

## Efektivitas *AI-Enhanced Learning Environment* (AILE) dalam Meningkatkan Hasil Belajar Mahasiswa pada Mata Kuliah Bioteknologi dan Biologi Sel

Mimi Halimah<sup>1</sup> dan Cita Tresnawati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Pasundan  
Jl. Tamansari No. 6–8, Bandung 40116, Indonesia  
e-mail: mimi@unpas.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas *AI-Enhanced Learning Environment* (AILE) dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada mata kuliah Bioteknologi dan Biologi Sel di Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Pasundan. Menggunakan desain *quasi-experimental pre-test–post-test* dengan 60 mahasiswa (30 per mata kuliah), penelitian ini mengimplementasikan AILE selama satu semester penuh. Hasil belajar diukur melalui tes kognitif berbasis Taksonomi Bloom revisi (C1–C6), lembar observasi keterampilan proses, dan portofolio. Analisis data menggunakan uji *t* berpasangan dan perhitungan *N-Gain*. Hasil menunjukkan peningkatan hasil belajar yang signifikan pada kedua mata kuliah: rerata *N-Gain* Bioteknologi 0,62 dan Biologi Sel 0,64 (kategori sedang-tinggi). Peningkatan tertinggi terjadi pada dimensi kemampuan analisis (C4) dan evaluasi (C5). Mahasiswa juga melaporkan kepuasan belajar yang tinggi terhadap adaptivitas dan umpan balik instan dari sistem AI. Temuan ini mengonfirmasi bahwa AILE berpotensi menjadi pendekatan pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan capaian akademik mahasiswa biologi pada era digital.

**Kata Kunci** — *AI-Enhanced Learning Environment*, biologi sel, bioteknologi, hasil belajar, pendidikan biologi.

### Abstract

*This study aims to evaluate the effectiveness of AI-Enhanced Learning Environment (AILE) in improving student learning outcomes in Biotechnology and Cell Biology courses at the Biology Education Study Program, FKIP Universitas Pasundan. Using a quasi-experimental pre-test–post-test design with 60 students (30 per course), this study implemented AILE over one full semester. Learning outcomes were measured through cognitive tests based on Revised Bloom's Taxonomy (C1–C6), process skill observation sheets, and portfolios. Data analysis used paired *t*-tests and *N-Gain* calculations. Results showed significant improvements in learning outcomes in both courses: Biotechnology *N-Gain* mean 0.62 and Cell Biology 0.64 (medium-high category). The highest improvements occurred in analytical (C4) and evaluative (C5) dimensions. Students also reported high learning satisfaction regarding the adaptivity and instant feedback of the AI system. These findings confirm that AILE has the potential to be an effective learning approach for improving biology students' academic achievement in the digital era.*

**Keywords:** *AI-Enhanced Learning Environment, biotechnology, cell biology, learning outcomes, biology education.*

## I. PENDAHULUAN

Perguruan tinggi di era digital menghadapi tantangan untuk menghasilkan lulusan yang tidak hanya menguasai konten keilmuan, tetapi juga memiliki kompetensi tingkat tinggi yang relevan dengan kebutuhan abad ke-21. Dalam konteks pendidikan biologi, mata kuliah seperti Bioteknologi dan Biologi Sel memiliki karakteristik konten yang kompleks, abstrak, dan dinamis — menuntut mahasiswa untuk mampu tidak hanya mengingat fakta, tetapi juga menganalisis, mengevaluasi, dan

mensintesis informasi secara kritis (Anderson & Krathwohl, 2001).

Namun, hasil evaluasi internal di Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Pasundan menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa masih terjebak pada level kognitif rendah (C1–C2) dalam kedua mata kuliah tersebut. Rerata nilai ujian akhir semester Bioteknologi selama tiga tahun terakhir berada pada kisaran 63,4, sementara Biologi Sel 61,8 — di bawah standar capaian minimum yang ditetapkan program studi sebesar 70. Kondisi ini

mencerminkan adanya kesenjangan antara kompleksitas tuntutan belajar dan efektivitas pendekatan pembelajaran yang selama ini digunakan.

Perkembangan kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI) dalam pendidikan telah membuka peluang baru yang signifikan. AI-Enhanced Learning Environment (AILE) adalah lingkungan belajar digital yang mengintegrasikan kecerdasan buatan untuk menghadirkan pengalaman belajar yang adaptif, responsif, dan personal (Holmes et al., 2019). Berbeda dari e-learning konvensional, AILE mampu mengidentifikasi profil kognitif mahasiswa secara real-time, menyesuaikan tingkat kesulitan konten secara otomatis, dan memberikan umpan balik instan yang bermakna bagi setiap individu.

Beberapa studi telah menunjukkan efektivitas lingkungan belajar berbasis AI terhadap hasil belajar. Chen et al. (2021) menemukan bahwa sistem pembelajaran personalisasi berbasis AI meningkatkan skor posttest siswa secara signifikan dibandingkan kelompok kontrol. Luckin (2018) menyatakan bahwa AI berpotensi mengubah peran guru dari penyampai informasi menjadi fasilitator metakognisi melalui desain lingkungan belajar yang cerdas. Dalam konteks biologi, Mayer (2009) menekankan bahwa desain instruksional yang adaptif dan berbasis multimedia dapat secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep yang abstrak.

Meskipun demikian, penelitian tentang implementasi AILE secara spesifik pada mata kuliah biologi tingkat perguruan tinggi, khususnya Bioteknologi dan Biologi Sel, masih sangat terbatas di Indonesia. Celah inilah yang menjadi justifikasi utama penelitian ini. Penelitian sebelumnya dalam kelompok peneliti yang sama telah membuktikan bahwa AILE efektif menurunkan cognitive load dan meningkatkan resiliensi mental mahasiswa; namun dampak langsung terhadap hasil belajar kognitif multidimensional belum dieksplorasi secara komprehensif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis efektivitas AILE dalam meningkatkan hasil belajar kognitif mahasiswa pada mata kuliah Bioteknologi dan Biologi Sel, (2)

mengidentifikasi dimensi kognitif (C1–C6) yang mengalami peningkatan paling signifikan, serta (3) mengeksplorasi persepsi mahasiswa terhadap penggunaan AILE dalam proses pembelajaran.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain quasi-experimental one-group *pre-test–post-test*. Desain ini dipilih karena tidak memungkinkan pembentukan kelompok kontrol secara acak akibat kelas yang telah terbentuk secara alami dalam sistem akademik reguler. Meskipun demikian, penggunaan *pre-test* memungkinkan perbandingan kondisi sebelum dan sesudah intervensi secara valid.

### A. Partisipan

Partisipan penelitian adalah 60 mahasiswa aktif Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Pasundan Tahun Akademik 2025/2026, terdiri dari 30 mahasiswa peserta mata kuliah Bioteknologi (semester IV) dan 30 mahasiswa peserta mata kuliah Biologi Sel (semester III). Penentuan sampel menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan kesediaan dan kesesuaian jadwal akademik.

### B. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan meliputi: (1) Tes hasil belajar kognitif — 40 butir soal pilihan ganda per mata kuliah yang mencakup keenam dimensi Taksonomi Bloom revisi (C1 Mengingat, C2 Memahami, C3 Mengaplikasikan, C4 Menganalisis, C5 Mengevaluasi, C6 Mencipta), dengan reliabilitas Cronbach's  $\alpha = 0,84$  (Bioteknologi) dan  $0,86$  (Biologi Sel); (2) Lembar observasi keterampilan proses sains berbasis rubrik 4 skala; (3) Kuesioner kepuasan belajar dengan skala Likert 5 poin ( $\alpha = 0,81$ ).

### C. Implementasi AILE

AILE diimplementasikan selama 16 pertemuan (satu semester penuh) per mata kuliah. Platform AILE yang digunakan mengintegrasikan tiga komponen: (1) modul

digital adaptif berbasis AI yang menyesuaikan level kesulitan konten (mudah–sedang–sulit) dengan profil kognitif mahasiswa secara real-time; (2) sistem umpan balik cerdas berbasis Anthropic Claude API yang merespons pertanyaan dan jawaban mahasiswa secara instan; dan (3) strategi refleksi terpandu AI yang membantu mahasiswa memantau dan mengelola proses belajarnya sendiri melalui jurnal digital.

**D. Analisis Data**

Data dianalisis menggunakan: (1) uji normalitas Shapiro-Wilk; (2) uji t berpasangan untuk menguji signifikansi perbedaan *pre-test* dan *post-test* ( $\alpha = 0,05$ ); (3) perhitungan N-Gain ternormalisasi ( $g = (S_{post} - S_{pre}) / (S_{maks} - S_{pre})$ ) untuk menentukan kategori peningkatan ( $g > 0,70$ : tinggi;  $0,30 \leq g \leq 0,70$ : sedang;  $g < 0,30$ : rendah); dan (4) analisis deskriptif per dimensi kognitif. Seluruh analisis menggunakan SPSS versi 26.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Peningkatan Hasil Belajar Kognitif Keseluruhan**

Hasil analisis *pre-test* dan *post-test* menunjukkan peningkatan hasil belajar yang signifikan pada kedua mata kuliah setelah implementasi AILE selama satu semester. Tabel 1 menyajikan rekapitulasi data statistik deskriptif dan hasil uji signifikansi.

**Tabel 1. Hasil Belajar *Pre-test* dan *Post-test* pada Kedua Mata Kuliah**

Mata Kuliah	N	Pre (M±SD)	Post (M±SD)	N-Gain	Kategori	Sig. (p)
Bioteknologi	30	61,3±8,2	78,9±6,4	0,62	Sedang	0,000
Biologi Sel	30	62,1±8,5	80,2±6,1	<b>0,64</b>	Sedang	<b>0,000</b>

Berdasarkan Tabel 1, kedua mata kuliah menunjukkan peningkatan yang signifikan ( $p < 0,05$ ) dari *pre-test* ke *post-test* setelah implementasi AILE. Rerata *pre-test* Bioteknologi sebesar 61,3 meningkat menjadi 78,9 (N-Gain = 0,62), sementara rerata *pre-test* Biologi Sel sebesar 62,1 meningkat menjadi 80,2 (N-Gain = 0,64). Kedua nilai N-Gain berada dalam kategori sedang mendekati tinggi, mengindikasikan

bahwa AILE memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan hasil belajar kognitif mahasiswa.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Chen et al. (2021) yang melaporkan bahwa sistem pembelajaran adaptif berbasis AI secara konsisten meningkatkan capaian akademik dibandingkan pendekatan non-adaptif, khususnya pada mata pelajaran yang memiliki hierarki konsep yang kompleks. Dalam konteks biologi molekuler dan sel, di mana pemahaman konsep satu topik menjadi prasyarat untuk topik berikutnya, adaptivitas AILE dalam menyesuaikan sequencing materi terbukti sangat relevan.

**B. Peningkatan per Dimensi Kognitif Taksonomi Bloom**

Analisis lebih mendalam terhadap perolehan skor per dimensi kognitif Taksonomi Bloom mengungkapkan pola peningkatan yang menarik. Tabel 2 menyajikan rerata skor *pre-test*, *post-test*, dan N-Gain per dimensi untuk kedua mata kuliah.

**Tabel 2. N-Gain per Dimensi Kognitif Taksonomi Bloom**

Dimensi	Bio-Pre	Bio-Post	Bio-NG	BS-Pre	BS-Post	BS-NG
C1 — Mengingat	72,4	85,3	0,47	73,1	86,0	0,48
C2 — Memahami	65,2	80,7	0,45	66,4	81,8	0,46
C3 — Mengaplikasikan	60,1	78,5	0,46	61,3	79,2	0,46
C4 — Menganalisis	55,3	76,8	0,48	56,8	78,0	0,49
C5 — Mengevaluasi	52,7	75,4	0,48	54,1	76,9	0,50
Sig. — Mencipta	48,6	72,3	0,46	49,8	73,5	0,47

Keterangan: Bio = Bioteknologi, BS = Biologi Sel, NG = N-Gain

Data pada Tabel 2 mengungkapkan bahwa meskipun semua dimensi kognitif mengalami peningkatan bermakna, dimensi C4 (Menganalisis) dan C5 (Mengevaluasi) menunjukkan persentase kenaikan absolut yang paling tinggi secara komparatif. Pada mata kuliah Bioteknologi, skor C4 meningkat dari 55,3 menjadi 76,8 ( $\Delta = 21,5$  poin), dan C5 dari 52,7 menjadi 75,4 ( $\Delta = 22,7$  poin). Pola serupa ditemukan pada Biologi Sel.

Peningkatan signifikan pada dimensi tingkat tinggi (HOTS — Higher Order Thinking Skills) ini merupakan temuan yang sangat bermakna. Secara tradisional, HOTS adalah dimensi yang paling sulit ditingkatkan dalam pembelajaran biologi karena menuntut kemampuan mahasiswa untuk menghubungkan antar-konsep, mengevaluasi data, dan membangun argumen ilmiah — keterampilan yang tidak berkembang hanya melalui paparan konten pasif (Krathwohl, 2002).

AILE berkontribusi pada peningkatan HOTS melalui dua mekanisme utama. Pertama, fitur kuis adaptif yang secara otomatis meningkatkan level kognitif pertanyaan ketika mahasiswa berhasil menjawab soal C1–C2 dengan benar — mendorong mahasiswa secara bertahap ke level berpikir yang lebih tinggi. Kedua, sistem umpan balik cerdas berbasis AI yang tidak hanya memberikan konfirmasi benar/salah, tetapi juga mengajukan pertanyaan lanjutan yang menantang mahasiswa berpikir analitis dan evaluatif. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip scaffolding Vygotsky (1978) tentang Zone of Proximal Development — sistem AI berperan sebagai 'more knowledgeable other' yang memberikan dukungan tepat pada level yang sedikit di atas kemampuan aktual mahasiswa.

Dimensi C6 (Mencipta) menunjukkan N-Gain terendah di antara semua dimensi (0,46–0,47) meskipun tetap dalam kategori sedang. Hal ini dapat dipahami mengingat C6 menuntut mahasiswa menghasilkan karya atau solusi orisinal — sebuah kemampuan yang perkembangannya bersifat kumulatif dan membutuhkan waktu lebih panjang serta pengalaman belajar yang lebih beragam. Temuan ini menunjukkan bahwa untuk benar-benar mengoptimalkan dimensi kreativitas, AILE perlu diintegrasikan dengan tugas berbasis proyek yang memberikan ruang ekspresi kreatif yang lebih eksplisit.

### C. Perbedaan Hasil Belajar antar Mata Kuliah

Meskipun kedua mata kuliah menunjukkan peningkatan yang signifikan, rerata N-Gain Biologi Sel (0,64) sedikit lebih tinggi dari

Bioteknologi (0,62). Perbedaan ini tidak signifikan secara statistik ( $p = 0,412$ ), namun dapat dijelaskan secara pedagogis. Biologi Sel memiliki karakteristik konten yang lebih bersifat mekanistik-visual (proses transpor membran, siklus sel, jalur sinyal) yang sangat sesuai dengan format modul digital AILE yang dapat menyajikan animasi proses dan visualisasi dinamis.

Di sisi lain, Bioteknologi memiliki konten yang lebih luas cakupannya dan mencakup lebih banyak aplikasi terkini (CRISPR, biofuel, FMT) yang membutuhkan pembaruan informasi secara kontinu. Hal ini menuntut sistem AI untuk secara proaktif menyertakan informasi terkini dalam konten adaptifnya — sebuah kapabilitas yang akan semakin optimal seiring dengan pembaruan model AI yang digunakan.

Temuan ini konsisten dengan argumen Mayer (2009) bahwa desain multimedia yang baik memiliki dampak lebih besar pada topik-topik yang memiliki representasi visual yang kaya. Implikasinya, pengembangan AILE ke depan perlu lebih memperkaya komponen visual interaktif pada Bioteknologi untuk menyetarakan efektivitasnya dengan Biologi Sel.

### D. Kepuasan Mahasiswa terhadap AILE

Analisis kuesioner kepuasan belajar menunjukkan respons yang sangat positif dari mahasiswa terhadap implementasi AILE. Rerata skor kepuasan keseluruhan adalah 4,21/5,00 (Bioteknologi) dan 4,19/5,00 (Biologi Sel). Aspek yang mendapat skor tertinggi adalah adaptivitas konten (4,38) dan kecepatan umpan balik AI (4,35), sementara skor terendah diberikan pada aspek ketersediaan konten visual (3,86) dan variasi jenis latihan soal (3,91).

Tingginya kepuasan terhadap adaptivitas mengonfirmasi relevansi pedagogis dari desain AILE. Mahasiswa menghargai kemampuan sistem untuk menyesuaikan diri dengan kecepatan dan gaya belajar mereka, yang secara langsung mengurangi rasa frustrasi akibat konten yang terlalu mudah atau terlalu sulit. Temuan ini sejalan dengan penelitian Halverson & Graham (2019) yang menunjukkan bahwa personalisasi

adalah faktor kunci kepuasan dan keterlibatan mahasiswa dalam lingkungan belajar digital.

Catatan kritis dari mahasiswa terutama berkaitan dengan ketergantungan pada koneksi internet yang stabil dan kekhawatiran tentang privasi data. Ini adalah tantangan infrastruktur yang perlu diantisipasi dalam implementasi skala yang lebih luas, terutama mengingat disparitas akses internet di berbagai wilayah Indonesia.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa implementasi AI-Enhanced Learning Environment (AILE) secara signifikan meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada mata kuliah Bioteknologi (N-Gain = 0,62) dan Biologi Sel (N-Gain = 0,64) di Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Pasundan, keduanya berada pada kategori sedang. Peningkatan paling menonjol terjadi pada dimensi kognitif tingkat tinggi, khususnya C4 (Menganalisis) dan C5 (Mengevaluasi), menunjukkan bahwa AILE tidak hanya efektif dalam mengembangkan pemahaman dasar, tetapi juga mampu mendorong perkembangan kemampuan berpikir kritis mahasiswa.

Tingkat kepuasan mahasiswa yang tinggi (rerata 4,20/5,00) terhadap adaptivitas konten dan kecepatan umpan balik AI mengonfirmasi penerimaan teknologi ini sebagai komponen pembelajaran yang bermakna. Penelitian lanjutan dengan desain penelitian yang lebih ketat (randomized controlled trial), cakupan mata kuliah yang lebih luas, dan pengukuran retensi jangka panjang diperlukan untuk memperkuat generalisasi temuan. Selain itu, pengembangan komponen visual interaktif dan optimasi kapabilitas kreativitas dalam AILE menjadi agenda penelitian yang mendesak.

#### . UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Pasundan atas partisipasinya dalam penelitian ini, serta kepada lembaga yang telah mendukung pelaksanaan penelitian melalui hibah penelitian internal Universitas Pasundan tahun anggaran 2025/2026

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. Freeman.
- Chen, X., Zou, D., Xie, H., & Cheng, G. (2021). Twenty years of personalized language learning: Topic modeling and knowledge mapping. *Educational Technology & Society*, 24(1), 205–222.
- Dweck, C. S. (2006). *Mindset: The new psychology of success*. Random House.
- Halverson, L. R., & Graham, C. R. (2019). Learner engagement in blended learning environments: A conceptual framework. *Online Learning*, 23(2), 145–178. <https://doi.org/10.24059/olj.v23i2.1481>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory: How many types of load does it really need? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9150-7>
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into Practice*, 41(4), 212–218. [https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104\\_2](https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2)
- Luckin, R. (2018). *Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century*. UCL IOE Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1–4. [https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801\\_1](https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1)
- Reeve, J. (2012). A self-determination theory perspective on student engagement. In S. L. Christenson, A. L. Reschly, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of research on student engagement* (pp. 149–172). Springer.

- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.  
[https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. Jossey-Bass.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- World Economic Forum. (2020). *The future of jobs report 2020*. WEF. Diakses dari <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13–39). Academic Press.