



## **Implementasi *Computer Vision* sebagai *Scaffolding* Digital dalam Praktikum IPA untuk Mendukung Kemandirian Prosedural Siswa**

**Ferri Ferri<sup>1</sup> & Daniel Alfarado<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Sekolah Menengah Pertama Yapindo, Tulang Bawang, Lampung, Indonesia*

<sup>2</sup>*Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia*

<sup>1</sup>Correspondence Email: [ferri.ram96@gmail.com](mailto:ferri.ram96@gmail.com)

### **Article Info**

**Received:** March 12, 2026

**Accepted:** July 22, 2026

**Published:** July 30, 2026

### **Keywords**

Computer Vision;  
Digital Scaffolding;  
Science Practicum;  
Procedural Independence;  
Cognitive Load Theory.

### **Abstract**

*The integration of artificial intelligence in science education has gained increasing attention; however, its utilization as real-time procedural support in science laboratory activities remains relatively limited. This study aims to explore the implementation of computer vision based artificial intelligence as digital scaffolding to support students' procedural independence, as well as to describe the dynamics of pedagogical interactions between teachers and students during science practicum sessions. This research employed a classroom action research design conducted over three practicum cycles. Data were collected through observations and reflective field notes, and subsequently analyzed thematically by relating the findings to the perspectives of cognitive load theory, scaffolding, self-regulated learning, and learner agency. The results indicate that computer vision based procedural support contributes to reducing students' dependence on teacher instructions, enhances their confidence in making experimental decisions, and shifts the focus of discussions from technical aspects toward conceptual understanding. In addition, a transformation in the teacher's role was observed, from an instructor to a more reflective learning facilitator. These findings suggest that the pedagogical implementation of computer vision in science practicum is not only associated with improved efficiency in conducting experiments but also contributes to the development of a more autonomous and participatory learning environment. The limitations of this study include its focus on a single school and teacher, as well as observations conducted over only three practicum cycles, which may restrict broader generalization.*

| Kata Kunci                                                                                                     | Abstrak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Computer Vision;<br>Scaffolding Digital;<br>Praktikum IPA;<br>Kemandirian Prosedural;<br>Teori Beban Kognitif. | <i>Integrasi kecerdasan buatan dalam pendidikan sains semakin mendapat perhatian, tetapi pemanfaatannya sebagai dukungan prosedural real-time pada praktikum IPA masih relatif terbatas. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi implementasi kecerdasan buatan berbasis computer vision sebagai scaffolding digital dalam mendukung kemandirian prosedural serta mendeskripsikan dinamika interaksi pedagogis antara guru dan siswa dalam praktikum IPA. Penelitian ini menggunakan desain penelitian tindakan kelas yang dilaksanakan dalam tiga siklus praktikum. Data dikumpulkan melalui observasi dan catatan lapangan reflektif, kemudian dianalisis secara tematik dengan mengaitkan temuan pada perspektif cognitive load theory, scaffolding, self-regulated learning, dan learner agency. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dukungan prosedural berbasis computer vision berkontribusi dalam mereduksi ketergantungan siswa terhadap instruksi guru, mengindikasikan peningkatan kepercayaan diri dalam pengambilan keputusan eksperimen, serta menggeser fokus diskusi dari aspek teknis menuju pemaknaan konseptual. Selain itu, terjadi transformasi peran guru dari pemberi instruksi menjadi fasilitator pembelajaran yang lebih reflektif. Temuan ini menunjukkan bahwa implementasi computer vision dalam praktikum IPA secara pedagogis tidak hanya berkaitan dengan efisiensi pelaksanaan praktikum, tetapi juga berkontribusi pada terbentuknya lingkungan belajar yang lebih otonom dan partisipatif. Keterbatasan penelitian ini mencakup konteks sekolah dan guru tunggal serta observasi pada tiga siklus praktikum yang membatasi generalisasi lebih luas.</i> |

A. Pendahuluan

Dalam satu dekade terakhir, kecerdasan buatan telah berkembang dari teknologi eksperimental menjadi infrastruktur strategis yang merekonstruksi sektor pendidikan. UNESCO (2021) menegaskan bahwa kecerdasan buatan berpotensi meningkatkan kualitas pembelajaran melalui perluasan akses pengetahuan, pengayaan pengalaman belajar, dan penguatan keterampilan abad ke-21. Pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran terbukti memperkaya penyajian materi dan mendorong lingkungan belajar yang partisipatif serta adaptif (Wulandari, 2025).

Relevansi integrasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran IPA semakin menguat seiring dengan arah kebijakan pendidikan Indonesia yang mengedepankan pembelajaran mendalam melalui Kurikulum Merdeka. Kurikulum ini secara eksplisit menempatkan Dimensi Kemandirian dan Penalaran Kritis sebagai Dimensi Profil Lulusan yang harus dikembangkan melalui proses pembelajaran. Dimensi Kemandirian mencakup kemampuan siswa mengelola diri dalam proses belajar sementara Dimensi Penalaran

Kritis menuntut kemampuan menganalisis informasi secara reflektif sebelum mengambil keputusan (Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia, 2025).

Pembelajaran IPA menekankan keterlibatan aktif siswa dalam investigasi empiris melalui observasi, eksperimen, dan refleksi. Oleh karena itu, praktikum menjadi sarana penting untuk membangun pemahaman konseptual sekaligus mengembangkan keterampilan ilmiah (Saputra et al., 2021). Namun, ketersediaan fasilitas laboratorium yang memadai tidak otomatis menjamin kualitas praktikum jika siswa belum memiliki kemandirian prosedural. Kemandirian ini tercermin dalam kemampuan mengenali alat, memahami fungsinya, serta mengikuti tahapan praktikum secara sistematis (Salam, 2024). Tanpa kemandirian prosedural, praktikum berisiko menjadi aktivitas mekanis yang bergantung pada arahan guru, sehingga membatasi konstruksi pengetahuan secara mandiri (Kurniawan & Djukri, 2022).

Observasi pendahuluan yang dilakukan pada siswa kelas VIII saat praktikum IPA di SMP Yapindo, Kabupaten Tulang Bawang, Lampung, menunjukkan bahwa, sebagian besar siswa sering kali mengalami kesulitan dalam mengenali nama dan memahami fungsi peralatan laboratorium. Pertanyaan prosedural dasar seperti “apa nama alat ini?” atau “alat mana yang harus digunakan?” muncul secara berulang dan membutuhkan respons langsung dari guru. Situasi ini memperlambat alur praktikum sekaligus menggeser peran guru dari fasilitator pembelajaran menjadi sumber informasi prosedural utama. Akibatnya, sebagian besar waktu tersita untuk klarifikasi teknis dan mengurangi kesempatan guru untuk melakukan pengamatan proses, memberikan umpan balik formatif, dan mendorong refleksi ilmiah.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kecerdasan buatan mampu menyediakan umpan balik yang cepat, adaptif, dan kontekstual, sehingga berkontribusi terhadap penguatan otonomi belajar siswa (Hamida et al., 2025). Lan dan Zhou (2025) menambahkan bahwa kecerdasan buatan berperan dalam berbagai fase *self-regulated learning*, terutama dalam membantu siswa memantau kemajuan dan menyesuaikan strategi belajar. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pembelajaran berbasis layar (*screen-based learning*). Pemanfaatan kecerdasan buatan sebagai dukungan prosedural dalam aktivitas praktikum masih jarang dieksplorasi (Usman et al., 2025). Akibatnya, potensi kecerdasan buatan untuk menjembatani kesenjangan antara pembelajaran digital dan pengalaman empiris belum terartikulasikan secara optimal dalam literatur.

Transformasi pendidikan di Indonesia menekankan pentingnya integrasi teknologi dalam pembelajaran (Iskandar et al., 2025). Namun, implementasi teknologi dalam

pembelajaran IPA masih cenderung berfokus pada penyampaian materi, sementara pemanfaatannya untuk memperkuat proses pembelajaran belum optimal. Akibatnya, potensi teknologi untuk mendukung kemandirian belajar siswa, termasuk kemandirian prosedural, belum dimanfaatkan secara maksimal (Astutik & Elviana, 2025). Keterbatasan ini semakin relevan karena pembelajaran IPA menuntut interaksi langsung (*hands-on*) dengan objek fisik (Sahar et al., 2025).

Kemunculan *computer vision* sebagai cabang kecerdasan buatan menawarkan potensi baru untuk menjembatani kesenjangan antara teknologi digital dengan aktivitas pembelajaran berbasis praktik (Jeon et al., 2024). *Computer vision* sebagai salah satu cabang kecerdasan buatan mampu mengenali objek dan menyajikan informasi prosedural secara instan (Jeon et al., 2024). Teknologi ini berpotensi menjadi *scaffolding* digital yang membantu siswa memahami aspek teknis praktikum tanpa bergantung pada intervensi guru. Dari perspektif teori beban kognitif, penyediaan informasi prosedural yang tepat dapat mengurangi *extraneous cognitive load*, sehingga kapasitas kognitif siswa dapat dialihkan pada aktivitas analitis dan reflektif yang lebih bermakna (Skulmowski & Xu, 2022). Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menempatkan kecerdasan buatan sebagai alat penyampaian materi, studi ini memosisikan *computer vision* sebagai *scaffolding* digital *real-time* untuk mendukung kemandirian prosedural siswa dalam praktikum IPA.

Tantangan dalam praktikum IPA tidak hanya berkaitan dengan pemahaman konsep, tetapi juga dengan rendahnya kemandirian prosedural siswa serta ketidakseimbangan rasio guru dan siswa di laboratorium. Kondisi ini semakin terlihat pada sekolah dengan frekuensi praktikum tinggi, di mana kebutuhan akan dukungan prosedural yang cepat dan akurat tidak dapat sepenuhnya dipenuhi oleh guru. Dalam satu sesi praktikum, guru harus memantau beberapa kelompok secara bersamaan, sehingga tidak mungkin memberikan respons prosedural secara serentak. Akibatnya, muncul fenomena yang dapat disebut sebagai *instructional queue*, yakni kondisi di mana siswa menunggu giliran mendapatkan penjelasan prosedural sementara alur praktikum terhenti. Untuk mengatasi hal tersebut, *computer vision* digunakan sebagai solusi dengan menyediakan dukungan prosedural *real-time* yang dapat diakses secara mandiri oleh setiap kelompok.

Penelitian ini merupakan kajian awal yang secara spesifik mengeksplorasi peran dukungan prosedural berbasis *computer vision* dalam praktikum IPA melalui pendekatan Penelitian Tindakan Kelas (PTK) dalam tiga siklus. Penelitian ini tidak hanya mengisi kesenjangan empiris, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan model praktis

implementasi *computer vision* dalam pendidikan sains. Penelitian ini menjawab dua pertanyaan, (1) bagaimana perkembangan kemandirian prosedural siswa pada setiap siklus praktikum yang mengintegrasikan *computer vision*; dan (2) bagaimana perubahan pola interaksi pedagogis antara guru dan siswa setelah implementasi *computer vision*.

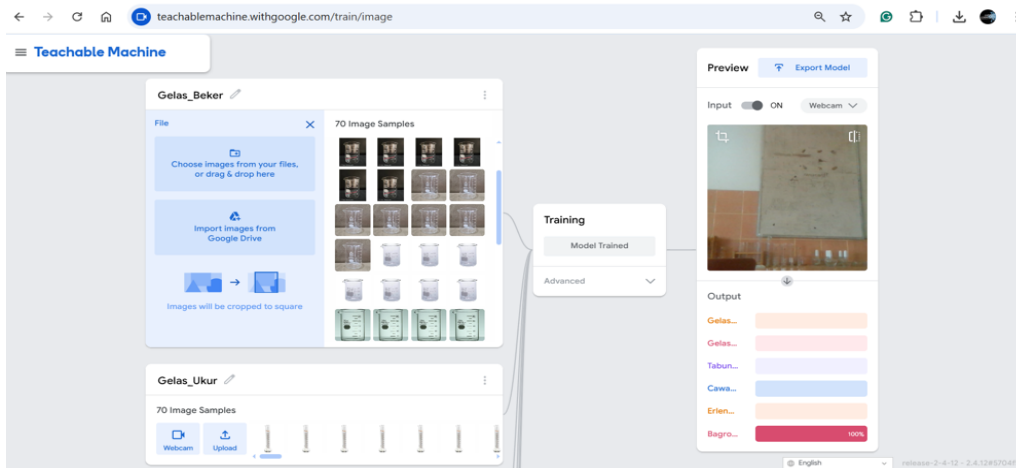
## **B. Metode**

Penelitian ini menggunakan desain Penelitian Tindakan Kelas (PTK) dengan pendekatan kualitatif interpretatif yang dilaksanakan dalam tiga siklus dan pada masing-masing siklus mencakup tahapan perencanaan, tindakan, observasi, dan refleksi (Maulana & Alimah, 2023). Desain ini dipilih karena permasalahan yang dikaji bersifat kontekstual dan berdasarkan praktik nyata guru di kelas, yakni rendahnya kemandirian prosedural siswa dalam praktikum IPA.

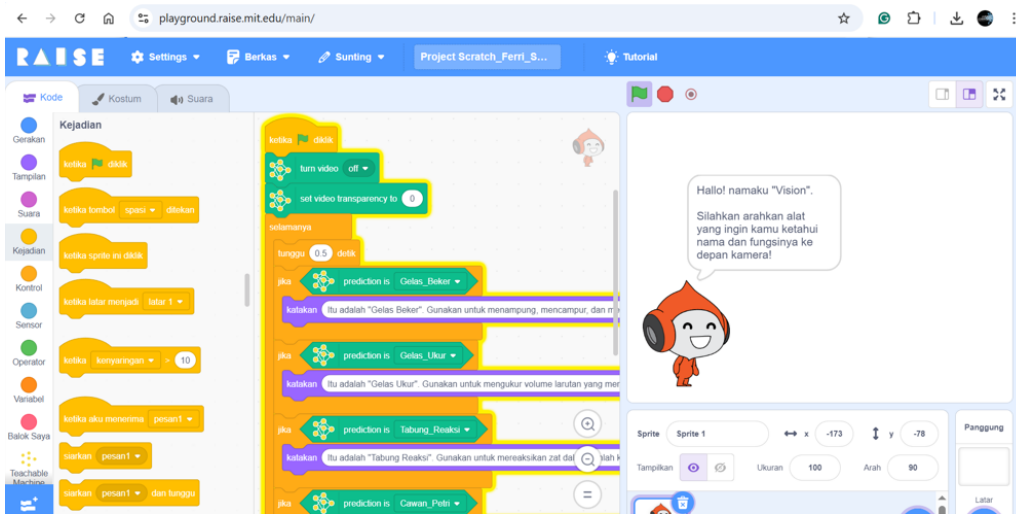
Penelitian dilaksanakan di kelas VIII SMP Yapindo, Kabupaten Tulang Bawang, Lampung, dengan subjek 25 siswa yang dibagi ke dalam lima kelompok heterogen berdasarkan kemampuan akademik. Penelitian dilakukan dalam tiga siklus praktikum dan setiap siklus berlangsung 80 menit dengan topik praktikum berbeda guna menguji konsistensi pola kemandirian prosedural siswa pada setiap sesi.

Berdasarkan hasil observasi pendahuluan, siswa yang menjadi subjek penelitian menunjukkan karakteristik yang relevan dengan tahap perkembangan kognitif awal remaja. Kemampuan berpikir abstrak yang dalam masa konsolidasi dan belum sepenuhnya matang tampak dalam perilaku siswa yang kerap menunggu konfirmasi guru sebelum mengambil keputusan prosedural sekecil apa pun (Irola & Kalifia, 2024; Novafianto & Andriyadi, 2024). Karakteristik ini menjadi salah satu pertimbangan pemilihan platform dengan antarmuka berbahasa Indonesia, serta desain antarmuka yang sederhana dan responsif menjadi prasyarat penting agar sistem tidak menambah beban kognitif.

Sistem *computer vision* diposisikan sebagai instrumen intervensi pedagogis yang dikembangkan melalui empat tahapan: pengumpulan citra lima kelas alat laboratorium, pelatihan model menggunakan transfer learning pada Teachable Machine, pengujian model, serta integrasi ke MIT RAISE Playground untuk operasionalisasi *real-time*. Proses pelatihan model *computer vision* pada Teachable Machine dan integrasi ke dalam MIT RAISE Playground ditampilkan pada Gambar 1 dan 2.

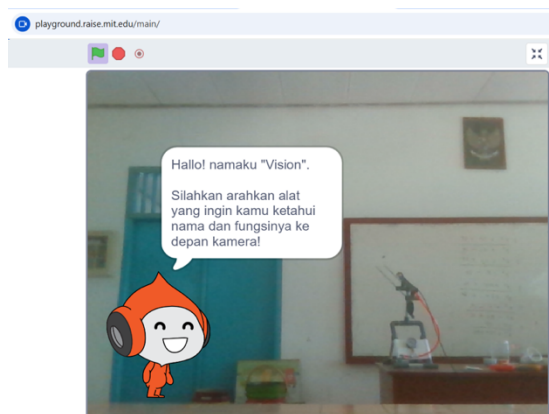


Gambar 1. Pelatihan model computer vision pada platform teachable machine

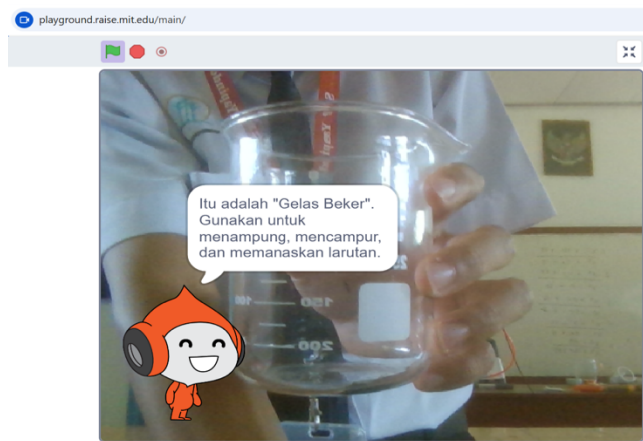


Gambar 2. Integrasi model computer vision pada platform MIT RAISE playground

Sistem *computer vision* dilatih untuk mengenali lima alat praktikum IPA berupa gelas beker, gelas ukur, tabung reaksi, cawan petri, dan erlenmeyer dengan akurasi 85–95% pada kondisi optimal, kemudian sistem akan menampilkan nama, fungsi, dan instruksi prosedural secara otomatis. Antarmuka sistem *computer vision* dirancang berbahasa Indonesia dengan tampilan minimal guna meminimalkan beban kognitif siswa. Untuk memperjelas bagaimana operasional sistem bekerja dalam mengenali objek, visualisasi antarmuka sebelum dan setelah proses deteksi disajikan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Antarmuka Sistem Computer Vision Sebelum Proses Deteksi Objek



Gambar 4. Antarmuka Sistem Computer Vision Saat Sistem Mendeteksi Objek

Data penelitian dikumpulkan melalui observasi terstruktur dengan peran *observer-as-participant*, dokumentasi visual, dan pencatatan lapangan reflektif pascasesi. Observasi difokuskan pada lima indikator kemandirian prosedural: (1) kemampuan identifikasi alat tanpa bantuan guru; (2) frekuensi pertanyaan prosedural; (3) Kepercayaan terhadap sistem *computer vision*; (4) Kemandirian pengambilan keputusan praktikum; dan (5) Fokus diskusi kelompok pada aspek konseptual.

Data dianalisis secara tematik melalui reduksi data, pengkodean terbuka, pengembangan kategori, dan penarikan interpretasi konseptual secara interaktif. Keabsahan data dijamin melalui triangulasi teknik, ketekunan pengamatan lintas siklus, dan reflektivitas peneliti sebagai pengendali bias interpretatif. Seluruh prosedur penelitian dilaksanakan dengan menjaga kesukarelaan partisipasi dan kerahasiaan identitas subjek.

## C. Hasil dan Pembahasan

### 1. Hasil

Bagian ini menyajikan temuan penelitian mengenai dampak implementasi *computer vision* terhadap perkembangan kemandirian prosedural siswa. Analisis difokuskan pada perubahan perilaku belajar siswa yang diamati secara bertahap sepanjang tiga siklus praktikum, serta pergeseran pola interaksi pedagogis yang terjadi antara siswa dan guru. Implementasi penggunaan sistem *computer vision* dalam praktikum IPA ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Implementasi sistem *computer vision* dalam praktikum IPA

Pada Siklus I (Familiarisasi Sistem) dengan topik pengenalan alat ukur laboratorium, guru menyiapkan prototipe berbasis *computer vision*, lembar kerja, serta instrumen observasi tanpa membatasi interaksi siswa dengan guru guna memotret kondisi awal. Pembelajaran diawali dengan demonstrasi penggunaan sistem, dilanjutkan praktikum mandiri di mana siswa bebas menggunakan teknologi yang tersedia, dan diakhiri dengan refleksi singkat. Observasi difokuskan pada frekuensi pertanyaan prosedural, pola penggunaan sistem, serta kendala teknis. Hasil refleksi menunjukkan adanya hambatan pada akurasi sistem dan kecepatan adaptasi siswa, yang menjadi dasar perbaikan pada siklus berikutnya.

Pada Siklus II (Penguatan Penggunaan Sistem) dengan topik pengukuran volume dan massa zat cair, perencanaan difokuskan pada penyempurnaan penggunaan sistem melalui panduan teknis serta revisi lembar kerja yang mendorong refleksi sumber informasi siswa. Pelaksanaan pembelajaran menekankan pengurangan intervensi guru

terhadap pertanyaan prosedural dan mendorong siswa memanfaatkan sistem terlebih dahulu. Observasi mencakup konsistensi penggunaan teknologi, kualitas interaksi dan diskusi kelompok, serta kecenderungan siswa melakukan verifikasi ganda. Refleksi menunjukkan adanya variasi tingkat kemandirian antar kelompok, sehingga diperlukan strategi diferensiasi pada siklus berikutnya.

Pada Siklus III (Konsolidasi Otonomi Prosedural) dengan topik identifikasi sifat larutan, perencanaan diarahkan pada penguatan aspek konseptual melalui lembar kerja yang lebih analitis dan reflektif. Dalam pelaksanaan, siswa diharapkan menggunakan sistem secara mandiri tanpa arahan ulang, sementara guru berperan sebagai fasilitator yang memantik diskusi konseptual. Observasi menitikberatkan pada spontanitas penggunaan teknologi, kualitas interaksi dan diskusi kelompok, serta pergeseran peran guru dalam praktikum IPA. Refleksi akhir menunjukkan perkembangan kemandirian prosedural, terlihat pada transformasi pendekatan pembelajaran yang lebih berpusat pada siswa.

Perkembangan kemandirian prosedural siswa diamati melalui beberapa indikator utama yang mencerminkan kemampuan menjalankan tahapan eksperimen tanpa ketergantungan tinggi terhadap arahan guru. Ringkasan perkembangan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perubahan kemandirian prosedural siswa dan kendala penggunaan sistem

| No. | Indikator Observasi                                | Siklus I                                          | Siklus II                              | Siklus III                                      |
|-----|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1.  | Kemampuan identifikasi alat tanpa bantuan guru     | Mulai muncul                                      | Semakin konsisten                      | Konsisten dan lebih cepat                       |
| 2.  | Frekuensi pertanyaan prosedural kepada guru        | Tinggi                                            | Menurun                                | Rendah                                          |
| 3.  | Kepercayaan terhadap sistem <i>computer vision</i> | Ragu-ragu                                         | Meningkat                              | Tinggi                                          |
| 4.  | Kemandirian pengambilan keputusan praktikum        | Terbatas                                          | Berkembang                             | Stabil                                          |
| 5.  | Fokus diskusi kelompok pada aspek konseptual       | Rendah                                            | Mulai terlihat                         | Dominan                                         |
| 6.  | Kendala penggunaan sistem <i>computer vision</i>   | Beberapa alat belum teridentifikasi secara akurat | Kesalahan identifikasi mulai berkurang | Tidak ada kendala yang mengganggu alur kegiatan |

Berdasarkan data pada Tabel 1, kemandirian prosedural siswa menunjukkan peningkatan bertahap sepanjang tiga siklus praktikum. Pada siklus I, sebagian besar siswa masih mengandalkan guru sebagai sumber informasi utama. Hal ini terlihat dalam catatan lapangan: “Hampir seluruh kelompok mengangkat tangan setidaknya tiga kali

dalam 20 menit pertama praktikum untuk bertanya. Pertanyaan yang diajukan hampir seragam, yakni menanyakan nama alat dan cara penggunaannya.” Kondisi ini menunjukkan bahwa ketergantungan prosedural masih sangat tinggi pada tahap awal implementasi teknologi.

Memasuki siklus II, perubahan mulai terlihat secara signifikan. Catatan lapangan siklus II mencatat: “Kelompok 3 tidak lagi mengangkat tangan menanyakan nama alat, melainkan langsung mengarahkan gelas ukur ke kamera laptop dan mendiskusikan fungsinya dalam kelompok sebelum memulai pengukuran”. Frekuensi pertanyaan prosedural kepada guru menurun, dan kepercayaan siswa terhadap sistem *computer vision* mulai meningkat meskipun belum sepenuhnya stabil. Beberapa siswa masih melakukan verifikasi ganda, yakni menggunakan sistem lalu mengonfirmasikan hasilnya kepada guru yang mengindikasikan transisi dari ketergantungan penuh menuju otonomi parsial.

Pada siklus III, perubahan tersebut semakin terkonsolidasi. Dokumentasi observasi siklus III menunjukkan bahwa “siswa dari empat kelompok aktif menggunakan sistem *computer vision* secara spontan sebelum guru sempat mendekat, diskusi kelompok berlangsung lebih lama dan berfokus pada interpretasi hasil pengamatan, bukan lagi pada identifikasi nama alat”. Fokus diskusi kelompok yang semula didominasi oleh klarifikasi teknis kini bergeser secara dominan menuju eksplorasi konseptual. Pergeseran fokus diskusi ini mengindikasikan adanya perubahan pola kognitif siswa dalam merespons aktivitas praktikum, yang akan dibahas lebih lanjut dalam kaitannya dengan teori beban kognitif pada bagian pembahasan.

Hasil observasi juga menunjukkan adanya kendala pada tahap awal implementasi, khususnya terkait akurasi pengenalan beberapa peralatan laboratorium yang belum sepenuhnya optimal. Catatan lapangan pada siklus I merekam: “Dua siswa dari kelompok 4 tampak kebingungan ketika sistem gagal mengenali erlenmeyer yang dipegang dengan sudut yang tidak tepat”. Kendala ini berkurang pada siklus berikutnya setelah siswa memahami cara memosisikan objek secara optimal, dan pada siklus III hampir tidak ada lagi kendala yang menghambat alur praktikum. Temuan ini menegaskan bahwa efektivitas *scaffolding* digital tidak semata ditentukan oleh kapabilitas teknis sistem, melainkan juga oleh proses familiarisasi pengguna, sebuah dimensi yang sering diabaikan dalam literatur implementasi teknologi pendidikan

Selain berdampak pada kemandirian prosedural siswa, implementasi sistem *computer vision* juga memengaruhi pola interaksi pedagogis antara guru dan siswa. Perbandingan

pola interaksi sebelum dan setelah implementasi sistem *computer vision* dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Pergeseran pola interaksi pedagogis selama implementasi *computer vision*

| No. | Aspek Interaksi                   | Sebelum Implementasi                        | Setelah Implementasi                                            |
|-----|-----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1.  | Sumber informasi dan rujukan      | Didominasi guru                             | Mulai bergeser ke sistem                                        |
| 2.  | Jenis pertanyaan siswa            | Didominasi pertanyaan teknis dan prosedural | Pertanyaan lebih konseptual                                     |
| 3.  | Peran guru                        | Pemberi instruksi prosedural                | Berangsur menjadi fasilitator                                   |
| 4.  | Fokus pengamatan guru             | Ketepatan penggunaan alat dan prosedural    | Mulai bergeser pada proses berpikir siswa dan dinamika kelompok |
| 5.  | Kualitas dialog pembelajaran      | Cenderung satu arah                         | Lebih dialogis meskipun partisipasi belum merata                |
| 6.  | Pola ketergantungan terhadap guru | Tinggi                                      | Menurun                                                         |
| 7.  | Adaptasi terhadap teknologi       | Tidak relevan                               | Sebagian siswa memerlukan waktu untuk beradaptasi               |

Pergeseran pola interaksi pedagogis menunjukkan implementasi *computer vision* tidak hanya memengaruhi aspek teknis praktikum, tetapi juga membentuk ulang struktur komunikasi pembelajaran di kelas. Jika sebelum implementasi guru berperan sebagai sumber informasi utama, setelah teknologi terintegrasi siswa mulai memanfaatkan sistem serta hasil diskusi kelompok sebagai rujukan belajar. Perubahan ini diikuti oleh transformasi karakter pertanyaan yang diajukan siswa, dari yang semula berfokus pada klarifikasi prosedural menuju eksplorasi yang lebih konseptual. Meskipun demikian, ketergantungan terhadap guru tidak sepenuhnya hilang, pada situasi tertentu siswa masih mencari konfirmasi untuk memastikan ketepatan tindakan, yang mengindikasikan bahwa redistribusi otoritas belajar berlangsung secara bertahap. Data menunjukkan bahwa pergeseran pola interaksi pedagogis berlangsung secara bertahap dan tidak seragam antar kelompok, mengindikasikan bahwa transformasi tersebut bersifat evolutif dan bergantung pada kesiapan pengguna.

## 2. Pembahasan

Implementasi sistem *computer vision* sebagai *scaffolding* digital dalam praktikum IPA mampu mengungkap dinamika pembelajaran dalam aspek teknis pelaksanaan eksperimen. Temuan penelitian menunjukkan bahwa siswa semakin mampu mengenali alat secara mandiri, tidak lagi menunggu arahan guru sebelum bertindak, serta memperlihatkan

keyakinan yang lebih stabil ketika mengambil keputusan. Perubahan tersebut tidak hanya menandakan peningkatan keterampilan prosedural, tetapi juga mengisyaratkan bergesernya *locus* kontrol dalam proses belajar dari guru menuju siswa dan sistem.

#### a. Teori Beban Kognitif (*Cognitive Load Theory*)

Perspektif teori beban kognitif (*Cognitive Load Theory/CLT*) memberikan kerangka konseptual yang kuat untuk memahami bagaimana implementasi teknologi dapat memengaruhi kualitas pemrosesan informasi siswa. CLT menegaskan bahwa kapasitas *working memory* bersifat terbatas sehingga desain pembelajaran perlu diarahkan untuk menghindari kelebihan beban mental yang berpotensi menghambat pembentukan skema pengetahuan jangka panjang (Rahmawati et al., 2024). Ketika beban mental terlalu tinggi, proses belajar menjadi kurang efektif karena sumber daya kognitif siswa terserap pada aktivitas yang tidak relevan dengan konstruksi pengetahuan (Sari et al., 2025).

Dalam konteks CLT, beban kognitif terdiri atas tiga komponen, yaitu *intrinsic load* (kompleksitas materi itu sendiri), *extraneous load* (beban yang dihasilkan oleh desain instruksional yang tidak efisien), dan *germane load* (upaya kognitif yang diarahkan pada pembentukan skema). Pada praktikum IPA sebelum implementasi *computer vision*, siswa secara bersamaan menanggung ketiga komponen sekaligus, mereka harus memahami konsep IPA (*intrinsic load*), mengidentifikasi alat (*extraneous load*), dan menghubungkan pengamatan dengan teori (*germane load*). Kondisi ini diduga menciptakan beban kognitif total yang melebihi kapasitas *working memory*, sehingga proses pembelajaran menjadi kurang efektif (Martella et al., 2024).

Ketika sistem *computer vision* hadir, sistem secara spesifik mengambil alih fungsi yang sebelumnya menciptakan *extraneous load* dan membuat identifikasi alat menjadi instan, terpercaya, dan dapat diakses tanpa antrian. Sistem menampilkan nama alat beserta fungsinya dalam bahasa yang mudah dipahami siswa, sehingga tidak menambah tuntutan kognitif baru. Dengan berkurangnya *extraneous load* secara signifikan, kapasitas *working memory* yang sebelumnya tersita untuk klarifikasi teknis kini dapat dialihkan pada aktivitas *germane* yang lebih bermakna, yakni penalaran ilmiah dan konstruksi konsep. Hal inilah yang menjelaskan mengapa fokus diskusi kelompok pada siklus III bergeser dari pertanyaan teknis menuju eksplorasi konseptual. Pergeseran ini bukan mencerminkan peningkatan kemampuan intelektual siswa secara intrinsik, melainkan mengindikasikan bahwa kapasitas *working memory* yang sebelumnya tersita oleh hambatan prosedural kini dapat dialokasikan untuk pemrosesan kognitif yang lebih bermakna. Temuan ini konsisten dengan argumen Skulmowski dan Xu (2022) bahwa pengurangan

*extraneous cognitive load* melalui penyajian informasi yang tepat waktu memungkinkan siswa mengalokasikan lebih banyak sumber daya kognitif untuk pemrosesan bermakna.

Studi Wahyuningtyas (2025) terhadap 221 siswa SMP menemukan korelasi negatif signifikan antara *cognitive load* dan motivasi belajar yang mengindikasikan bahwa semakin besar tuntutan mental yang dialami siswa, semakin rendah kecenderungan mereka untuk terlibat secara optimal dalam pembelajaran. Hal ini sesuai dengan pola yang diamati dalam penelitian ini, di mana penurunan frekuensi pertanyaan prosedural pada siklus II dan III diikuti oleh meningkatnya kualitas diskusi kelompok. Dengan demikian, implementasi *computer vision* dapat dipahami sebagai mekanisme reduksi beban kognitif yang secara tidak langsung mendorong motivasi dan keterlibatan belajar siswa.

### **b. Scaffolding Digital**

Konsep *scaffolding* berakar pada teori konstruktivisme sosial Vygotsky yang menekankan pentingnya dukungan temporer dalam membantu siswa mencapai tingkat kompetensi yang belum dapat diraih secara mandiri. Dalam konteks pembelajaran kontemporer yang terintegrasi teknologi, *scaffolding* tidak lagi terbatas pada interaksi langsung antara guru dan siswa, tetapi dapat dimediasi melalui sistem digital yang menyediakan panduan adaptif, umpan balik langsung, serta representasi visual (Marpaung et al., 2025).

Temuan penelitian ini menunjukkan pola *scaffolding* yang bertahap dan adaptif. Pada siklus I, sistem *computer vision* berfungsi sebagai sumber *scaffolding* eksternal yang menggantikan sebagian fungsi guru dalam menyediakan informasi prosedural. Memasuki siklus III, kehadiran *scaffolding* tersebut tidak lagi dibutuhkan secara intensif karena siswa telah menginternalisasi prosedur secara lebih mandiri. Pola ini selaras dengan penelitian Akmali dan Kusaeri (2024) yang menunjukkan bahwa *scaffolding* bekerja efektif ketika bantuan diberikan pada fase kritis pembelajaran, yakni saat siswa menghadapi ambang kesulitan yang berpotensi menghambat proses internalisasi konsep.

Fatkhurrozy (2024) menekankan bahwa sumber *scaffolding* tidak selalu harus berasal dari guru, tetapi bisa juga dari sumber belajar lain, termasuk teknologi yang dapat berperan sebagai agen pendamping dalam zona perkembangan proksimal siswa. Hal ini membuka ruang konseptual bahwa implementasi kecerdasan buatan merepresentasikan pergeseran dari *teacher-centered scaffolding* menuju *distributed pedagogical support*, di mana guru, sistem, dan interaksi antar-siswa secara bersama-sama membentuk ekosistem *scaffolding* yang lebih kaya dan adaptif. Temuan penelitian ini memberikan bukti empiris konkret untuk pergeseran konseptual tersebut dalam konteks praktikum IPA.

### c. *Self-Regulated Learning*

*Self-Regulated Learning* (SRL) merupakan kemampuan siswa untuk secara aktif mengelola proses pembelajaran secara mandiri melalui perencanaan, pemantauan, dan evaluasi terhadap strategi yang digunakan (Aulia et al., 2025). Temuan penelitian menunjukkan bahwa siswa tidak hanya mengikuti prosedur secara mekanis, tetapi mulai menunjukkan inisiatif dalam memverifikasi alat, memperbaiki kesalahan secara mandiri, serta merefleksikan hasil kerja. Hal ini terlihat pada catatan lapangan siklus III yang merekam bahwa siswa dari dua kelompok secara spontan mendiskusikan perbedaan hasil identifikasi sistem *computer vision* dengan yang tertera pada lembar kerja, kemudian mencari penjelasan konseptual atas perbedaan tersebut tanpa menunggu arahan guru. Hal ini menunjukkan indikasi kuat tentang mulai berkembangnya regulasi diri siswa.

Pola ini selaras dengan kajian sistematis Lan dan Zhou (2025) yang menemukan bahwa kecerdasan buatan memungkinkan siswa mengatur tujuan belajar dan memonitor kemajuan secara lebih terstruktur, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan regulasi diri. Rad (2025) juga menunjukkan bahwa intervensi kelas berbasis kecerdasan buatan terbukti mampu memberikan dukungan personal dan mendorong keterampilan metakognitif seperti penetapan tujuan dan refleksi diri. Kontribusi utama penelitian ini dalam diskursus SRL terletak pada bukti empiris bahwa regulasi diri tidak hanya dapat dikembangkan dalam konteks pembelajaran digital berbasis layar, tetapi juga dalam pengalaman *hands-on* praktikum IPA ketika didukung oleh *scaffolding* digital yang tepat.

### d. *Learner Agency*

Implementasi *computer vision* dalam pembelajaran tidak hanya berimplikasi pada peningkatan hasil belajar, tetapi juga berkontribusi terhadap penguatan *learner agency*, yaitu kapasitas siswa untuk secara sadar mengarahkan proses belajarnya. Sintesis penelitian terbaru menyoroti pentingnya menjaga *learner agency* agar kecerdasan buatan tidak mereduksi otonomi, melainkan memungkinkan siswa membentuk pengalaman belajarnya sendiri melalui sistem yang lebih adaptif (Williams & Onyeji, 2025). Temuan ini menunjukkan bahwa pola tersebut terwujud secara bertahap, pada siklus I siswa masih pasif menunggu teknologi memberikan jawaban, tetapi pada siklus III mereka aktif menggunakan sistem sebagai salah satu dari beberapa sumber informasi yang menandakan transisi dari *dependency* menuju *genuine agency*.

Jika disintesiskan secara menyeluruh, temuan penelitian ini mengarah pada satu konstruksi pedagogis yang koheren: (1) reduksi beban kognitif melalui dukungan

prosedural memungkinkan *scaffolding* berlangsung lebih efektif; (2) *scaffolding* digital yang adaptif membuka ruang bagi berkembangnya *self-regulated learning* siswa; dan (3) regulasi diri bertransformasi menjadi *learner agency* yang memosisikan siswa sebagai aktor utama dalam proses konstruksi pengetahuan. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi *computer vision* tidak hanya berdampak pada efisiensi teknis praktikum, tetapi juga berkontribusi terhadap perubahan pola interaksi belajar di kelas, dari pembelajaran yang berpusat pada kontrol instruksional menuju ekosistem belajar yang lebih partisipatif dan reflektif.

Perlu dicatat bahwa temuan ini juga mengungkap keterbatasan yang relevan secara pedagogis. Proses adaptasi teknologi memerlukan waktu di siklus awal, dan tidak semua siswa bergerak dengan kecepatan yang sama menuju otonomi prosedural. Hal ini mengimplikasikan bahwa implementasi *computer vision* dalam praktikum IPA harus disertai dengan strategi diferensiasi pedagogis untuk mengakomodasi perbedaan kesiapan teknologi dan gaya belajar siswa. Di samping itu, akurasi sistem yang belum sempurna mengisyaratkan bahwa guru tetap memainkan peran penting sebagai *safety net* dalam verifikasi prosedural, sehingga implementasi kecerdasan buatan yang ideal tidaklah menggantikan peran guru melainkan mendistribusikan ulang fungsi pedagogisnya.

#### **D. Penutup**

Praktikum IPA di jenjang SMP, selama ini menghadapi fenomena yang jarang dikaji, yaitu siswa gagal berpikir saintifik bukan karena tidak mampu, tetapi karena kapasitas kognitif mereka habis hanya untuk mengidentifikasi alat. Penelitian ini menunjukkan bahwa ketika beban prosedural dialihkan kepada sistem *computer vision*, siswa tidak sekadar menjadi lebih mandiri secara teknis, mereka mulai mengarahkan perhatian kognitifnya pada pemaknaan konseptual eksperimen, sebuah pergeseran yang mencerminkan berkembangnya orientasi ilmiah dalam belajar. Dua temuan utama penelitian ini saling menguatkan. Kemandirian prosedural siswa berkembang secara bertahap dan terkonsolidasi dalam tiga siklus, ditandai oleh spontanitas penggunaan sistem, penurunan ketergantungan terhadap guru, dan pergeseran diskusi kelompok dari klarifikasi teknis menuju eksplorasi konseptual. Sejalan dengan itu, peran guru bertransformasi dari pemberi instruksi menjadi fasilitator yang mendampingi proses berpikir secara lebih bermakna.

Secara konseptual, penelitian ini memperkuat sekaligus memperluas argumen Skulmowski dan Xu (2022) tentang *extraneous cognitive load* dengan memberikan bukti

empiris bahwa reduksi beban kognitif prosedural dalam konteks *hands-on* tidak hanya meningkatkan efisiensi praktikum, tetapi memicu rantai kausal yang lebih dalam, mulai dari *scaffolding* digital menuju *self-regulated learning*, dan dari regulasi diri menuju *learner agency* yang *genuine*. Ini adalah kontribusi yang belum diartikulasikan secara empiris dalam literatur pembelajaran sains berbasis kecerdasan buatan yang sebagian besar masih terbatas pada konteks *screen-based learning*. Secara praktis, penelitian ini menegaskan bahwa transformasi pedagogis berbasis kecerdasan buatan tidak mensyaratkan infrastruktur mahal. Bagi sekolah atau guru yang ingin mereplikasi pendekatan ini, mempunyai sebuah laptop, koneksi internet, dan reflektivitas sudah cukup menjadi titik awal.

Beberapa keterbatasan dalam penelitian ini perlu diakui sebagai batas epistemis temuan. Pertama, penelitian dilaksanakan dalam konteks satu sekolah dengan peneliti yang bertindak sebagai guru tunggal dalam tiga siklus praktikum, sehingga temuan tidak dimaksudkan sebagai generalisasi statistik, melainkan sebagai proposisi teoretis yang transferabilitasnya bergantung pada kemiripan konteks. Akurasi sistem yang belum sempurna dan variasi kecepatan adaptasi siswa mengindikasikan bahwa efektivitas *computer vision* sebagai *scaffolding* digital bersifat kondisional yang bergantung pada kualitas desain pedagogis, bukan hanya pada kapabilitas teknologinya.

Penelitian lanjutan disarankan menggunakan desain komparatif longitudinal multi-sekolah dengan variasi konteks sosioekonomi untuk menguji transferabilitas temuan. Secara khusus, dua pertanyaan mendesak perlu dijawab: apakah otonomi prosedural yang berkembang dalam praktikum IPA bertransfer ke domain belajar lain, dan bagaimana merancang sistem *scaffolding* diferensiatif yang responsif terhadap profil kognitif individual siswa? Jawaban atas keduanya akan menentukan apakah *computer vision* layak diposisikan sebagai infrastruktur pedagogis permanen dan bukan sekadar inovasi situasional. Ketika teknologi yang tepat bertemu dengan pedagogi yang reflektif, laboratorium sains akan menjadi tempat membangun pengetahuan.

## Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih secara khusus ditujukan kepada manajemen sekolah SMP Yapindo yang telah memberikan izin resmi serta memfasilitasi seluruh proses penelitian. Selain itu, penghargaan juga disampaikan kepada seluruh rekan guru dan tenaga kependidikan yang telah membantu kelancaran implementasi pembelajaran di lapangan, serta tidak lupa kepada para siswa yang telah berpartisipasi secara aktif, antusias, dan kooperatif selama kegiatan penelitian ini berlangsung. Semoga penelitian

ini dapat memberikan manfaat yang nyata bagi peningkatan kualitas pembelajaran IPA jenjang SMP.

## Daftar Pustaka

- Akmali, I. R., & Kusaeri, K. (2024). Mengintegrasikan Scaffolding dalam Cooperative Learning: Meningkatkan Interaksi dan Pemahaman Siswa. *Jurnal Basicedu*, 8(2), 2457-2465. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v8i3.7997>
- Astutik, P., & Elviana, E. (2025). Pengembangan Lembar Kerja Komik Berbasis Android untuk Menumbuhkan Kreativitas Belajar dan Meningkatkan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Nispatti*, 10(2), 159-176. <https://doi.org/10.26811/nispatti.v10i2.145>
- Aulia, N., Sagala, R. W., & Ginting, P. (2025). The Endorsement of Self-Regulated Learning Intercorporate with ELSA Speak AI to Boost Speaking Skill of Thai EFL Students. *Journal of English Language and Education*, 10(2), 284-297. <https://doi.org/10.31004/jele.v10i2.748>
- Fatkhurrozy, Y. (2024). Penerapan Scaffolding pada Zone of Proximal Development (ZPD) Kelas XI 7 SMAN 1 Malang. *Jurnal Pembelajaran, Bimbingan, dan Pengelolaan Pendidikan*, 4(3), 1-6. <https://doi.org/10.17977/um065.v4.i3.2024.14>
- Hamida, E., Andika, C., Aroma, N., Hadevi, M., & Rifai (2025). AI sebagai Asisten Pembelajaran: Bagaimana Teknologi Membantu Personalisasi Pendidikan untuk Setiap Siswa. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, 4(2), 6580-6585. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.1669>
- Irola, D., & Kalifia, A. D. (2024). Aspek Perkembangan Kognitif pada Masa Remaja. *Jurnal Pendidikan Sosial Humaniora*, 3(1), 128-132. <https://doi.org/10.30640/dewantara.v3i1.2111>
- Iskandar, S., Setiasari, D., Handayani, I., & Pratiwi, P. A. (2025). Implementasi Prinsip Pengembangan Kurikulum Merdeka dalam Pembelajaran Berbasis Teknologi di Sekolah Dasar. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(2), 195-208. <https://doi.org/10.23969/jp.v10i2.26187>
- Jeon, I. S., Kang, S. J., & Kang, S. J. (2024). A Staged Framework for Computer Vision Education: Integrating AI, Data Science, and Computational Thinking. *Applied Sciences*, 14, 1-19. <https://doi.org/10.3390/app14219792>
- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia (2025). *Pembelajaran Mendalam: Menuju Pendidikan Bermutu untuk Semua*. Jakarta: Pusat Kurikulum dan Pembelajaran, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia.
- Kurniawan, F., & Djukri, D. (2022). Enhancing Science Process Skills and Self-Regulation: Is It Better to Use Inquiry Interactive Demonstration Model?. *Jurnal Pendidikan Progresif*, 12(2), 881-897. <https://doi.org/10.23960/jpp.v12.i2.202238>

- Lan, M., & Zhou, X. (2025). A Qualitative Systematic Review on AI Empowered Self-Regulated Learning in Higher Education. *Npj Science of Learning*, 10(21), 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00319-0>
- Marpaung, M. M. S., Panggabean, E. M., & Tambunan, H. (2025). Strategi Scaffolding untuk Mengatasi Kesulitan Belajar Matematika Siswa Pada Materi Perbandingan Trigonometri di SMA. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 9(1), 7862-7868. <https://doi.org/10.31004/jptam.v9i1.25807>
- Martella, A. M., Lawson, A. P., & Robinson, D. H. (2024). Review: How Scientific Is Cognitive Load Theory Research Compared to the Rest of Educational Psychology?. *Education Sciences*, 14, 920. <https://doi.org/10.3390/educsci14080920>
- Maulana, S., & Alimah, N. (2023). Penerapan Media Pembelajaran Visual Berbantuan Gambar Representatif untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 7(3), 1123-1144. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v7i3.1361>
- Novafianto, F., & Andriyadi, F. (2024). Upaya Peningkatan Karakter Mandiri dan Rasa Ingin Tahu dengan Physics Mobile Learning dan Pembelajaran Kepo. *Jurnal Nispatti*, 9(1), 1-16. <https://doi.org/10.26811/nispatti.v9i1.187>
- Rad, H. S. (2025). Reinforcing L2 Reading Comprehension Through Artificial Intelligence Intervention: Refining Engagement to Foster Self-Regulated Learning. *Smart Learning Environments*, 12(23), 1-28. <https://doi.org/10.1186/s40561-025-00377-2>
- Rahmawati, A. D., Ardianzah, F., & Novitasari, P. (2024). Penerapan Teori Beban Kognitif dalam Pengajaran Matematika dalam Mengurangi Beban Kognitif Tak Esensial. *Jurnal Jendela Pendidikan*, 4(4), 463-472. <https://doi.org/10.57008/jjp.v4i04.1112>
- Sahar, A., Amri, H., Munfarikha, N., Kelana, A. H., & Islam, R. F. (2025). Pembelajaran IPA Berbasis Hands-on: Tinjauan Literatur Terhadap Pengembangan Keterampilan Proses Sains. *IMEIJ: Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 6(4), 4950-4957. <http://doi.org/10.54373/imeij.v6i4.3469>
- Salam, S. (2024). Implementasi Metode Praktikum terhadap Keterampilan Proses Sains Siswa Kelas IV pada Pembelajaran IPA Sekolah Dasar. *Journal on Education*, 7(1), 4672-4681. <https://doi.org/10.31004/joe.v7i1.7066>
- Saputra, I. G. P. E., Harnipa, & Akhfar, M. (2021). Development of Science Learning Device Oriented Guided Inquiry with Virtual Laboratory to Train Science Process Skills of Junior High School Students in Kendari. *JPPPF: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pendidikan Fisika*, 7(1), 13-22. <https://doi.org/10.21009/1.07102>
- Sari, F. F., Sudatha, I. G. W., Santoso, M. H., & Suartama, I. K. (2025). Mengurangi Beban Kognitif dalam Pembelajaran Matematika: Tinjauan Sistematis Strategi dan Intervensi Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Indonesia (JPPI)*, 5(3), 1630-1644. <https://doi.org/10.53299/jppi.v5i3.2190>

- Skulmowski, A., & Xu, K. M. (2022). Understanding Cognitive Load in Digital and Online Learning: A New Perspective on Extraneous Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 1(34), 171-179. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09624-7>
- UNESCO. (2021). *AI and Education: Guidance for Policy Maker*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://doi.org/10.54675/PCSP7350>
- Usman, U., Kholisoh, S., Rahayu, S., Aulia, A., & Alta, A. A. P. (2025). Implikasi Kecerdasan Buatan (AI) Terhadap Keterampilan Pembelajaran Abad 21. *Jurnal Basicedu*, 9(4), 1042-1049. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v9i4.10263>
- Wahyuningtyas, S. (2025). Cognitive Load and Learning Motivation in Junior High School Students. *Journal of Islamic and Muhammadiyah Study*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.21070/jims.v7i1.1628>
- Williams, P. O., & Onyeji, O. (2025). Unveiling the Effectiveness of Utilizing AI as Tools for Language Learning and Teaching. *J-LELC: Journal of Language Education, Linguistics, and Culture*, 5(2), 101-112. <https://doi.org/10.25299/j-lelc.2025.21624>
- Wulandari, T. R. (2025). Implementasi Pembelajaran Diferensiasi, Sosial dan Emosional dengan Media Pembelajaran Interaktif Si Peri Cantik. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 9(2), 457-478. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v9i2.1855>

