

Implementasi Model Pembelajaran Edu SMART Terintegrasi AI untuk Meningkatkan Prestasi Belajar

Bayu Saputra^{1*}, Ni Putu Rahma Agustina, Mohammad Ahdiat, Chika Rahayu¹

¹ Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung.
Jalan Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Kota Bandar Lampung,
Lampung 35141, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail: bayu.saputra1988@fkip.unila.ac.id

Abstrak

Pendidikan tinggi menghadapi tantangan dalam membekali mahasiswa dengan keterampilan abad 21, kolaborasi, dan integrasi teknologi dalam pembelajaran. Dalam konteks pembelajaran Kimia Lingkungan, mahasiswa kerap mengalami kesulitan mengkaitkan konsep teoritis dengan kasus nyata seperti pencemaran lingkungan. Salah satu upaya untuk menjawab tantangan ini diperlukan sebuah model pembelajaran yang inovatif. Model pembelajaran inovatif yang dapat diterapkan yaitu model pembelajaran Edu SMART. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas model Edu SMART yang terintegrasi dengan teknologi AI untuk meningkatkan prestasi belajar mahasiswa. Integrasi AI seperti chatbot, virtual lab, dan sistem pembelajaran adaptif diyakini mampu memperkaya proses pembelajaran dengan memberikan umpan balik yang sesuai, visualisasi konsep, dan pengalaman belajar kontekstual. Metode penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuasi eksperimen dengan pretest postes kontrol grup design. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa model pembelajaran Edu SMART dapat meningkatkan prestasi belajar mahasiswa. Rata-rata nilai pembelajaran dengan menerapkan model ini sebesar 71,17 lebih besar dibanding pada kelas kontrol 69,57. Model Edu SMART memberikan dampak positif membantu memahami konsep, adaptif dan meningkatkan mahasiswa.

Kata Kunci: Edu SMART, Prestasi belajar, Model Pembelajaran

Pendahuluan

Pendidikan tinggi saat ini dihadapkan pada tantangan membekali mahasiswa dengan keterampilan abad 21, kolaboratif, berpikir kritis dan kemampuan memanfaatkan teknologi digital secara efektif (Iyamuremye et al., 2024). Pada matakuliah Kimia Lingkungan, mahasiswa kimia kesulitan menghubungkan konsep teoritis dengan kasus nyata, seperti pencemaran air dan udara (Iyamuremye et al., 2024). Penyampaian materi pada perkuliahan sering kali mengandalkan kuliah konvensional, hal itu membuat motivasi dan pemahaman mendalam mahasiswa menjadi kurang optimal penuhnya, berdampak pada prestasi belajar menjadi kurang maksimal.

Model pembelajaran inovatif menjadi solusi untuk memecahkan permasalahan tersebut. Salah satu model inovatif yang dapat diterapkan adalah model pembelajaran Edu SMART (Saputra, B., 2024). Model pembelajaran Edu SMART terdiri dari sintaks *Share*, *Measurable*, *Apply*, *Reorientation*, dan *Time to Reflection*. Sintaks ini dirancang untuk mendorong keterlibatan partisipasi aktif, menetapkan tujuan yang terukur, menghubungkan antara teori dengan praktik, menyesuaikan strategi belajar. Selain itu juga dapat memfasilitasi refleksi dalam pembelajarannya. Dengan penerapan model ini, mahasiswa diharapkan lebih terarah dalam pembelajaran dan mampu mencapai prestasi yang lebih baik.

Pelibatan Integrasi teknologi dalam pembelajaran, khususnya kecerdasan buatan atau biasa disebut dengan AI, dapat memperkaya Model Edu SMART tersebut. Studi terbaru menunjukkan bahwa platform AI seperti intelligent tutoring systems, virtual labs, dan pembelajaran adaptif mampu mentransformasi pendidikan kimia dengan memberikan visualisasi konsep kompleks, umpan balik, dan simulasi kontekstual (Iyamuremye et al., 2024; Saifi et al., 2024). Misalnya, penggunaan Ai berbasis *chatbot* seperti ChatGPT dalam pembelajaran kimia mendorong pemikiran kritis dan keterampilan pemecahan masalah mahasiswa (Santos, R. P. D. (2023). Oleh sebab itu, pelibatan integrasi AI pada sintaks *Measurable, Apply, dan Time to Reflection* dari Model Edu SMART diharapkan dapat menghasilkan pembelajaran yang lebih dinamis dan efektif.

Kendati demikian, sejauh ini penerapan AI dalam konteks Kimia Lingkungan belum banyak dikaji secara empiris di Indonesia. Penelitian di Nigeria, menunjukkan bahwa siswa yang dibimbing dengan instruksi berbasis AI mengalami peningkatan prestasi belajar dan pemahaman konseptual yang signifikan dibanding yang diajar secara tradisional (Zudonu et al., 2024). Sejalan dengan Wei Cui, Zhen Xue & Khanh-Phuong Thai (2019) yang dilakukan di China, bahwa pembelajaran melibatkan AI dapat meningkatkan prestasi belajar yang signifikan. Sementara penelitian di Jerman, pelibatan AI bernama *syntea* dalam pembelajaran dapat meningkatkan efisien pembelajaran dan proses percepatan pembelajaran.

Meski demikian, belum ada penelitian yang memadukan sintaks model pembelajaran Edu SMART dengan AI dalam pengajaran di tingkat universitas. Kesenjangan penelitian ini menjadi motivasi kuat untuk merancang acuan praktis dan bukti empiris tentang model pembelajaran inovatif tersebut.

Sebagai bahan pertimbangan tantangan dalam pembelajaran tingkat universitas, potensi Model pembelajaran Edu SMART serta potensi AI untuk memperkuat aspek pembelajaran, sehingga penelitian ini menjadi sangat relevan dilaksanakan. Dilakukannya penelitian ini untuk menganalisis efektivitas Model Edu SMART yang terintegrasi AI dalam meningkatkan prestasi dan pemahaman mahasiswa Pendidikan Kimia. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan metode pengajaran berbasis teknologi dan model sistematis pada tingkat pendidikan tinggi.

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan memberi suatu perlakuan berupa pembelajaran dengan menggunakan model pembelajaran Edu SMART terintegrasi AI pada kelas eksperimen dan pembelajaran konvensional pada kelas kontrol. Desain penelitian ini melihat perbedaan pretes dan postes peserta didik sebelum dan sesudah perlakuan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Metode penelitian yang digunakan adalah kuasi eksperimen dengan *pretest-posttest control group design* (Fraenkel et al, 2012).

Tabel 1 Desain penelitian

Kelas	Pretes	Perlakuan	Postes
Eksperimen	O	X ₁	O
Kontrol	O	C	O

Keterangan:

O : Kelas eksperimen dan kelas kontrol pretes

X₁: Perlakuan kelas eksperimen (pembelajaran dengan menerapkan model pembelajaran Edu SMART terintegrasi AI)

C: Pembelajaran kontrol (pembelajaran dilakukan secara konvensional)

Penelitian ini dilakukan pada mata kuliah kimia lingkungan. Populasi dalam penelitian ini yaitu mahasiswa semester genap 2024/2025 FKIP Unila. Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan dengan teknik *purposive sampling*, sehingga diperoleh kelas A sebagai kelas kontrol dan kelas B sebagai kelas eksperimen.

Prosedur peneliti ini dengan menentukan populasi dan sampel penelitian. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh mahasiswa program studi Pendidikan Kimia yang mengikuti kelas matakuliah Kimia Lingkungan pada semester genap tahun akademik berjalan. Sampel diambil dengan teknik *purposive sampling*, terdiri dari dua kelas, yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Prosedur tahap pelaksanaan penelitian meliputi tahap persiapan, dan penelitian. Adapun prosedur tahap pelaksanaan penelitian, dilakukan dalam beberapa langkah, sebagai yaitu:

A. Tahap Persiapan

Peneliti menyiapkan dan menyusun perangkat pembelajaran berbasis Model pembelajaran Edu SMART terintegrasi AI, berupa; penyusunan RPS Kimia Lingkungan, materi perkuliahan dan soal evaluasi.

B. Tahap Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di dua kelas yang telah ditetapkan: 1) pemberian pretes kepada mahasiswa 2) Pemberian pretes kepada mahasiswa di kelas eksperimen dan kelas kontrol untuk mengetahui kemampuan awal pada materi pencemaran lingkungan. 3) Pelaksanaan pembelajaran: pada kelas eksperimen menggunakan Model Pembelajaran EduSMART terintegrasi AI (seperti ChatGPT, laboratorium virtual, atau simulator berbasis web), sesuai lima sintaks: Share, Measurable, Apply, Reorientation, dan Time to Reflection. Sementara pada kelas kontrol menggunakan model pembelajaran konvensional (ceramah, diskusi, dan tugas mandiri). 4) Diakhir perkuliahan diberikan postes pada kedua kelas setelah siklus pembelajaran selesai. 5) Analisis data hasil belajar untuk mengetahui pengaruh dan efektivitas model pembelajaran terhadap hasil belajar mahasiswa. 6) Pembahasan dan kesimpulan berdasarkan data dan hasil analisis data.

Instrumen utama dalam penelitian ini yaitu berupa soal **pretes** dan **postes** yang mengukur capaian kognitif pada matakuliah kimia lingkungan. Data hasil belajar dianalisis menggunakan **Microsoft Excel 2019** untuk penghitungan awal dan **SPSS versi 25.0** untuk uji statistik lanjutan

Langkah-langkah pengolahan data sebagai berikut:

1. Menghitung skor jawaban peserta didik
2. Menghitung nilai pretes dan postes dengan rumus:

$$\text{Nilai} = \frac{\Sigma \text{ skor jawaban}}{\text{jumlah skor maksimal}} \times 100$$

3. Menghitung nilai **n-Gain** masing-masing peserta didik:

$$\text{gain} = \frac{\text{skor postes} - \text{skor pretes}}{100 - \text{skor pretes}}$$

4. Menghitung rata-rata nilai n-Gain:

$$\langle n\text{-Gain} \rangle = \frac{\Sigma n\text{-Gain peserta didik}}{\text{Jumlah peserta didik}}$$

5. Menafsirkan kriteria rata-rata nilai n-Gain berdasarkan klasifikasi Hake (2002):

N-GAIN	KRITERIA
> 0,7	Tinggi
0,3 < N-GAIN ≤ 0,7	Sedang
≤ 0,3	Rendah

3.1 Uji Statistik

Analisis data dilakukan untuk menguji:

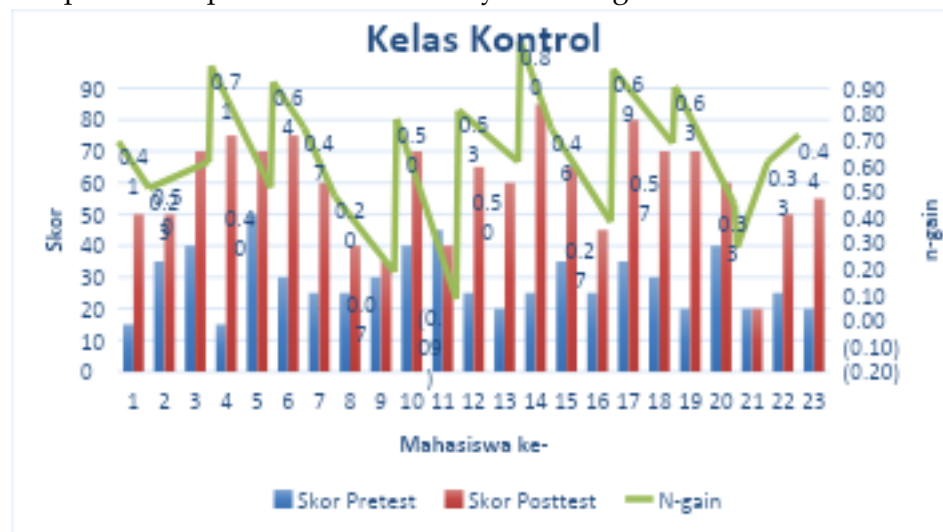
- **Normalitas** data menggunakan uji Shapiro–Wilk (signifikansi $> 0,05$)
- **Homogenitas** data dengan One Way ANOVA (signifikansi $> 0,05$)
- **Uji perbedaan dua rata-rata** nilai n-Gain antara kelas eksperimen dan kontrol menggunakan **independent sample t-test**

Hasil dan Pembahasan

Adapun hasil penelitian ini berupa data kuantitatif yang diperoleh melalui pretes dan postes pada kelas kontrol dan kelas eksperimen. Data utama berupa skor hasil belajar mahasiswa yang mencerminkan peningkatan pemahaman konseptual setelah pembelajaran. Data pendukung meliputi hasil observasi keterlibatan mahasiswa serta catatan keterlaksanaan sintaks model Edu SMART terintegrasi AI selama proses pembelajaran. Berikut ini disajikan hasil analisis data utama berupa nilai pretes dan postes mahasiswa pada kelas kontrol dan kelas eksperimen, dilanjutkan dengan perbandingan antara keduanya.

1. Hasil nilai pretes dan postes kelas kontrol

Hasil nilai pretes dan postes kelas kontrol yaitu sebagai berikut :



Gambar 1 Hasil pretes dan postes kelas kontrol

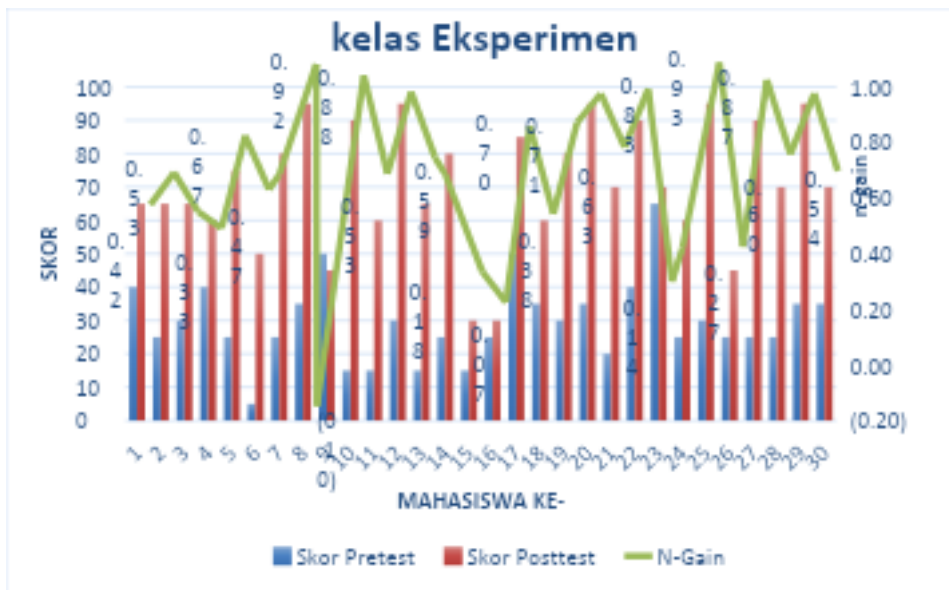
Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan hasil perhitungan skor pretest, posttest, dan N-gain untuk kelas kontrol. Dari grafik, terlihat bahwa skor pretest mahasiswa bervariasi antara sekitar 10 hingga 50, sedangkan skor posttest mengalami peningkatan signifikan, berkisar antara 30 hingga 70. Nilai N-gain, yang merepresentasikan tingkat peningkatan pemahaman mahasiswa, juga bervariasi di antara 0,07 hingga 0,80, dengan sebagian besar mahasiswa menunjukkan peningkatan sedang hingga tinggi. Secara keseluruhan, data ini mengindikasikan adanya peningkatan pemahaman mahasiswa setelah perlakuan atau pembelajaran, meskipun tingkat peningkatannya berbeda-beda antar individu.

Berdasarkan Gambar 3, dibawah terlihat bahwa skor pretes mahasiswa pada kelas kontrol masih rendah, dengan rata-rata sebesar **29,13**. Setelah dilakukan pembelajaran dengan metode konvensional, terjadi peningkatan skor postes menjadi **69,57**. Hal ini

menunjukkan adanya peningkatan hasil belajar pada kelas kontrol, meskipun peningkatannya belum terlalu tinggi. Nilai *n-Gain* pada kelas kontrol juga bervariasi, dengan sebagian mahasiswa mengalami peningkatan sedang dan sebagian lainnya rendah, sehingga pembelajaran konvensional hanya memberikan efek terbatas pada peningkatan prestasi belajar mahasiswa.

2. Hasil nilai pretes dan postes kelas eksperimen

Hasil nilai pretes dan postes kelas eksperimen yaitu sebagai berikut :



Gambar 2 Hasil pretes dan postes kelas eksperimen

Grafik di atas menyajikan data hasil belajar pada Kelas Eksperimen, yang membandingkan Skor Pretest, Skor Posttest, dan nilai *N-Gain* (Normalized Gain) untuk 29 mahasiswa. Secara umum, grafik menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam hasil belajar setelah intervensi eksperimen. Hal ini terlihat jelas dari Skor Posttest (batang oranye) yang hampir selalu lebih tinggi daripada Skor Pretest (batang biru) untuk setiap mahasiswa. Rata-rata Skor Pretest berada di kisaran 30-40, dengan nilai terendah bahkan mendekati nol (Mahasiswa ke-7), sementara Skor Posttest menunjukkan peningkatan substansial, seringkali mencapai rentang 60 hingga lebih dari 90. Nilai Posttest tertinggi dicapai oleh Mahasiswa ke-20 dan ke-29 (sekitar 90), dan nilai Pretest tertinggi dicapai oleh Mahasiswa ke-9 dan ke-11 (sekitar 50).

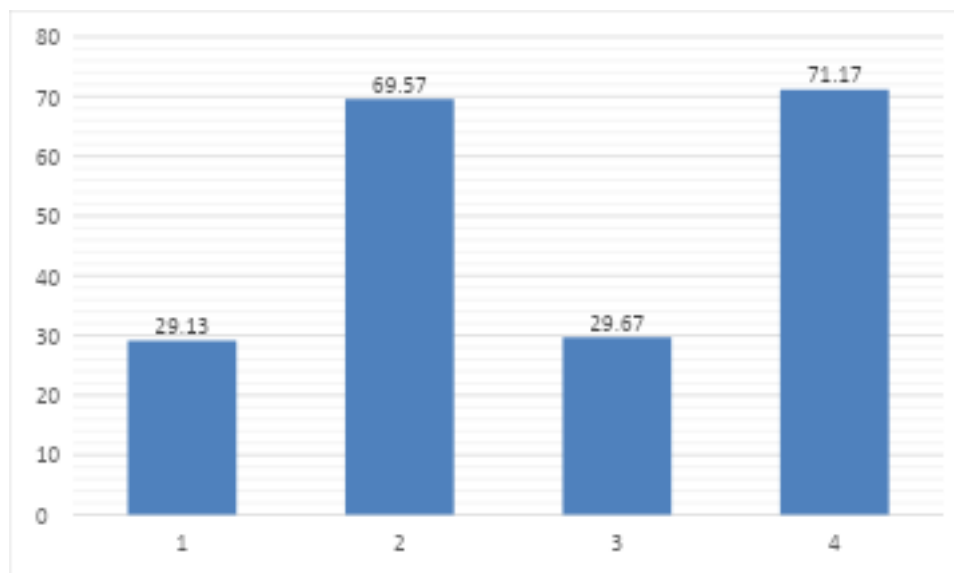
Peningkatan ini diukur oleh garis *N-Gain* (garis abu-abu), yang menggunakan sumbu sekunder di sebelah kanan (0,00 hingga 1,00). Mayoritas mahasiswa menunjukkan nilai *N-Gain* yang tinggi, mengindikasikan efektivitas perlakuan eksperimen. Nilai *N-Gain* tertinggi mencapai 0,93 (Mahasiswa ke-25), 0,92 (Mahasiswa ke-9), dan 0,88 (Mahasiswa ke-11), yang dikategorikan sebagai peningkatan tinggi. Meskipun mayoritas *N-Gain* positif, terdapat satu anomali pada Mahasiswa ke-9 yang menunjukkan nilai *N-Gain* negatif -0,10. Hal ini terjadi karena peningkatan skornya dari Pretest ke Posttest (sekitar 50 ke 53) relatif kecil dibandingkan dengan skor maksimum yang mungkin dicapai. Secara keseluruhan, data ini menguatkan bahwa intervensi yang diterapkan dalam Kelas Eksperimen terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman dan hasil belajar mahasiswa.

Berdasarkan Gambar 3, skor pretes mahasiswa pada kelas eksperimen juga relatif rendah, yaitu dengan rata-rata **29,67**. Namun setelah mengikuti pembelajaran menggunakan model **Edu SMART terintegrasi AI**, skor postes mahasiswa meningkat cukup signifikan

hingga mencapai rata-rata **71,17**. Peningkatan ini lebih konsisten dibandingkan dengan kelas kontrol, ditunjukkan dengan nilai n-Gain yang cenderung lebih tinggi dan merata. Hal ini mengindikasikan bahwa penerapan model Edu SMART terintegrasi AI mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih efektif dalam meningkatkan prestasi belajar mahasiswa.

1 Perbandingan nilai pretes dari dan postes dari kelas kontrol dan eksperimen

Adapun perbandingan rata-rata nilai pretes dan postes dari kelas kontrol dan kelas eksperimen adalah sebagai berikut :



Gambar 3 Perbandingan hasil pretes dan postes kelas eksperimen

Jika dibandingkan, baik kelas kontrol maupun kelas eksperimen sama-sama mengalami peningkatan dari pretes ke postes. Akan tetapi, peningkatan pada kelas eksperimen lebih signifikan dibandingkan kelas kontrol. Rata-rata postes kelas eksperimen (**71,17**) lebih tinggi daripada kelas kontrol (**69,57**), meskipun nilai pretes awal keduanya hampir sama. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pembelajaran dengan model **Edu SMART terintegrasi AI** lebih efektif dalam meningkatkan prestasi belajar mahasiswa dibandingkan dengan pembelajaran konvensional.

Uji statistik

1. Uji normalitas

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PreKontrol	,190	23	,031	,946	23	,244
PostKontrol	,144	23	,200*	,958	23	,429
PreEks	,120	23	,200*	,959	23	,453
PostEks	,132	23	,200*	,937	23	,153

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Analisis statistik terhadap hasil penelitian ini menunjukkan bahwa data memenuhi asumsi parametrik sehingga uji-T dapat diterapkan.

Uji Normalitas Shapiro-Wilk (yang lebih sesuai untuk sampel kecil N=23) menunjukkan bahwa

semua kelompok data (PreKontrol, PostKontrol, PreEks, dan PostEks) terdistribusi secara normal karena nilai signifikansi (p-value) untuk setiap kelompok $>0,05$ (berkisar antara 0,153 hingga 0,453).

2. Uji homogenitas

Menggunakan Shapiro wilk karna data $N < 50$

Homogenitas

Tabel 3. Hasil Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variance

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Nilai	Based on Mean	,575	1	51	,452
	Based on Median	,590	1	51	,446
	Based on Median and with adjusted df	,590	1	49,629	,446
	Based on trimmed mean	,726	1	51	,398

Selanjutnya, Uji Homogenitas Levene menunjukkan bahwa varians antar kelompok adalah homogen karena nilai signifikansi (Sig.) adalah 0,452, yang mana $>0,05$.

3. Uji t

Nilai based on Mean $> 0,05$

Tabel 32. Hasil Uji t

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
Nilai	Equal variances assumed	,575	,452	-2,400	51	,020	-11,703	4,876	-21,492	-1,914
	Equal variances not assumed			-2,453	50,415	,018	-11,703	4,771	-21,284	-2,122

Karena kedua asumsi (Normalitas dan Homogenitas) terpenuhi, maka kita menggunakan baris '*Equal variances assumed*' pada Uji T. Hasil dari Uji Independent Samples T-Test menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata skor yang signifikan secara statistik antara dua kelompok (Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol), dibuktikan dengan nilai signifikansi (p-value) 0,020, yang $<0,05$. Perbedaan rata-rata skor (-11,703) ini mengindikasikan bahwa rata-rata skor kelompok yang mendapatkan perlakuan (Posttest Eksperimen) secara signifikan lebih tinggi daripada kelompok pembandingan (Posttest Kontrol).

Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan model **Edu SMART terintegrasi AI** mampu meningkatkan prestasi belajar mahasiswa lebih tinggi dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Hal ini disebabkan karena model Edu SMART menyediakan sintaks pembelajaran yang sistematis (Share, Measurable, Apply, Reorientation, Time to Reflection) serta diperkaya dengan integrasi AI seperti chatbot dan laboratorium virtual. Fitur ini membantu mahasiswa memperoleh umpan balik instan, visualisasi konsep, dan kesempatan refleksi yang lebih mendalam sehingga hasil belajar lebih optimal.

Temuan ini selaras dengan teori belajar konstruktivisme yang menekankan pada

keterlibatan aktif mahasiswa dalam proses pembelajaran. Edu SMART terintegrasi AI mendorong mahasiswa untuk membangun pemahamannya melalui interaksi, penerapan konsep pada konteks nyata, dan refleksi. Penelitian Wang & Fan (2025) juga menunjukkan bahwa pemanfaatan AI dalam pembelajaran dapat meningkatkan prestasi akademik dengan *effect size signifikan* ($g = 0,867$), terutama pada kemampuan berpikir tingkat tinggi (HOTS). Hasil penelitian ini memperkuat bukti bahwa integrasi AI dapat mendukung peningkatan hasil belajar yang lebih bermakna.

Penerapan Edu SMART terintegrasi AI memiliki beberapa kelebihan, antara lain: 1). Memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan kontekstual. 2). Membantu mahasiswa memahami konsep abstrak dengan visualisasi digital dan simulasi. 3). Meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemampuan reflektif. Hal ini sejalan dengan penelitian Guo et al. (2024) model pembelajaran inovatif mampu meningkatkan pemahaman yang mendalam. Sementara itu Hasiana et al. (2024), mengatakan pembelajaran yang menggunakan pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan keterampilan kritis dan reflektif peserta didik. Secara keseluruhan intervensi pedagogis mampu meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Sururuddin et al. 2024). Penerapan model ini juga memiliki keterbatasan, seperti dalam pelaksanaannya perlu menggunakan teknologi seperti internet dan kemampuan pengguna terhadap teknologi. Selain itu pelibatan AI juga memiliki potensi distraksi mahasiswa yang dapat membuat mahasiswa tanpa arah. Meskipun demikian kondisi keterbatasan yang telah diuraikan diatas dapat diminimalisir. Sebab fasilitas internet saat ini telah memadai diberbagai institusi dan lembaga, termasuk kebiasaan menggunakan teknologi seperti AI oleh mahasiswa. Sehingga pembelajaran dapat berjalan seperti yang diharapkan.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa; Penerapan model pembelajaran **Edu SMART terintegrasi AI** terbukti mampu meningkatkan prestasi belajar mahasiswa pada mata kuliah Kimia Lingkungan. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai postes yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional pada kelas kontrol. Hasil perbandingan pretes dan postes menunjukkan bahwa baik kelas kontrol maupun kelas eksperimen mengalami peningkatan, namun peningkatan pada kelas eksperimen lebih signifikan. Rata-rata postes kelas eksperimen mencapai **71,17** lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar **69,57**, meskipun nilai pretes keduanya hampir sama. Penggunaan model **Edu SMART terintegrasi AI** memberikan dampak positif terhadap keterlibatan mahasiswa, membantu mereka memahami konsep abstrak melalui visualisasi, umpan balik adaptif, dan kesempatan refleksi yang lebih terstruktur. Dengan demikian, model Edu SMART terintegrasi AI dapat dikatakan lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan prestasi belajar mahasiswa.

Daftar Pustaka

- Allasadi, E. A., & Baiz, C. R. (2023). Generative AI in education and research: Opportunities, concerns, and solutions. *Journal of Chemical Education*, 100(8), 2965–2971. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00323>
- Cui, W., Xue, Z., & Thai, K. P. (2019). *Performance comparison of an AI-based Adaptive Learning System in China*. In Proceedings of the 10th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management and E-Learning (pp. 60–64). ACM.

- <https://doi.org/10.1145/3306500.3306531>
- Guo, R., Jantharajit, N., & Thongpanit, P. (2024). Construct an instructional approach based on collaborative learning and reflective learning for enhance students' analytical thinking and critical thinking skills. *Asian Journal of Contemporary Education*, 8(2), 115–125. <https://doi.org/10.55493/5052.v8i2.5184>
- Hasiana, I., Aisyah, A., Mudhar, M., Hartanti, J., & Mufidah, E. F. (2024). Efektivitas Model Pembelajaran Berbasis Project (PBL) untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Reflektif pada Mahasiswa. *Utile: Jurnal Kependidikan*, 10(2), 53–62. <https://doi.org/10.37150/jut.v10i2.3140>
- Iyamuremye, A. I., Niyongabo, F. N., Mukiza, J., Twagilimana, I., Nyirahabimana, P., Nsengimana, T., & Habiaryemye, O. (2024). Utilization of artificial intelligence and machine learning in chemistry education: A critical review. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00197-5>
- Iyamuremye, A. I., Niyongabo, F. N., Mukiza, J., Twagilimana, I., Nyirahabimana, P., Nsengimana, T., & Habiaryemye, O. (2024). *Utilization of artificial intelligence and machine learning in chemistry education: a critical review*. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00197-5>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Rizkiwati, B. Y., Mispandi, M., & Wardah, D. W. S. (2024). The Influence of PBL Based on a Pedagogical Approach on Improving the Critical Thinking Ability of MA NW Lenek Lauk Students. *Interdisciplinary Journal of Education*. <https://doi.org/10.61277/ije.v2i3.149>
- Saifi, S., Alam, N., & Ahmad, M. D. (2024). *Innovating Chemical Education: Leveraging Artificial Intelligence and Effective Teaching Strategies to Enhance Public Engagement in Environmental and Organic Chemistry*. ResearchGate.
- Santos, R. P. D. (2023). Enhancing chemistry learning with ChatGPT and Bing Chat as agents to think with: a comparative case study. *arXiv preprint arXiv:2305.11890*.
- Saputra, B. (2024). *Pengembangan Model Pembelajaran Edu SMART berorientasi HOTS*. Disertasi, Universitas Negeri Jakarta.
- Wang, J., & Fan, W. (2025). The effect of ChatGPT on students' learning performance, learning perception, and higher-order thinking: insights from a meta-analysis. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 621. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04787-y>
- Yamtinah, S., Astari, M. A., Masykuri, M., & Susilowati, E. (2022). Development of web-based TPACK scaffolding for online learning to enhance TPACK skills of preservice chemistry teachers. *Journal of Educators Online*. Retrieved from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1427762.pdf>
- Zudonu, C. A., Anyanwu, A. J., & Eze, D. O. (2024). *Artificial Intelligence-based Instructional Approach and Students' Academic Achievement in Chemistry in Nigerian Secondary Schools*. *International Journal of Educational Research and Development*, 13(2), 45–56.
- Zudonu, O. C., Osiah, C. U., Ogbu, M. O., Osu, A. D., Ndukwu, D. E., Afolabi, B. A., John, J. P., & Nkisa, O. D. (2024). Investigating the effect of artificial intelligence on chemistry and physics students' achievement and conceptual change in heat change. *International Journal of Chemistry and Chemical Processes* 10(3), 42–66. <https://doi.org/10.56201/ijccp.v10.no3.2024.pg42.66>