

Efektivitas Mikro Modul Laju Reaksi Berbasis Kimia Hijau Terintegrasi Proyek dalam Meningkatkan Karakter Lingkungan Mahasiswa

Army Auliah¹, Vika Puji Cahyani², Islawati³, Muhammad Jasri Djangi⁴, Andi Ahmad Maulana Asyaad⁵, Nurul Aini⁶

Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar^{1,2,3,4,5,6}

army.auliah@unm.ac.id¹, vika.puji.cahyani@unm.ac.id², islawati@unm.ac.id³

Corresponding Author: Army Auliah, Email: army.auliah@unm.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan karakter lingkungan penting dalam pembelajaran kimia karena pemahaman konsep kimia hijau dan penerapannya dapat meningkatkan kesadaran mahasiswa terhadap keberlanjutan serta tanggung jawab menjaga lingkungan. Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas mikro modul laju reaksi berbasis kimia hijau terintegrasi proyek dalam meningkatkan karakter lingkungan mahasiswa. Penelitian menggunakan pendekatan pra-eksperimen dengan desain one-group pretest-posttest. Subjek penelitian adalah 24 mahasiswa semester 2 Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Negeri Makassar yang dipilih secara purposive sampling. Instrumen yang digunakan meliputi mikro modul laju reaksi berbasis kimia hijau terintegrasi proyek, 25 soal HOTS pilihan ganda yang telah divalidasi ahli, serta kuesioner karakter lingkungan berisi 12 pernyataan dengan skala Likert 1–5. Data dianalisis secara deskriptif melalui perbandingan skor pretest dan posttest, perhitungan N-gain untuk pemahaman konsep dan karakter lingkungan, serta penentuan kategori efektivitas modul. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikro modul yang dikembangkan efektif meningkatkan pemahaman konsep dan karakter lingkungan mahasiswa. Skor rata-rata pemahaman konsep meningkat dari 62,67 menjadi 76,83 dengan N-gain 0,37 (kategori sedang), sedangkan skor rata-rata karakter lingkungan meningkat dari 4,18 menjadi 5,00 dengan N-gain 0,32 (kategori sedang). Modul ini juga mendorong kesadaran dan keterlibatan mahasiswa dalam praktik ramah lingkungan, seperti mengurangi penggunaan plastik, menekan jejak karbon pribadi, dan menggunakan transportasi yang lebih berkelanjutan.

KEYWORDS

Berbasis Proyek, Karakter Lingkungan, Kimia Hijau, Laju Reaksi, Mikro Modul.

ARTICLE DOI:

<https://doi.org/10.53696/venn.v5i4.456>

A. Pendahuluan

Kesadaran dan perilaku lingkungan merupakan aspek penting yang perlu dikembangkan dalam pendidikan tinggi, terutama di bidang sains (Boca & Saraçlı, 2019; Ma et al., 2023). Mata kuliah kimia, seperti Laju Reaksi, tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kompetensi akademik mahasiswa, tetapi juga berpotensi membentuk karakter lingkungan yang peduli terhadap keberlanjutan (Gupta et al., 2024; Janmaimool & Khajohnmanee, 2019). Salah satu pendekatan pembelajaran yang menjanjikan adalah integrasi prinsip kimia hijau dengan modul berbasis proyek, yang menekankan praktik kimia aman, efisien, dan ramah lingkungan (Eraslan et al., 2024; Pilare & Acledan, 2024).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa modul berbasis proyek mampu meningkatkan motivasi dan pemahaman konsep kimia (Dibyantini et al., 2023; Nainggolan et al., 2023; Siregar & Syafriani, 2024). Selain itu, integrasi prinsip kimia hijau dalam pembelajaran laboratorium

terbukti meningkatkan kesadaran mahasiswa terhadap isu lingkungan ([Dewi & Listyarini, 2022](#); Taha et al., 2019). Namun implementasinya masih terbatas pada aktivitas laboratorium konvensional tanpa modul terstruktur ([Burhanuddin et al., 2025](#); [Lestari et al., 2024](#)). Dengan demikian, terdapat kesenjangan penelitian terkait pengembangan mikro modul yang menggabungkan pembelajaran berbasis proyek dan prinsip kimia hijau secara sistematis untuk meningkatkan karakter lingkungan mahasiswa.

Fenomena gap terlihat dari kenyataan bahwa meskipun mahasiswa terpapar prinsip kimia hijau di laboratorium, perilaku dan karakter lingkungan yang konsisten jarang tercermin dalam aktivitas akademik maupun kehidupan sehari-hari ([Alharbi et al., 2025](#); [Arshad et al., 2020](#); [Mendes et al., 2025](#)). Banyak mahasiswa hanya memperoleh pengetahuan konseptual tanpa pengalaman praktik yang dapat membangun kesadaran dan tindakan nyata terhadap lingkungan ([Luan et al., 2025](#); [Moody-Marshall, 2023](#)). Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan modul atau media pembelajaran yang mengintegrasikan aspek lingkungan secara konkret masih sangat terbatas, terutama dalam format mikro modul yang mudah diakses dan diterapkan di berbagai konteks pembelajaran.

Research gap muncul karena studi-studi sebelumnya lebih menekankan pada modul berbasis proyek atau prinsip kimia hijau secara terpisah, sehingga bukti empiris mengenai efektivitas gabungan kedua pendekatan ini masih minim ([Asyhar & Minarni, 2024](#); [Burhanuddin et al., 2025](#); [Shetranjiwalla & Hu, 2023](#)). Belum banyak penelitian yang secara sistematis mengukur pengaruh penggunaan mikro modul kimia hijau berbasis proyek terhadap peningkatan karakter lingkungan mahasiswa, khususnya menggunakan indikator kuantitatif seperti N-gain ([Dewi & Listyarini, 2022](#); [Hikmah et al., 2025](#)). Dengan demikian, pengembangan dan evaluasi modul semacam ini menjadi kebutuhan yang mendesak untuk menjembatani kesenjangan teori dan praktik, sekaligus menyediakan model pembelajaran sains yang mendukung pendidikan berkelanjutan.

Urgensi penelitian ini semakin jelas jika dikaitkan dengan agenda pembangunan berkelanjutan global (SDGs), khususnya tujuan 4 (Pendidikan Berkualitas) dan tujuan 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab). Indonesia sebagai negara berkembang menghadapi tantangan dalam menanamkan kesadaran lingkungan sejak pendidikan tinggi, sementara praktik kimia laboratorium yang tidak ramah lingkungan masih umum ditemui ([Devendravigaya et al., 2016](#); [Eissa & Hassan, 2024](#); [Suárez-Perales et al., 2021](#); [Zhang et al., 2023](#)). Pengembangan mikro modul berbasis proyek dan kimia hijau tidak hanya relevan untuk meningkatkan literasi lingkungan mahasiswa, tetapi juga penting sebagai strategi pendidikan adaptif yang mampu membentuk generasi ilmuwan muda yang berkarakter, bertanggung jawab, dan mampu berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

Berdasarkan kesenjangan dan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas mikro modul laju reaksi berbasis kimia hijau terintegrasi proyek dalam meningkatkan karakter lingkungan mahasiswa. Secara spesifik, penelitian ini menggunakan N-gain sebagai indikator peningkatan karakter lingkungan. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi bagi pengembangan modul kimia berbasis proyek yang ramah lingkungan, peningkatan literasi dan karakter lingkungan mahasiswa serta strategi pembelajaran sains yang mendukung pendidikan berkelanjutan di perguruan tinggi.

B. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan pra-eksperimen dengan desain *one group pretest-posttest*. Desain ini memungkinkan peneliti mengevaluasi efektivitas mikro modul yang dikembangkan terhadap perubahan karakter lingkungan mahasiswa sebelum dan sesudah intervensi.

Subjek penelitian terdiri atas mahasiswa program studi pendidikan kimia pada semester 2 di Universitas Negeri Makassar dengan jumlah total sampel adalah 24 mahasiswa yang dipilih secara *purposive sampling*. Pemilihan subjek didasarkan pada kriteria bahwa mahasiswa tersebut mengikuti mata kuliah Kimia Dasar Lanjur terkait materi Laju Reaksi, bersedia mengikuti seluruh aktivitas yang terdapat dalam modul, serta menyetujui pengisian instrumen pra- dan pasca-tes.

Instrumen penelitian yang digunakan mencakup beberapa komponen. Pertama, mikro modul laju reaksi terintegrasi kimia hijau berbasis proyek, yang memuat teori singkat mengenai laju reaksi, aktivitas berbasis proyek yang menerapkan prinsip kimia hijau. Kedua, instrumen soal laju reaksi yang terintegrasi dengan kimia hijau untuk mengukur pemahaman konsep berupa 25 soal HOTS pilihan ganda yang telah divalidasi oleh ahli. Ketiga, berupa kuesioner yang berisi 12 pernyataan dengan skala likert 1-5 untuk menilai karakter lingkungan mahasiswa sebelum dan sesudah perlakuan. Adapun indikator instrumen untuk mengukur karakter lingkungan mahasiswa dapat dilihat pada Tabel 4. Prosedur penelitian dilaksanakan melalui tiga tahap utama. Pada tahap pra-pembelajaran, mahasiswa diminta mengisi pretest untuk menilai pemahaman awal konsep dan karakter lingkungan mereka. Tahap intervensi modul dilakukan dengan pembelajaran menggunakan mikro modul. Selama tahap ini, mahasiswa melaksanakan aktivitas proyek yang menerapkan prinsip kimia hijau, misalnya melalui penggunaan reagen ramah lingkungan dan pengurangan limbah laboratorium. Tahap pasca-pembelajaran melibatkan pengisian posttest menggunakan instrumen yang sama, dan hasilnya dianalisis menggunakan N-gain untuk menilai peningkatan pemahaman konsep dan karakter lingkungan mahasiswa.

Analisis data dilakukan secara deskriptif untuk memperoleh informasi mengenai rata-rata skor *pretest* dan *posttest*, peningkatan karakter lingkungan mahasiswa berdasarkan nilai N-gain, serta kategori efektivitas modul yang dibagi menjadi rendah, sedang, atau tinggi. Pendekatan ini memungkinkan penelitian untuk menilai secara sistematis sejauh mana mikro modul laju reaksi terintegrasi kimia hijau berbasis proyek berkontribusi terhadap pengembangan karakter lingkungan mahasiswa. Nilai N-Gain yang diperoleh kemudian dikategorisasi berdasarkan Tabel 1.

TABEL 1. Hasil Analisis Data

Nilai N-Gain	Kriteria
$0,70 \leq \text{N-Gain} \leq 1,00$	Tinggi
$0,30 \leq \text{N-Gain} < 0,70$	Sedang
$0,00 < \text{N-Gain} < 0,30$	Rendah
$\text{N-Gain} = 0,00$	Tetap
$-1,00 \leq \text{N-Gain} < 0,00$	Terjadi Penurunan

Rumus untuk mencari N-Gain adalah sebagai berikut:

$$N - Gain = \frac{\text{Skor Posttest} - \text{Skor Pretest}}{\text{Skor Maksimum Ideal} - \text{Skor Pretest}}$$

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

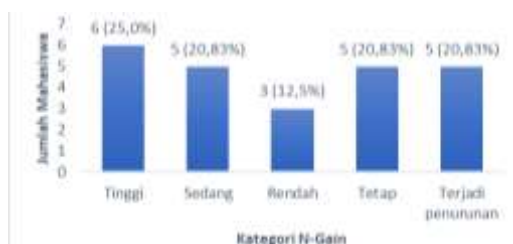
Uji efektivitas penggunaan mikro modul laju reaksi berbasis kimia hijau terintegrasi proyek dilakukan terhadap 24 mahasiswa dengan membandingkan skor *pretest* dan *posttest*, kemudian dianalisis menggunakan N-gain. Berdasarkan data penelitian, diperoleh rata-rata skor *pretest* sebesar 62,67 dan rata-rata skor *posttest* sebesar 76,83 pada kemampuan pemahaman konsep laju reaksi terintegrasi kimia hijau. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan skor sebesar 14,16 setelah mahasiswa mengikuti pembelajaran menggunakan mikro modul.

Mengacu pada rekap data penelitian, rata-rata N-gain yang diperoleh adalah 0,379, sehingga termasuk ke dalam kategori sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa mikro modul yang dikembangkan memiliki efektivitas yang cukup baik dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa terhadap materi laju reaksi terintegrasi kimia hijau. Distribusi N-gain mahasiswa yang telah di kategorisasi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

TABEL 3. Hasil Analisis Data Terkait Pemahaman Konsep Terhadap Materi Laju Reaksi Terintegrasi Kimia Hijau

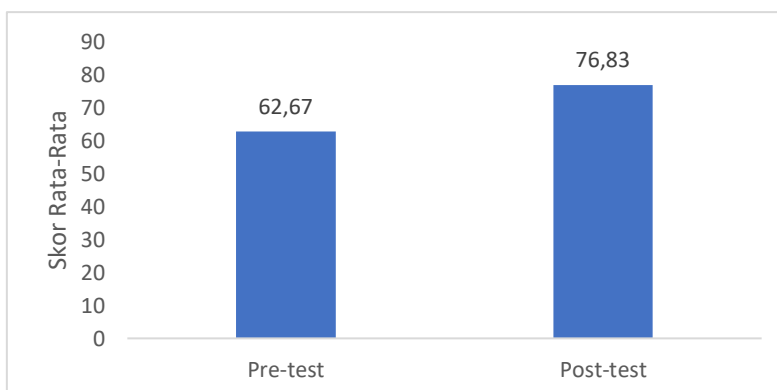
Kategori	Jumlah Mahasiswa	Persentase
Tinggi	6	25,00%
Sedang	5	20,83%
Rendah	3	12,50%
Tetap	5	20,83%
Terjadi penurunan	5	20,83%
Total	24	100%

Berdasarkan tabel 2, dapat dilihat bahwa 11 mahasiswa (45,83%) berada pada kategori sedang dan tinggi, yang menunjukkan bahwa hampir setengah dari jumlah responden mengalami peningkatan yang cukup baik hingga sangat baik. Sementara itu, terdapat 3 mahasiswa (12,50%) pada kategori rendah, 5 mahasiswa (20,83%) berada pada kategori tetap, dan 5 mahasiswa (20,83%) mengalami penurunan.



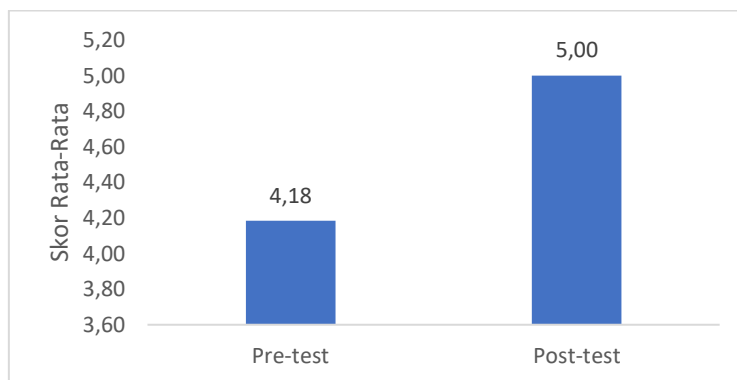
Gambar 2. Distribusi Kategori N-Gain Pemahaman Konsep

Gambar 2 menunjukkan bahwa kategori tinggi memiliki frekuensi tertinggi secara tunggal, yaitu 6 mahasiswa. Namun, jumlah mahasiswa pada kategori sedang, tetap, dan terjadi penurunan juga cukup besar. Hal ini menandakan bahwa efektivitas mikro modul belum merata pada seluruh mahasiswa.



Gambar 3. Perbandingan Rata-Rata Skor Pretest dan Posttest Pemahaman Konsep Mahasiswa

Berdasarkan Gambar 3, terlihat jelas bahwa rata-rata skor posttest lebih tinggi dibandingkan pretest. Kenaikan rata-rata dari 62,67 menjadi 76,83 nilai rata-rata N-gain 0,379 yang berada pada kategori sedang menunjukkan bahwa secara umum pembelajaran dengan mikro modul mampu memberikan dampak positif terhadap pemahaman konsep mahasiswa.



Gambar 4. Perbandingan Rata-Rata Skor Pretest dan Posttest Karakter Lingkungan Mahasiswa

Sebelum melihat detail perubahan pada masing-masing indikator karakter lingkungan, dilakukan analisis keseluruhan terhadap skor rata-rata pre-test dan post-test mahasiswa. Tujuannya adalah untuk menilai sejauh mana mikro modul berbasis kimia hijau terintegrasi proyek dapat meningkatkan kesadaran dan keterlibatan mahasiswa dalam aspek lingkungan. Gambar 4 menunjukkan perbandingan rata-rata skor *pretest* dan *posttest* karakter lingkungan mahasiswa. Terlihat adanya kenaikan skor rata-rata dari 4,18 pada *pretest* menjadi 5,00 pada *posttest*, yang menandakan peningkatan pemahaman dan kesadaran mahasiswa terhadap karakter lingkungan setelah mengikuti pembelajaran berbasis mikro modul.

TABEL 4. Hasil Analisis Data Karakter Lingkungan Mahasiswa

No	Indikator Karakter Lingkungan	N-Gain	Kategori
1	Pemahaman tentang tanggung jawab bersama dalam menjaga kebersihan.	0.25	Rendah
2	Kesadaran terhadap dampak plastik terhadap lingkungan dan upaya untuk mengurangnya.	0.53	sedang
3	Pemahaman dan kesadaran akan pentingnya mengurangi jejak karbon pribadi.	0.48	sedang
4	Frekuensi penggunaan transportasi umum atau berjalan kaki untuk mengurangi polusi udara.	0.46	sedang
5	Penggunaan produk ramah lingkungan dalam kehidupan sehari-hari.	0.06	rendah
6	Keterlibatan dalam kegiatan pelestarian alam dan daur ulang.	0.32	sedang
7	Peran aktif dalam edukasi lingkungan kepada teman-teman atau orang sekitar.	0.21	rendah
8	Kepatuhan terhadap kebijakan pelestarian lingkungan dan dukungan terhadap kebijakan kampus.	0.27	rendah

9	Keyakinan terhadap dampak dari tindakan kecil terhadap kelestarian lingkungan.	0.15	rendah
10	Pemahaman dan keyakinan terhadap tanggung jawab pribadi dan kolektif dalam menjaga keberlanjutan bumi.	0.09	rendah
11	Tingkat keterlibatan dalam organisasi atau komunitas yang berfokus pada isu lingkungan.	0.35	sedang
12	Keterlibatan dalam proyek-proyek lingkungan dan solusi berkelanjutan, seperti pengelolaan sampah dan energi terbarukan.	0.31	sedang
Rata-Rata		0.32	sedang

Analisis lebih lanjut menggunakan N-Gain menunjukkan bahwa rata-rata peningkatan seluruh indikator karakter lingkungan berada pada nilai 0,32 yang termasuk kategori sedang. Peningkatan tertinggi terdapat pada indikator yang berkaitan dengan kesadaran praktis mahasiswa terhadap tindakan yang berdampak langsung pada lingkungan, seperti:

1. Kesadaran terhadap dampak plastik dan upaya pengurangannya (N-Gain 0,53)
2. Pemahaman pentingnya mengurangi jejak karbon pribadi (0,48)
3. Penggunaan transportasi umum atau berjalan kaki untuk mengurangi polusi udara (0,46)

Sementara itu, beberapa indikator yang berkaitan dengan internalisasi nilai atau tanggung jawab kolektif, seperti penggunaan produk ramah lingkungan, peran aktif dalam edukasi lingkungan, dan keyakinan terhadap dampak tindakan kecil, menunjukkan peningkatan rendah (N-Gain 0,06–0,27). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun mahasiswa mampu meningkatkan praktik nyata terkait lingkungan, pembentukan sikap dan keyakinan yang lebih abstrak memerlukan intervensi tambahan atau pembiasaan jangka panjang. Hasil ini mengindikasikan bahwa mikro modul berbasis kimia hijau terintegrasi proyek efektif dalam meningkatkan karakter lingkungan mahasiswa, terutama pada aspek kesadaran dan tindakan nyata, namun aspek internalisasi nilai dan tanggung jawab kolektif masih perlu diperkuat melalui strategi pendampingan lebih lanjut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan mikro modul laju reaksi berbasis kimia hijau terintegrasi proyek memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan karakter lingkungan mahasiswa. Hal ini ditunjukkan oleh kenaikan rata-rata skor pretest ke *posttest*, serta nilai rata-rata N-gain yang berada pada kategori sedang. Dengan demikian, mikro modul yang dikembangkan dapat dikatakan cukup efektif dalam meningkatkan karakter lingkungan mahasiswa. Efektivitas tersebut dapat dijelaskan dari karakteristik modul yang mengintegrasikan prinsip kimia hijau dengan pembelajaran berorientasi proyek. Integrasi ini memungkinkan mahasiswa tidak hanya memahami konsep laju reaksi secara teoritis, tetapi juga mengaitkannya dengan praktik yang ramah lingkungan. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan [Chamidah & Mulyanti \(2021\)](#); [Harahap & Sutiani \(2023\)](#); [Mitarlis et al. \(2023\)](#); [Taha et al. \(2019\)](#); [Yunitamara et al. \(2023\)](#) dalam konteks ini pembelajaran menjadi lebih kontekstual karena mahasiswa dihadapkan pada aktivitas yang menuntut kepedulian terhadap penggunaan bahan, pengurangan limbah, efisiensi proses, dan tanggung jawab terhadap lingkungan. Situasi ini mendorong terbentuknya karakter lingkungan melalui pengalaman belajar yang lebih nyata dan bermakna.



Gambar 5. Kegiatan Praktikum Mahasiswa dalam Mikro Modul Terintegrasi Kimia Hijau Berorientasi Proyek

Temuan menunjukkan bahwa 25,00% mahasiswa berada pada kategori tinggi dan 20,83% pada kategori sedang menunjukkan bahwa mikro modul mampu memberikan dampak yang baik pada sebagian besar mahasiswa. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan [Gultom & Muchtar, \(2022\)](#); [Husni, \(2017\)](#); [Iriani et al. \(2019\)](#) menyatakan bahwa mahasiswa yang memperoleh N-gain tinggi diduga lebih mudah beradaptasi dengan model pembelajaran berbasis proyek, lebih aktif dalam proses pembelajaran, dan mampu menghubungkan materi kimia dengan isu lingkungan secara lebih mendalam. Selain itu, format mikro modul yang ringkas juga memungkinkan mahasiswa belajar secara lebih fokus dan mandiri ([Ariani et al., 2022](#); [Surahman et al., 2020](#); [Viendyasari et al., 2023](#)).

Namun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tidak semua mahasiswa mengalami peningkatan optimal. Masih terdapat 12,50% mahasiswa pada kategori rendah, 20,83% tetap, dan 20,83% mengalami penurunan. Temuan ini menunjukkan bahwa efektivitas mikro modul belum sepenuhnya merata. Ada beberapa kemungkinan yang dapat menjelaskan kondisi tersebut. Pertama, perbedaan kemampuan awal mahasiswa dapat memengaruhi besarnya peningkatan. Mahasiswa yang sejak awal telah memiliki skor tinggi cenderung memiliki ruang peningkatan yang lebih sempit. Misalnya, mahasiswa dengan skor pretest 96 atau 100 memiliki peluang peningkatan yang terbatas, sehingga ketika skor posttest tetap atau sedikit menurun, nilai N-gain dapat menjadi nol atau bahkan negatif. Dalam konteks ini, nilai penurunan tidak selalu menunjukkan kegagalan pembelajaran secara mutlak, melainkan juga dapat dipengaruhi oleh efek plafon (*ceiling effect*) ([Coletta & Steinert, 2020](#); [Staus et al., 2021](#)).

Kedua, pembentukan karakter lingkungan merupakan proses yang tidak instan. Karakter tidak hanya berkaitan dengan pengetahuan, tetapi juga sikap, kebiasaan, dan konsistensi perilaku. Oleh karena itu, intervensi dalam waktu yang relatif singkat mungkin belum cukup untuk menghasilkan perubahan yang merata pada seluruh mahasiswa. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan [Bailey et al. \(2017\)](#) yang menyatakan bahwa intervensi karakter singkat dapat meningkatkan pengetahuan, mindset, atau sikap dalam jangka pendek namun efeknya cepat memudar bila tidak didukung lingkungan dan tindak lanjut berkelanjutan. Hal ini menyebabkan sebagian mahasiswa hanya menunjukkan peningkatan kecil, tetap, atau bahkan tampak menurun pada hasil pengukuran akhir.

Ketiga, keberhasilan pembelajaran berbasis proyek sangat dipengaruhi oleh keterlibatan aktif mahasiswa. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [Umar & Ko \(2022\)](#) yang menyatakan bahwa dalam *project based learning*, secara langsung meningkatkan engagement dan efektivitas belajar; *engagement* sendiri berpengaruh positif terhadap efektivitas belajar, sehingga keberhasilan PBL banyak dimediasi oleh seberapa terlibat mahasiswa dalam tugas proyek dan kerja tim. Mahasiswa yang kurang terlibat dalam proses proyek, kurang reflektif terhadap isu lingkungan, atau kurang termotivasi mengikuti kegiatan pembelajaran cenderung memperoleh peningkatan yang

lebih rendah. Dengan demikian, efektivitas modul juga sangat dipengaruhi oleh faktor internal mahasiswa serta kualitas pendampingan selama implementasi ([Delita et al., 2022](#); [Kapo et al., 2024](#); [Shogren et al., 2024](#)).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa Mikro modul laju reaksi berbasis kimia hijau terintegrasi proyek berpotensi menjadi bahan ajar inovatif dalam pembelajaran kimia yang tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga mendukung pembentukan karakter lingkungan mahasiswa. Nilai rata-rata N-gain kategori sedang menunjukkan bahwa modul ini layak digunakan sebagai alternatif pembelajaran, meskipun masih diperlukan penyempurnaan dalam implementasinya agar dampaknya lebih merata.

D. Kesimpulan

Mikro modul laju reaksi berbasis kimia hijau yang terintegrasi proyek terbukti efektif dalam meningkatkan karakter lingkungan mahasiswa. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan hasil belajar (pemahaman konsep) dilihat dari skor rata-rata pretest ke posttest dari 62,67 menjadi 76,83, yang mengindikasikan adanya peningkatan pemahaman konsep. Selain itu, nilai rata-rata N-Gain sebesar 0,379 (kategori sedang) menandakan bahwa modul memberikan dampak positif yang cukup signifikan, terutama pada aspek kesadaran dan tindakan nyata terkait pelestarian lingkungan. Peningkatan karakter lingkungan mahasiswa juga terlihat dari kenaikan rata-rata skor post-test dari 4,18 menjadi 5,00, dengan rata-rata N-Gain sebesar 0,32 (kategori sedang). Peningkatan tertinggi terjadi pada indikator kesadaran terhadap dampak plastik (N-Gain 0,53), pengurangan jejak karbon pribadi (N-Gain 0,48), dan penggunaan transportasi ramah lingkungan (N-Gain 0,46), sementara beberapa indikator yang berkaitan dengan internalisasi nilai dan tanggung jawab kolektif masih menunjukkan N-Gain rendah (0,06–0,27), menunjukkan perlunya intervensi tambahan atau pembiasaan berkelanjutan. Secara keseluruhan, mikro modul ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep kimia hijau secara teoritis, tetapi juga mendorong keterlibatan mahasiswa dalam praktik nyata yang mendukung keberlanjutan lingkungan, sehingga modul ini layak dijadikan bahan ajar inovatif dalam pembelajaran kimia dengan fokus pada pengembangan karakter lingkungan.

Daftar Pustaka

- Alharbi, H. S., Alotaibi, B. H., Alotaibi, S. S., Alqahtani, A. T., Alotaibi, H. F., Alqurashi, Y., Almoshawah, Y. A., & Abdel-Daiem, M. M. (2025). From Knowledge to Action: Investigating Sustainability Awareness, Behavior, and Attitude Among Engineering Students at Shaqra University. *Sustainability (Switzerland)*, 17(13). <https://doi.org/10.3390/su17135854>
- Ariani, D., Prawiradilaga, D. S., & Fatharani, W. (2022). Microlearning untuk Produksi Ragam Learning Object Materials. *Jurnal Pembelajaran Inovatif*, 5(2), 18–24. <https://doi.org/10.21009/jpi.052.04>
- Arshad, H. M., Saleem, K., Shafi, S., Ahmad, T., & Kanwal, S. (2020). Environmental awareness, concern, attitude and behavior of university students: A comparison across academic disciplines. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(1), 561–570. <https://doi.org/10.15244/pjoes/122617>
- Asyhar, R., & Minarni, M. (2024). Development of An Environmental Chemistry Module Based on Green Chemistry Principles Through Project Activities. *Journal of The Indonesian Society of*

- Integrated Chemistry*, 16(1), 75–85. <https://doi.org/10.22437/jisic.v16i1.31744>
- Bailey, D., Duncan, G. J., Odgers, C. L., & Yu, W. (2017). Persistence and Fadeout in the Impacts of Child and Adolescent Interventions. *Journal of Research on Educational Effectiveness*, 10(1), 7–39. <https://doi.org/10.1080/19345747.2016.1232459>
- Boca, G. D., & Saraçlı, S. (2019). Environmental education and student's perception, for sustainability. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 6). Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su11061553>
- Burhanuddin, E., Danial, M., Arsyad, M., & Zubair, S. (2025). Development of green chemistry teaching modules based on project based learning in class X. *Journal of Educational Analytics*, 4(2). <https://doi.org/10.55927/jeda.v4i2.92>
- Chamidah, A. N., & Mulyanti, S. (2021). Green Chemistry-Based Reaction Rate Practice Through Online Media: An Analysis of Teachers' and Students' Responses. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 4(2), 134–144. <https://doi.org/10.24042/ij sme.v4i2.8425>
- Coletta, V. P., & Steinert, J. J. (2020). Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories. In *Physical Review Physics Education Research* (Vol. 16, Issue 1, p. 10108). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010108>
- Delita, F., Berutu, N., & Nofrion. (2022). Online Learning: the Effects of Using E-Modules on Self-Efficacy, Motivation and Learning Outcomes. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 23(4). <https://doi.org/10.17718/tojde.1182760>
- Devendravijaya, K., Durga, G., Mangaveni, P., Bhushanavathi, P., & Sarada, P. (2016). Green Chemistry Principles Vis-a-Vis Healthy Practices for College Chemistry Laboratories. *Global Journal for Research Analysis*, 4.
- Dewi, N. K., & Listyarini, R. V. (2022). Development of Green Chemistry-Based Practicum Module for Senior High School to Promote Students' Environmental Literacy. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 10(3), 641–653. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v10i3.25163>
- Dibyantini, R. E., Amdayani, S., Siregar, M. I., & Syafriani, D. (2023). Application of STEM-PjBL Based Chemistry Module to Improve Science Literacy and Student Learning Motivation. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(SpecialIssue), 95–102. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9ispecialissue.5872>
- Eissa, F. M., & Hassan, N. (2024). Designing green and sustainable experiments for undergraduate organic chemistry labs. *Aswan University Journal of Environmental Studies*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/aujes.2024.325844.1290>
- Eraslan, M., KIR, S., Turan, M. B., & Iqbal, M. (2024). Sustainability Consciousness and Environmental Behaviors: Examining Demographic Differences Among Sports Science Students. *Sustainability (Switzerland)*, 16(24). <https://doi.org/10.3390/su162410917>

- Gultom, E. R., & Muchtar, Z. (2022). Penerapan Model Pembelajaran Berbasis Proyek Pada Pembelajaran E-Learning Materi Kesetimbangan Kimia. In *Educenter: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 1(4). <https://doi.org/10.55904/educenter.v1i4.91>
- Gupta, D. M. S., Samrutwar, A. M., Rahandale, A. M., & Edlabadkar, A. A. (2024). The Influence of Environmental Education on College Students' behavioural Attitudes towards Sustainability. *Journal of Learning and Educational Policy*, 46, 48–58. <https://doi.org/10.55529/jlep.46.48.58>
- Harahap, S. R. D., & Sutiani, A. (2023). Development of a Guidebook for Based Chemistry Practices Green Chemistry in Reaction Rate Materials. In *Jurnal Ilmu Pendidikan Indonesia*, 11(1). <https://doi.org/10.31957/jipi.v11i1.2745>
- Hikmah, N., Asyhar, R., & Zurweni, Z. (2025). Development of a Project-Based e-Module to Strengthen the Profile of Pancasila Students on Green Chemistry Materials in Senior High School. *Journal of Educational Learning and Innovation (ELIa)*, 5(1), 28–41. <https://doi.org/10.46229/elia.v5i1.990>
- Husni, H. (2017). Implementasi Pembelajaran Kimia Berbasis Lingkungan Dengan Model Problem Based Learning (Pbl) Untuk Meningkatkan Minat Dan Keterampilan Berpikir Kritis Pada Siswa Sma. In *Lantanida Journal*, 3(2). <https://doi.org/10.22373/lj.v3i2.1656>
- Iriani, R., Herlina, A., Irhasyuarna, Y., & Sanjaya, R. E. (2019). Modul pembelajaran problem-based learning berbasis lahan basah untuk mempersiapkan calon pendidik berwawasan lingkungan lahan basah. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 5(1), 54–68. <https://doi.org/10.21831/jipi.v5i1.23337>
- Janmaimool, P., & Khajohnmanee, S. (2019). Roles of environmental system knowledge in promoting university students' environmental attitudes and pro-environmental behaviors. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/su11164270>
- Kapo, A., Milutinovic, L. D., Rakovic, L., & Maric, S. (2024). Enhancing e-learning effectiveness: analyzing extrinsic and intrinsic factors influencing students' use, learning, and performance in higher education. *Education and Information Technologies*, 29(8), 10249–10276. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12224-3>
- Lestari, N. A., Sulistyowati, D., Dellatiani, Y., Irawan, N. Z. P., Fadhilah, A., & Muyassaroh, A. (2024). Implementation of green chemistry approaches in chemistry labs instruction: A systematic literature review. In *Jurnal Pendidikan Kimia*, 16(3), 263–277. <https://doi.org/10.24114/jpkim.v16i3.63398>
- Luan, H., Syu, Y. L., Lee, M. H., & Tsai, C. C. (2025). Exploring Undergraduate Students' Conceptions of Environmental Education Through Phenomenographic Analysis. In *Science Education*, 109(3). <https://doi.org/10.1002/sce.21948>
- Ma, L., Shahbaz, P., Haq, S. ul, & Boz, I. (2023). Exploring the Moderating Role of Environmental Education in Promoting a Clean Environment. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15108127>

- Mendes, T., Teixeira, H., Lopes, A. M., & Correia, A. (2025). From Environmental Knowledge to Pro-Environmental Behaviors: Paving the Way for More Sustainable Higher Education Institutions Through a Mission Refocus. *Journal of Technology Transfer*, 50, 2306–2339. <https://doi.org/10.1007/s10961-024-10181-8>
- Mitarlis, Azizah, U., & Yonata, B. (2023). The Integration of Green Chemistry Principles in Basic Chemistry Learning to Support Achievement of Sustainable Development Goals (SDGs) Through Education. *Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 233–254. <https://doi.org/10.3926/jotse.1892>
- Moody-Marshall, R. (2023). An investigation of environmental awareness and practice among a sample of undergraduate students in Belize. *Environmental Education Research*, 29(7), 911–928. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2079613>
- Nainggolan, B., Juniar, A., & Silaban, R. (2023). Development of project-based interactive e-modules in accordance with the IQF integrated curriculum concept in learning organic chemical reactions to improve student chemistry learning outcomes. In *Jurnal Pendidikan Kimia*, 15(3), 281–291. <https://doi.org/10.24114/jpkim.v15i3.47366>
- Pilare, J. L., & Acledan, M. Y. (2024). Environmental Literacy and Pro-Environmental Behavior of Pre-Service Science Educators: The Mediating Effect of Their Climate Change Awareness. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 6(5). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i05.29810>
- Shetranjiwalla, S., & Hu, M. S. J. (2023). Students as Stakeholders in Designing Their Own Virtual Green Synthetic Experiments. *Journal of Chemical Education*, 100(9), 3333–3346. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00123>
- Shogren, K., Hicks, T., Raley, S., Lane, K., Quirk, C., Matusевич, H., Matusевич, D., & Alsaeed, A. (2024). The Impact of Teacher Supports for Implementing the Self-Determined Learning Model of Instruction on Student Outcomes in Inclusive General Education Classes. *Teacher Education and Special Education*, 47, 261 – 282. <https://doi.org/10.1177/08884064241255217>
- Siregar, N., & Syafriani, D. (2024). Development of E-Modules Based on Project Based Learning (PJBL) to Increase Student's Interest in Learning and Learning Outcomes on Reaction Rate Material. In *Jurnal Teknologi Pendidikan: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pembelajaran*, 9(2). <https://doi.org/10.33394/jtp.v9i2.11156>
- Staus, N. L., O'Connell, K., & Storksdieck, M. (2021). Addressing the Ceiling Effect when Assessing STEM Out-Of-School Time Experiences. In *Frontiers in Education*, 6. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.690431>
- Suárez-Perales, I., Valero-Gil, J., Leyva-de la Hiz, D. I., Rivera-Torres, P., & Garcés-Ayerbe, C. (2021). Educating for the future: How higher education in environmental management affects pro-environmental behaviour. *Journal of Cleaner Production*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128972>

- Surahman, E., Sulthoni, S., Ulfa, S., Husna, A., Ramdiana, H., At Thaariq, Z. Z., Setiawan, A. B., & Qolbi, M. S. (2020). Pelatihan Micro Learning Object Berbasis TPACK bagi Guru-Guru SMA di Garut. *Abdimas Pedagogi: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.17977/um050v3i1p1-14>
- Taha, H., Suppiah, V., Khoo, Y. Y., Yahaya, A., Lee, T. T., & Muhamad Damanhuri, M. I. (2019). Impact of student-initiated green chemistry experiments on their knowledge, awareness and practices of environmental sustainability. *Journal of Physics: Conference Series*, 1156(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1156/1/012022>
- Umar, M., & Ko, I. (2022). E-Learning: Direct Effect of Student Learning Effectiveness and Engagement through Project-Based Learning, Team Cohesion, and Flipped Learning during the COVID-19 Pandemic. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031724>
- Viendyasari, M., Nur, S. M., Yandri, E., & Uyun, A. S. (2023). Strategi Rancangan Dan Produk Pembelajaran Mikro Buku Digital (Microlearning Ebook) Untuk Pendidikan Magister Energi Terbarukan. In *VOX EDUKASI: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 14(2), 200-211. <https://doi.org/10.31932/ve.v14i2.2423>
- Yunitamara, B., Mulyanti, S., & Sari, W. K. (2023). Development of Electronic Module Based on Green Chemistry on Reaction Rate Material. *Jurnal Education and Development*, 11(2), 245–249. <https://doi.org/10.37081/ed.v11i2.4436>
- Zhang, M., Day, E. L., McFall-Boegeman, H., Petritis, S. J., & Cooper, M. M. (2023). Incorporation of green chemistry into undergraduate organic laboratory using cooperative project-based experiments and case studies. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 16(1). <https://doi.org/10.1080/17518253.2023.2183781>