran AI dapat menjadi alat bantu bagi siswa untuk membuat peta konsep interaktif yang menghubungkan berbagai istilah biologi, siklus, atau proses. Siswa juga bisa menggunakan AI untuk menemukan kaitan antara konsep biologi dengan konsep fisika, kimia, atau ilmu pengetahuan lainnya.

Tahap *Prompt Engineering* (pembuatan *prompt*). Tahap ini merupakan kegiatan inti yang berfungsi untuk memastikan peserta didik dapat membuat arahan (*prompt*) yang tepat sehingga AI dapat menghasilkan perintah yang diinginkan. Tahap ini juga dikembangkan berdasarkan teori linguistik (pragmatik dan semantik). Pragmatik adalah salah satu cabang linguistik yang membahas konteks penggunaan bahasa, struktur kalimat, dan penggunaan kata, yang semuanya sangat memengaruhi makna. Sehingga pragmatik berfokus pada faktor-faktor yang memengaruhi interpretasi bahasa (Geraldine dan Bertuah, 2025). Adapun ilmu bahasa yang secara khusus mengkaji makna adalah semantik. Perbedaan semantik dan pragmatik adalah bahwa semantik berkaitan dengan makna kata secara leksikal, sedangkan pragmatik berfokus pada bagaimana makna kata berubah sesuai dengan konteks penggunaannya dalam komunikasi (Rahayu et al., 2025). Penguasaan aspek pragmatik dan semantik perlu diterapkan sejak dini karena sangat berpengaruh terhadap tingkat pemahaman peserta didik. Hasil penelitian oleh Rahayu et al., (2025) menyatakan bahwa terdapat anak yang memiliki pemahaman yang kuat terhadap makna semantik dibandingkan dengan makna pragmatik, dan hal ini bisa menimbulkan kesalahpahaman. Kecanggihan teknologi yang ada, seperti AI, dapat dimanfaatkan melalui instruksi yang bersifat semantik dan pragmatis sehingga menghasilkan tindakan nyata, bukan hanya rangkaian kata tertentu.

Tahap *Interacting*. Tahapan ini merupakan tahapan akhir dalam sintaks ini. Dalam kegiatan pembelajaran, setelah peserta didik mendapatkan data, mereka akan

mengomunikasikannya kepada teman kelas dan guru. Salah satu teori yang mendukung tahapan ini adalah teori konstruktivisme sosial oleh Vygotsky. Pada kegiatan ini akan terjadi interaksi sosial. Interaksi sosial adalah interaksi individu dengan individu lain yang merupakan faktor terpenting dalam meningkatkan kemampuan kognitif. Brown membagi teori konstruktivisme menjadi 2 kategori, yakni konstruktivisme kognitif dan konstruktivisme sosial. Konstruktivisme kognitif menjadikan peserta didik mempelajari hal baru, sedangkan konstruktivisme sosial berfokus pada pentingnya kontak sosial dan pembelajaran kooperatif dalam meningkatkan kognitif dan kemampuan afektif (Suryadi et al., 2022). Pemahaman peserta didik melalui tahap ini muncul dalam kegiatan diskusi, di mana peserta didik membangun makna konsep melalui tanya jawab, argumentasi, dan klarifikasi, sehingga tidak menerima materi secara pasif.

Tabel 1.1 Sintaks model pembelajaran ORPIN

Tahap ORPIN	Tujuan Pembelajaran	Aktivitas Guru	Aktivitas Siswa	Peran AI / Teknologi	Keterampilan 4C yang Dikembangkan
Orientation	Membangun konteks, motivasi, dan pemahaman awal tentang masalah yang akan dipelajari.	- Menyajikan masalah kontekstual atau fenomena nyata. - Menjelaskan tujuan pembelajaran - Menggunakan AI untuk menampilkan video, simulasi, atau data pendukung. - Memotivasi dan menggali pengetahuan awal siswa.	- Menyimak pemaparan masalah atau fenomena - Mengajukan pertanyaan awal tentang topik yang disajikan. - Mengemukakan ide atau pengalaman yang relevan - Menyusun hipotesis awal tentang cara memecahkan masalah.	- Menyediakan sumber belajar digital (video, simulasi, atau data) - Menyajikan pertanyaan pemantik (AI chatbot atau sistem interaktif).	<i>Critical Thinking, Communication</i>
Relating	Menghubungkan konsep baru dengan pengalaman dan pengetahuan yang telah dimiliki siswa.	- Membimbing siswa menemukan hubungan antara masalah dengan konsep yang telah dipelajari sebelumnya - Memfasilitasi diskusi dan eksplorasi	- Mengidentifikasi hubungan antara konsep lama dan masalah baru. - Berdiskusi dan bertukar gagasan dengan teman atau AI. - Mengumpulkan data atau	- Memberikan rekomendasi sumber belajar tambaha - Menampilkan contoh dan studi kasus serupa - Membantu analisis	<i>Critical Thinking, Collaboration</i>

Tahap ORPIN	Tujuan Pembelajaran	Aktivitas Guru	Aktivitas Siswa	Peran AI / Teknologi	Keterampilan 4C yang Dikembangkan
		sumber informasi tambahan • Menggunakan AI untuk menampilkan studi kasus relevan.	informasi yang relevan dengan masalah.	hubungan antar konsep.	
Prompt Engineering	Siswa merumuskan perintah kepada AI untuk mendapatkan informasi	• Guru menjelaskan tentang etika penggunaan AI dan kriteria <i>prompt</i> yang baik • Guru membimbing siswa dalam proses literasi dan perbaikan <i>prompt</i>	• Siswa mendengarkan penjelasan dari guru mengenai kriteria perumusan <i>prompt</i> yang baik • Siswa merumuskan, dan menguji <i>prompt</i> untuk mendapatkan hasil yang tidak bias dan relevan.	Sebagai sarana atau media yang membantu peserta didik mendapatkan inspirasi dari perintah yang dimasukkan.	<i>Critical Thinking, Creativity, Digital Literacy</i>
Interacting	Siswa berinteraksi dengan teman sejawat dan guru tentang informasi yang didapatkan	Guru memfasilitasi siswa untuk mengevaluasi jawaban yang didapatkan dari AI	Siswa saling berdiskusi untuk menganalisis dan menyempurnakan pemahaman dari informasi yang didapatkan dari AI	Sebagai media tambahan untuk memberikan sudut pandang atau umpan balik dari ide, dan jawaban siswa.	<i>Communication, Collaboration, Creativity</i>

3.2.2 Sistem Sosial

Tahap *Orientation* (orientasi). Guru berperan sebagai fasilitator dan motivator yang memfasilitasi proses pembelajaran, membimbing peserta didik dalam mengonstruksi pengetahuan, serta menciptakan lingkungan belajar yang kondusif, terbuka, dan mendukung partisipasi aktif peserta didik. Guru mengarahkan perhatian siswa pada tujuan pembelajaran, menjelaskan konteks masalah, serta menumbuhkan rasa ingin tahu. Sedangkan siswa berperan sebagai peserta aktif yang siap terlibat, mendengarkan arahan guru, dan mempersiapkan diri untuk memahami konteks pembelajaran. Adapun pola interaksi bersifat transaksional dan demokratis, guru memberikan pengarahan, siswa merespons dan bertanya untuk klarifikasi.

Tahap *Relating*. Guru dan peserta didik membangun interaksi yang kolaboratif, terbuka, dan berpusat pada peserta didik. Guru berperan sebagai fasilitator yang memandu peserta didik mengaitkan konsep baru dengan pengetahuan awal (*prior knowledge*) dan pengalaman yang telah dimiliki melalui kegiatan diskusi dan tanya jawab. Peserta didik didorong untuk aktif mengemukakan pendapat, bertukar ide, serta bekerja sama dalam mengeksplorasi keterkaitan antara materi pembelajaran dan konteks kehidupan nyata. Interaksi yang terjalin diharapkan mampu menciptakan lingkungan belajar yang kondusif, menghargai keberagaman perspektif, dan mendukung terbentuknya pembelajaran yang bermakna.

Tahap *Prompt Engineering*. Guru bertindak sebagai desainer dan pengarah berpikir kritis yang membantu siswa membangun *prompt* atau pertanyaan pemicu untuk mengeksplorasi konsep secara lebih mendalam. Guru juga memberikan *scaffolding* dalam merumuskan pertanyaan yang menuntun ke pemecahan masalah atau eksplorasi ide. Siswa berperan sebagai inovator ide, menyusun pertanyaan atau *prompt* yang relevan dengan topik, mengeksplorasi berbagai kemungkinan jawaban, serta memanfaatkan teknologi (misalnya AI atau sumber digital) untuk menggali informasi lebih lanjut. Adapun interaksi bersifat kooperatif dan kreatif; terjadi kolaborasi antara siswa dan guru untuk mengembangkan *prompt* yang bermakna serta melakukan eksplorasi ilmiah.

Tahap *Interacting*. Guru menjadi fasilitator diskusi dan evaluator proses, serta mendorong siswa untuk bertukar informasi, berargumentasi secara ilmiah, dan menyimpulkan hasil pembelajaran. Siswa berperan sebagai komunikator aktif, saling berdiskusi, mempresentasikan hasil eksplorasi, serta memberikan tanggapan terhadap ide teman. Interaksi multiarah (guru–siswa dan siswa–siswa) menciptakan suasana kolaboratif, terbuka, dan saling menghargai pendapat.

3.2.3 Prinsip Reaksi

Dalam model pembelajaran ORPIN, prinsip reaksi menekankan pada bagaimana guru memberikan respon terhadap aktivitas belajar siswa di setiap tahap pembelajaran agar tercipta interaksi edukatif yang bermakna. Pada tahap *Orientation*, guru berperan sebagai fasilitator untuk membangkitkan motivasi dan rasa ingin tahu siswa melalui pendekatan yang hangat dan terbuka. Guru juga menanggapi pertanyaan atau pendapat siswa dengan memberikan penguatan positif dan menghindari respon yang bersifat evaluatif secara langsung. Respon guru diarahkan untuk menumbuhkan kepercayaan diri siswa, sehingga tercipta suasana belajar yang menyenangkan dan menantang. Pada tahap *Relating*, guru menunjukkan sikap empatik terhadap pengalaman dan ide-ide yang disampaikan siswa. Setiap tanggapan siswa dihargai dan dijadikan dasar untuk mengaitkan pengalaman nyata dengan konsep ilmiah yang sedang dipelajari. Jika ditemukan miskonsepsi, guru tidak langsung membenarkannya, tetapi menuntun siswa melalui pertanyaan reflektif, sehingga mendorong mereka menemukan kebenaran ilmiah secara mandiri. Dengan demikian, guru menjadi pengarah makna yang menjaga agar diskusi tetap relevan dan mendalam.

Pada tahap *prompt engineering*, prinsip reaksi guru berfokus pada pemberian bimbingan untuk berpikir tingkat tinggi. Guru membantu siswa mengembangkan *prompt* atau pertanyaan pemantik yang bersifat kritis, eksploratif, dan berorientasi pada pemecahan masalah. Umpan balik guru diberikan secara konstruktif untuk menuntun siswa memperbaiki dan memperdalam pertanyaan mereka tanpa membatasi kreativitas

berpikir. Guru bertindak sebagai pelatih metakognitif (metacognitive coach) yang menstimulasi siswa agar mampu merefleksikan proses berpikirnya sendiri. Kemudian, pada tahap *Interacting*, guru memberikan ruang bagi siswa untuk berdiskusi secara terbuka, berargumentasi secara ilmiah, dan berbagi hasil eksplorasi. Respon guru bersifat menuntun dan memperkuat proses berpikir ilmiah siswa melalui pertanyaan lanjutan, klarifikasi, dan umpan balik formatif. Jika terjadi perbedaan pendapat, guru berperan sebagai penengah yang menegakkan nilai dialogis dan berbasis bukti. Prinsip reaksi pada tahap ini lebih menekankan pentingnya suasana kolaboratif, saling menghargai, dan keterbukaan terhadap ide baru.

3.2.4 Sistem Pendukung

Sistem pendukung dalam model pembelajaran ORPIN mencakup segala bentuk sarana, prasarana, sumber belajar, dan kondisi yang diperlukan agar proses pembelajaran dapat berlangsung secara optimal sesuai dengan sintaks model (Rahmawati, 2023). Dukungan utama yang dibutuhkan adalah kompetensi guru dalam merancang skenario pembelajaran berbasis prompt serta membangun interaksi reflektif antara siswa dan sumber belajar. Guru harus memiliki kemampuan literasi digital dan pedagogi inovatif agar dapat memanfaatkan teknologi, termasuk kecerdasan buatan (AI), sebagai media untuk memperkaya proses berpikir siswa pada tahap *prompt engineering* dan *interacting*.

Selain kompetensi guru, sistem pendukung juga mencakup ketersediaan sumber belajar yang beragam dan kontekstual, seperti buku teks, artikel ilmiah, hasil penelitian biologi, video pembelajaran, media digital interaktif, serta perangkat berbasis AI yang dapat membantu eksplorasi konsep. Lingkungan belajar yang mendukung kolaborasi dan diskusi terbuka juga menjadi bagian penting dari sistem pendukung model ORPIN. Kelas harus diatur sedemikian rupa sehingga siswa dapat bekerja dalam kelompok kecil, berdiskusi, serta mengajukan dan menguji ide-ide mereka. Dari sisi manajerial, dukungan lembaga pendidikan sangat diperlukan, baik dalam bentuk kebijakan akademik yang mendorong inovasi pembelajaran, penyediaan sarana TIK, maupun pelatihan profesional bagi guru. Selain itu, kesiapan siswa dalam beradaptasi dengan pendekatan berpikir tingkat tinggi dan pembelajaran berbasis pertanyaan juga merupakan bagian dari sistem pendukung yang penting untuk diperhatikan.

Dengan demikian, sistem pendukung model ORPIN tidak hanya meliputi aspek material seperti media dan fasilitas, tetapi juga aspek nonmaterial, seperti kompetensi pedagogis guru, kesiapan mental siswa, dan budaya akademik yang terbuka terhadap eksplorasi dan inovasi. Sinergi antara ketiga aspek tersebut akan menciptakan ekosistem pembelajaran yang kondusif bagi terbentuknya proses berpikir kritis, kreatif, dan reflektif sesuai dengan karakteristik model ORPIN.

3.2.5 Dampak Instruksional dan Dampak Pengiring

Dampak instruksional merupakan hasil belajar langsung yang diharapkan muncul sebagai konsekuensi dari penerapan langkah-langkah pembelajaran ORPIN. Melalui tahapan *orientation*, *relating*, *prompt engineering*, dan *interacting*, siswa diharapkan dapat memahami konsep biologi secara mendalam, menghubungkan pengetahuan lama dengan pengetahuan baru, serta mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Selain itu, siswa juga belajar menyusun pertanyaan yang bermakna,

menggunakan teknologi (termasuk kecerdasan buatan) secara etis dan produktif dalam proses pembelajaran, serta mengomunikasikan hasil eksplorasinya secara ilmiah. Dampak instruksional ini tampak pada meningkatnya penguasaan konsep, kemampuan analisis, dan keterampilan berpikir tingkat tinggi (*higher-order thinking skills*).

Sementara itu, dampak pengiring merupakan hasil belajar tidak langsung yang berkembang selama proses pembelajaran sebagai konsekuensi dari pengalaman sosial, emosional, dan interaksi akademik yang terjadi pada setiap tahapan model ORPIN. melalui kegiatan *orientation*, *relating*, *prompt engineering*, dan *interacting*, peserta didik tidak hanya memperoleh penguasaan konsep, tetapi juga mengalami peningkatan motivasi belajar karena terlibat aktif dalam pembelajaran yang kontekstual, kolaboratif, dan berbasis pemecahan masalah. Proses eksplorasi informasi, penyusunan *prompt*, serta evaluasi terhadap respons *Artificial Intelligence* (AI) mendorong berkembangnya kemandirian belajar, karena peserta didik terbiasa mencari, memilih, mengevaluasi, dan mengonstruksi pengetahuan secara mandiri. Selain itu, pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) secara terarah, etis, dan bertanggung jawab selama proses pembelajaran turut berkontribusi pada pengembangan literasi digital peserta didik. Penggunaan AI mendorong peserta didik untuk mengembangkan kemampuan mengakses, mengevaluasi, memverifikasi, serta memanfaatkan informasi digital secara kritis, akurat, dan bertanggung jawab. Melalui proses tersebut, peserta didik tidak hanya meningkatkan keterampilan dalam memanfaatkan teknologi digital sebagai sumber belajar, tetapi juga mengembangkan kesadaran etis dalam penggunaan informasi serta kemampuan untuk mengambil keputusan berdasarkan informasi yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan. Dengan demikian, model ORPIN tidak hanya menghasilkan dampak instruksional berupa penguasaan konsep dan keterampilan 4C, tetapi juga membentuk kompetensi afektif, sosial, dan digital yang mendukung terbentuknya peserta didik sebagai pembelajar sepanjang hayat yang adaptif terhadap perkembangan teknologi.

3.3 Hasil Validasi Ahli

Setelah rancangan model pembelajaran ORPIN selesai disusun, dilakukan validasi oleh ahli untuk menilai kelayakan model sebelum diimplementasikan pada tahap uji coba. Validasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kelayakan setiap komponen model serta memperoleh masukan sebagai dasar penyempurnaan produk.

Aspek yang divalidasi mencakup seluruh komponen utama model pembelajaran, yaitu rasional pengembangan model, sintaks pembelajaran, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, dampak instruksional, dan dampak pengiring. Validasi terhadap setiap aspek dilakukan untuk memastikan bahwa model ORPIN memiliki landasan teoritis yang kuat. Hasil validasi menunjukkan bahwa model pembelajaran ORPIN memperoleh kategori **sangat valid**, sehingga layak digunakan sebagai model konseptual dan dapat dilanjutkan ke tahap implementasi dalam penelitian berikutnya setelah direvisi sesuai masukan validator.

Tabel 1. Hasil Validasi Ahli Model Pembelajaran ORPIN

Aspek yang Dinilai	Skor Rata-rata	Kategori
Rasional Model	91	Sangat Valid
Kerangka Konseptual	91	Sangat Valid

Aspek yang Dinilai	Skor Rata-rata	Kategori
Sintaks Pembelajaran	100	Sangat Valid
Sistem Sosial	95	Sangat Valid
Prinsip Reaksi	90	Sangat Valid
Sistem Pendukung	91	Sangat Valid
Dampak Instruksional	93	Sangat Valid
Dampak Pengiring	90	Sangat Valid
Rata-rata	92	Sangat Valid

Kriteria interpretasi yang digunakan, yaitu (Sumber: Widoyoko, 2018):

Tabel 3. Kriteria Interpretasi

Interval Skor	Kategori
3,26–4,00	Sangat Valid
2,51–3,25	Valid
1,76–2,50	Kurang Valid
1,00–1,75	Tidak Valid

Berdasarkan Tabel 2, seluruh komponen model memperoleh skor rata-rata dalam kategori **sangat valid**. Hasil validasi menunjukkan bahwa model pembelajaran ORPIN memperoleh rata-rata skor 3,71 dari skala maksimum 4,00 dengan kategori sangat valid. Hal ini menunjukkan bahwa model telah memenuhi aspek rasional, sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, dampak instruksional, dan dampak pengiring, sehingga layak digunakan sebagai model konseptual pembelajaran biologi berbasis AI.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model pembelajaran ORPIN (*Orientation, Relating, Prompt Engineering, and Interacting*) sebagai model pembelajaran biologi berbasis *Artificial Intelligence* (AI) yang dirancang untuk mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21, khususnya *kommunikasi, kolaborasi, pemikiran kritis, dan kreativitas* (4C). Pengembangan model dilakukan menggunakan pendekatan *Successive Approximation Model* (SAM) yang meliputi tahap *Preparation, Iterative Design, dan Validasi Ahli*. Hasil validasi oleh dua orang ahli menunjukkan bahwa model ORPIN memperoleh rata-rata skor sebesar 3,71 pada skala Likert 1–4 dengan kategori sangat valid, sehingga secara teoritis layak digunakan sebagai model konseptual dalam pembelajaran biologi berbasis AI.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya sampai pada tahap pengembangan model dan validasi oleh ahli. Oleh karena itu, model ORPIN belum diuji kepraktisan, keterlaksanaan, maupun efektivitasnya dalam meningkatkan hasil belajar, keterampilan 4C, dan literasi AI peserta didik pada implementasi di kelas. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melaksanakan uji kepraktisan melalui implementasi

terbatas, uji efektivitas pada berbagai jenjang pendidikan dan materi biologi, serta mengkaji pengaruh model ORPIN terhadap pengembangan keterampilan abad ke-21, literasi AI, kemampuan berpikir kritis, dan hasil belajar peserta didik. Selain itu, penelitian lanjutan juga perlu mengevaluasi keberterimaan model oleh guru dan peserta didik sebagai dasar penyempurnaan model sebelum diimplementasikan secara lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M. A. (2023). Implementasi teknologi. *Jurnal Madrasah Ibtidaiyah (JMI)*, 2(1).
- Andini, M., Rose, F. D., Lewis, J., Rizkilmy, J. R., & Renata, D. (2024). Analisis pengaruh AI: Perubahan tingkat kemalasan mahasiswa di kota Batam. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas AL Asyariah Mandar*. 10(2):95–103. <https://doi.org/10.35329/jiik.v10i2.305>
- Annisa, P. S. M., Feriyanti, E. G., Marisa, D. (2023). Penerapan optimalisasi keterampilan 4C (creative thinking, critical thinking and problem solving, communication, collaboration) dalam pembelajaran contextual oral language skills. *Jurnal Ilmiah Korpus*. 7(3). <https://doi.org/10.33369/jik.v7i3.28743>
- Darmayanti, I., Fitri, R., & Syamsurizal, S. (2022). Pengaruh model problem-based learning terhadap hasil belajar biologi aspek kognitif dan psikomotor. *Bioma: Jurnal biologi dan pembelajarannya*. 4(2):18-25.
- Fathurrohman, M. (2017). *Model-model pembelajaran inovatif*. Jogjakarta: Ar-Ruzz Media.
- Gitakarma, M. S., & Tjahyanti, L., P., A. S. (2022). Peranan internet of things dan kecerdasan buatan dalam teknologi. *Jurnal KOMTEKS (Komputer dan Teknologi Sains)*. 1(1): 1–8.
- Geraldine, K.S., & Bertuah M. (2025). Pragmatics and its system of study. *Jurnal Intelek dan Insan Cendekia*. 2(4).
- Hindun, N. (2022). *Teori dan Strategi dalam Pembelajaran Biologi*. Malang: Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- Irwandi. (2018). *Strategi pembelajaran biologi*. Bandung: Pustaka Reka Cipta.
- Izza, A., & Rusydiyah, E. F. (2020). Analisis model SAM/R pada guru pendidikan agama islam dalam mengembangkan motivasi belajar siswa. *Edureligia: Pendidikan Agama Islam*, 4(1):11-34. <https://doi.org/10.33650/edureligia.v4i1.1107>
- Kirana, M.D., Masduki, A., & Risma R. (2024). Anak Indonesia pencipta AI untuk pendidikan. *Journal of Information Systems and Management*. 3(1). <https://doi.org/10.4444/jisma.v3i1.833>.
- Kusumawati, I. T., Soebagyo, J., & Nuriadin, I. (2022). Studi kepustakaan kemampuan berpikir kritis dengan penerapan model PBL pada pendekatan teori konstruktivisme. *Jurnal MathEdu (Mathematic Education Journal)*. 5(1):13-18.
- Mandayani, Nurul, & Haifaturrahman. (2025). Peran Artificial Intelligence (AI) terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*. 9(5). <https://doi.org/10.31004/basicedu.v9i5.10777>
- Maulidya, F., Nugraha, A. F. E., & Palennari, M. (2024). Rancangan model pembelajaran “carbon” pada materi pencemaran lingkungan. *El Banar: Jurnal Pendidikan dan Pengajaran*. 7(1): 24-30.

- Martaningrum, M., & Grogeria. A. (2018). Pengembangan perangkat pembelajaran matematika berbasis model pembelajaran kontekstual dengan pemecahan masalah polya siswa kelas VII SMP ST Bernardus Madiun. *Jurnal Ilmiah Edukasi Matematika*. 4(2).
- Nurhamidah, J., Arlandia, H., & Oman, F. (2025). Pengembangan keterampilan 4C (critical thinking, creativity, communication, and collaboration) dalam pembelajaran IPA untuk menjawab tantangan Abad 21. *Jurnal Hukum, Pendidikan dan Sosial Humaniora*. 2(1). <https://doi.org/10.62383/aliansi.v2i1.635>
- Okavianus, A. J. E., Lamhot. N., & Djoys. A. R. (2023). Pemanfaatan artificial intelligence pada pembelajaran dan asesmen di era digitalisasi. *Jurnal Kridatama Sains dan teknologi*. 5(2). <https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.975>
- Rahayu, H., Khairunnisa R., Nabelia U.M., Elly P.W., & Khairil A. (2025). Perbedaan pemaknaan kata dalam konteks semantik dan pragmatik dalam berbahasa di lingkungan sekolah pada siswa kelas 5 di SDN 064990 Medan. *Jurnal Sains Student Research*. 3(2). <https://doi.org/10.61722/jssr.v3i2.4196>
- Rahmawati, R. (2023). Model pembelajaran RESE (reading, exploring, solving, evaluating) untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah. *Prosiding Seminar Nasional Biologi: Inovasi Sains & Pembelajarannya*. 11(1).
- Redhana, W. I. (2019). Mengembangkan keterampilan Abad Ke-21 dalam pembelajaran kimia. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*. 13(1):2239–2253. <https://doi.org/https://doi.org/10.15294/jipk.v13i1.17824>
- Reski, S. H., & Fadilah, M. (2024). Analisis media pembelajaran terhadap beban kognitif peserta didik pada pembelajaran biologi. *Jurnal Bioshell*. 13(1):11-16.
- Rochmawati, D. R., Arya, I., & Zakariyya, A. (2023). Manfaat kecerdasan buatan untuk pendidikan. *Jurnal Teknologi Komputer Dan Informatika*. 2(1):124-134.
- Rochim, A. A. (2024). Kecerdasan buatan: resiko, tantangan dan penggunaan bijak pada dunia pendidikan. 3(1):13–25. <https://doi.org/10.33830/antroposen.v3i1.6780>
- Rothwell, W. J., Williams, S. L., & Zaballero, A. G. (2020). *Increasing Learning & Development Impact Through Accreditation*. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland AG 2020.
- Sari, D. I., & Isnawati, I. (2025). Penerapan model pembelajaran problem based learning untuk meningkatkan keterampilan berpikir kreatif siswa kelas X SMAN 3 Pamekasan pada pembelajaran biologi. *Jurnal Asimilasi Pendidikan*. 3(2):90-99. <https://doi.org/10.61924/jasmin.v3i2.57>
- Suparlan, S. (2019). Teori konstruktivisme dalam pembelajaran. *Islamika: Jurnal Keislaman dan Ilmu Pendidikan*. 1(2):79-88.
- Suryadi, A., Damopillii, M., & Rahman, U. (2022). *Teori konstruktivisme dalam pembelajaran PAI di Madrasah. Teori dan implementasinya*. Jawa Barat: CV Jejak.
- Ulya, Z. (2024). Penerapan Teori konstruktivisme menurut jean piaget dan teori neuroscience dalam pendidikan/application of constructivism theory according to jean piaget and neuroscience theory in education. *Al-Mudarris: journal of education*. 7(1):12-23.
- Widoyoko, E. P. (2018). *Teknik penyusunan instrumen penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.