

KAJIAN LITERATUR INTEGRASI KONSEP GREEN CHEMISTRY DALAM PEMBELAJARAN KIMIA: LANGKAH STRATEGIS MENUJU INOVASI RAMAH LINGKUNGAN

*Literature Review On The Integration Of Green Chemistry Concepts In Chemistry
Education: Strategic Steps Towards Environmentally Friendly Innovation*

Makharany Dalimunthe^{1*}, Ayi Darmana²

Universitas Negeri Medan, Indonesia^{1,2}

*Corresponding Author: makharanydalimunthe@unimed.ac.id

Article Submission:
03 November 2025

Article Revised:
31 January 2026

Article Accepted:
31 January 2026

Article Published:
01 February 2026

ABSTRACT

The concept of green chemistry is a scientific and ethical approach in chemistry that emphasizes efforts to prevent pollution from the product and process design stage, rather than dealing with waste after it has been generated. This approach not only emphasizes the efficiency and safety of chemicals, but also instills a moral responsibility for environmental preservation. In the context of education, the integration of this concept is a strategic step towards innovation in chemistry learning that is not only oriented towards knowledge transfer, but also towards the formation of ecological awareness and sustainability literacy. This study aims to examine in depth the implementation of green chemistry in chemistry education. This research uses a narrative literature review method by examining scientific articles obtained from the SINTA and Google Scholar databases based on predetermined inclusion criteria. A total of ten articles published between 2015 and 2025 were analyzed thematically, focusing on the application of green chemistry principles and Education for Sustainable Development (ESD). The synthesis results show that the application of green chemistry principles in chemistry learning can strengthen critical thinking skills, develop ecological awareness, and foster responsible scientific behavior. Project-based learning, green labs, and contextual learning models have proven effective in instilling sustainability values. In addition, institutional support, teacher training, and curriculum reform are determining factors for the success of this integration.

Keywords: Chemistry Education, Environmental Innovation, Green Chemistry, SDGs, Sustainable Education

ABSTRAK

Konsep *green chemistry* atau kimia hijau merupakan pendekatan ilmiah dan etis dalam sains kimia yang menekankan pada upaya pencegahan polusi sejak tahap perancangan produk dan proses, bukan pada penanganan limbah setelah terbentuk. Pendekatan ini tidak hanya menekankan efisiensi dan keamanan bahan kimia, tetapi juga menanamkan tanggung jawab moral terhadap pelestarian lingkungan. Dalam konteks pendidikan, integrasi konsep ini menjadi langkah strategis menuju inovasi pembelajaran kimia yang tidak hanya berorientasi

pada transfer pengetahuan, tetapi juga pada pembentukan kesadaran ekologis dan literasi keberlanjutan. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam implementasi *green chemistry* dalam pendidikan kimia. Penelitian ini menggunakan metode *narrative literature review* dengan menelaah artikel-artikel ilmiah yang diperoleh dari basis data SINTA dan Google Scholar berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Sebanyak sepuluh artikel terbitan tahun 2015-2025 dianalisis secara tematik dengan fokus pada penerapan prinsip *green chemistry* dan *Education for Sustainable Development* (ESD). Hasil sintesis menunjukkan bahwa penerapan prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran kimia dapat memperkuat kemampuan berpikir kritis, mengembangkan kesadaran ekologis, serta menumbuhkan perilaku ilmiah yang bertanggung jawab. Model pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*), laboratorium hijau (*green lab*), dan pembelajaran kontekstual terbukti efektif untuk menanamkan nilai-nilai keberlanjutan. Selain itu, dukungan kelembagaan, pelatihan guru, dan reformasi kurikulum menjadi faktor penentu keberhasilan integrasi ini.

Kata Kunci: *Green Chemistry*, Inovasi Lingkungan, Pembelajaran Kimia, Pendidikan Berkelanjutan, SDGs

PENDAHULUAN

Isu degradasi lingkungan global yang semakin kompleks menuntut adanya pendekatan baru dalam pendidikan sains, khususnya kimia. Aktivitas industri kimia modern yang tidak berkelanjutan telah menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, pencemaran air dan tanah, serta penurunan kualitas udara yang berdampak luas terhadap kesehatan manusia dan ekosistem (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015). Dalam konteks ini, *green chemistry* muncul sebagai paradigma ilmiah yang mengedepankan pencegahan polusi dengan meminimalkan penggunaan bahan berbahaya dan limbah sejak tahap desain reaksi (Anastas & Warner, 2000). Prinsip ini bukan sekadar inovasi teknis, tetapi juga transformasi etika ilmuwan untuk menciptakan sains yang selaras dengan prinsip keberlanjutan planet.

Lebih jauh, pendidikan kimia berperan strategis dalam membentuk generasi ilmuwan dan warga yang sadar lingkungan. Melalui pembelajaran yang berorientasi pada *Education for Sustainable Development* (ESD), peserta didik tidak hanya memahami fenomena kimia secara konseptual, tetapi juga mampu menghubungkan pengetahuan ilmiah dengan tanggung jawab sosial dan ekologis (UNESCO, 2017). Dengan demikian, pendidikan kimia harus menumbuhkan kemampuan berpikir sistemik dan reflektif agar peserta didik dapat memahami hubungan antara aktivitas manusia dan keberlanjutan alam (Burmeister & Eilks, 2012).

Kajian oleh Febrizal et al. (2023) menunjukkan bahwa pembelajaran kimia yang berorientasi praktik ramah lingkungan memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan kesadaran keberlanjutan siswa. Peserta didik menjadi lebih peduli terhadap penggunaan bahan kimia secara bertanggung jawab, serta memahami keterkaitan antara

eksperimen laboratorium dan dampaknya terhadap lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi prinsip kimia hijau ke dalam proses belajar mengajar memiliki potensi besar untuk membentuk perilaku ekologis yang berkelanjutan.

Namun demikian, kurikulum pendidikan kimia di Indonesia masih berorientasi pada aspek konseptual dan belum sepenuhnya menginternalisasi nilai-nilai keberlanjutan. Ni'mah (2025) menemukan bahwa pembelajaran kimia masih berfokus pada aspek kognitif, sementara penerapan prinsip *green chemistry* lebih bersifat sporadis. Strategi pembelajaran berbasis proyek dan laboratorium hijau terbukti mampu meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus kesadaran ekologis siswa, namun belum diadopsi secara sistematis oleh lembaga pendidikan.

Pada tingkat pendidikan tinggi, peran *green chemistry* menjadi lebih penting karena berkaitan langsung dengan pembentukan calon ilmuwan dan tenaga profesional. HS et al. (2025) menegaskan bahwa penerapan *green chemistry* di universitas dapat memperkuat relevansi antara riset akademik dan kebutuhan pembangunan berkelanjutan. Namun, tantangan seperti keterbatasan pelatihan dosen, dukungan kebijakan, dan infrastruktur laboratorium masih menjadi kendala utama.

Selain itu, penelitian oleh Fadillah (2022) dan Aulia & Haryani (2025) memperlihatkan bahwa penerapan *green chemistry* dalam praktikum tidak hanya menekan penggunaan bahan kimia berbahaya, tetapi juga meningkatkan pemahaman konseptual dan kesadaran peserta didik terhadap praktik kimia yang aman. Ini menunjukkan bahwa pendekatan *green chemistry* mampu memberikan keseimbangan antara aspek kognitif, afektif, dan psikomotor dalam pembelajaran kimia.

Dengan demikian, kebutuhan untuk mengintegrasikan *green chemistry* dalam kurikulum kimia menjadi semakin mendesak. Artikel ini hadir untuk memberikan tinjauan menyeluruh mengenai implementasi, tantangan, dan arah pengembangan *green chemistry* dalam pendidikan kimia di Indonesia dan dunia, sebagai kontribusi nyata terhadap upaya pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs).

METODE PENELITIAN

Kajian ini menggunakan metode *narrative literature review* untuk menelaah, menafsirkan, dan mensintesis berbagai hasil penelitian yang berkaitan dengan integrasi konsep *green chemistry* dalam pembelajaran kimia serta kontribusinya terhadap pendidikan berkelanjutan. Metode ini dipilih karena memungkinkan analisis interpretatif dan tematik secara mendalam terhadap berbagai pendekatan dan praktik pembelajaran dari

perspektif teoretis yang beragam, sehingga relevan untuk mengkaji perkembangan konsep *green chemistry* dalam konteks pendidikan (Kitchenham, 2007).

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut.

1. Identifikasi dan penelusuran literatur.

Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data SINTA dan Google Scholar dengan menggunakan kata kunci *green chemistry*, *green chemistry education*, *sustainable chemistry learning*, dan *Education for Sustainable Development in chemistry education*. Pada tahap awal, diperoleh sebanyak 20 artikel yang relevan secara umum dengan topik kajian.

2. Seleksi dan kriteria inklusi artikel

Artikel-artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi, yaitu (1) artikel terbit pada tahun 2015-2025, (2) membahas penerapan *green chemistry* dalam pembelajaran kimia formal (pendidikan menengah dan/atau pendidikan tinggi), (3) menyajikan hasil empiris atau model konseptual yang berkaitan dengan pendidikan berkelanjutan, dan (4) diterbitkan pada jurnal ilmiah terakreditasi. Melalui proses penyaringan berdasarkan abstrak dan teks lengkap, jumlah artikel terpilih menjadi sepuluh artikel yang dinilai paling relevan dan representatif terhadap tujuan kajian. Artikel yang tidak secara eksplisit mengaitkan *green chemistry* dengan ESD dieliminasi.

3. Analisis tematik dan sintesis literatur

Sepuluh artikel terpilih dianalisis menggunakan pendekatan analisis tematik, dengan mengelompokkan temuan ke dalam beberapa tema utama, meliputi: (1) integrasi *green chemistry* dalam kurikulum, (2) inovasi strategi dan model pembelajaran, serta (3) dampak penerapan terhadap kompetensi dan sikap peserta didik. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola, kesamaan, dan perbedaan pendekatan yang digunakan dalam berbagai konteks pendidikan.

4. Validasi dan pengaitan dengan kerangka teoritis

Temuan dari masing-masing artikel kemudian dibandingkan dan dikaitkan dengan kerangka *Education for Sustainable Development* (ESD) serta dua belas prinsip *green chemistry* yang dikemukakan oleh Anastas dan Warner (2000). Proses ini dilakukan dengan menelaah sejauh mana praktik pembelajaran yang dilaporkan mencerminkan prinsip-prinsip seperti pencegahan limbah, efisiensi energi, penggunaan bahan aman, serta pengembangan tanggung jawab lingkungan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Hasil analisis review dari 10 artikel yang terbit pada tahun 2015-2025 ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Artikel yang Direview

No	Judul Artikel	Penulis	Jurnal	Hasil Utama
1	<i>Systematic Literature Review: Peran Pembelajaran Kimia terhadap Keberlanjutan dalam Konteks ESD</i> https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/quantum/article/view/15963	Febrizal, Hernani, Mudzakir (2023)	QUANTUM M	Pembelajaran kimia berperan penting meningkatkan kesadaran keberlanjutan.
2	<i>A Scoping Review Pembelajaran Kimia Berwawasan Green Chemistry</i> https://share.google/KgmCm87P9TRaPefB9	Aqilaton Ni'mah (2025)	JKPI	Strategi dominan: PjBL, IBL, dan <i>green lab</i> ; efektif menumbuhkan kesadaran ekologis.
3	<i>Integrasi Green Chemistry dalam Kurikulum Pendidikan Tinggi</i> https://ejurnal.stkipddipinrang.ac.id/index.php/jse/article/view/261	Magfirah HS et al. (2025)	Al-Irsyad J. Educ. Sci.	Kajian global implementasi <i>green chemistry</i> ; relevansi bagi konteks Indonesia dan rekomendasi kebijakan, pelatihan dosen, serta model <i>green lab</i> kontekstual
4	<i>Pengembangan Petunjuk Praktikum Kimia Berbasis Green Chemistry pada Materi Termokimia</i> http://jiip.stkipyapisdompu.ac.id/jiip/index.php/JIIP/article/view/8849	Putri Aulia & M. Haryani (2025)	JIIP	Petunjuk praktikum efektif meningkatkan pemahaman dan sikap ramah lingkungan.
5	<i>Pengaplikasian Prinsip-Prinsip Green Chemistry dalam Pembelajaran Kimia</i> https://prin.or.id/index.php/JURRITEK/article/view/2776	Eva Fadillah (2022)	JURRITEK	Implementasi 12 prinsip <i>green chemistry</i> dalam kegiatan laboratorium.
6	<i>Implementasi Green Chemistry Dalam Pembelajaran Kimia: Literature Review</i> https://ojspanel.undikma.ac.id/index.php/hydrogen/article/view/4611-14896	Inayah, Dasna, Habiddin (2022)	Hydrogen Jurnal Kependidikan Kimia	Pemetaan topik, dominasi organik dan lingkungan, dan peluang <i>integrasi green chemistry</i> dalam praktikum dan kurikulum

7	<i>Integrating Sustainability into Learning in Chemistry</i> https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jchemed.1c00284	Wissinger et al. (2022)	Journal of Chemical Education	Penerapan <i>systems thinking</i> memperkuat kesadaran ekologis.
8	<i>Toward a Green and Sustainable Chemistry Education Road Map</i> https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.0c00288	MacKellar et al. (2020)	Journal of Chemical Education	Menawarkan <i>roadmap</i> global untuk kurikulum kimia berkelanjutan.
9	<i>Chemistry Teaching for the Future</i> https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2014.1003988	Jegstad & Sinnes (2015)	IJSE	Model pembelajaran kimia berorientasi keberlanjutan di sekolah menengah.
10	<i>Integration Green Chemistry into Learning Process</i> https://jppipa.unram.ac.id/index.php/jppipa/article/view/5012	Sari, Atun (2023)	JPIIPA	Integrasi melalui PjBL, modul, permainan, dan video; dominan topik organik dan lingkungan.

Sumber: Hasil sintesis penulis berdasarkan artikel-artikel yang direview (2015–2025).

Analisis terhadap sepuluh artikel menunjukkan bahwa penerapan *green chemistry* dalam pembelajaran kimia berkembang dalam tiga ranah utama: (1) pengembangan kurikulum dan kebijakan institusional, (2) inovasi strategi pembelajaran, dan (3) dampak terhadap kompetensi peserta didik. Integrasi konsep *green chemistry* dalam pembelajaran kimia menunjukkan pergeseran paradigma dari pendekatan pembelajaran konvensional menuju pembelajaran yang berorientasi pada keberlanjutan. Pada ranah pengembangan kurikulum, beberapa artikel menegaskan bahwa *green chemistry* dapat diintegrasikan secara sistematis ke dalam capaian pembelajaran dan materi ajar. HS et al. (2025), misalnya, menunjukkan bahwa kurikulum pendidikan tinggi yang mengadopsi prinsip kimia hijau mampu mengaitkan konsep kimia dengan isu lingkungan nyata, meskipun masih menghadapi keterbatasan kebijakan dan pelatihan dosen.

Pada ranah inovasi strategi pembelajaran, berbagai penelitian menekankan efektivitas pendekatan berbasis proyek dan praktikum ramah lingkungan. Ni'mah (2025) dan Aulia dan Haryani (2025) melaporkan bahwa penerapan *project-based learning* dan pengembangan petunjuk praktikum berbasis *green chemistry* mampu mengurangi penggunaan bahan berbahaya sekaligus meningkatkan pemahaman konseptual peserta

didik. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pencegahan limbah dan efisiensi bahan dalam *green chemistry*.

Selain itu, penerapan konsep *green laboratory* menjadi salah satu inovasi penting dalam pembelajaran kimia. Fadillah (2022) menunjukkan bahwa modifikasi kegiatan praktikum dengan prinsip kimia hijau tidak hanya menurunkan risiko keselamatan kerja di laboratorium, tetapi juga meningkatkan kesadaran peserta didik terhadap dampak lingkungan dari aktivitas kimia. Temuan ini memperkuat peran laboratorium sebagai wahana pembelajaran nilai keberlanjutan, bukan sekadar tempat verifikasi konsep.

Dari sisi dampak terhadap kompetensi peserta didik, Febrizal et al. (2023) menemukan bahwa pembelajaran kimia yang berorientasi pada keberlanjutan mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan membentuk sikap tanggung jawab ekologis. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi *green chemistry* berkontribusi langsung terhadap pencapaian tujuan ESD, khususnya dalam pengembangan kompetensi abad ke-21.

2. Pembahasan

Hasil sintesis terhadap sepuluh artikel yang direview menunjukkan bahwa integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia tidak lagi diposisikan sebagai pengayaan materi semata, melainkan sebagai kerangka pedagogis yang membentuk cara peserta didik memahami, menerapkan, dan mengevaluasi konsep kimia dalam konteks keberlanjutan. Pergeseran ini menandai transformasi pembelajaran kimia dari pendekatan yang berorientasi pada penguasaan konsep menuju pengembangan kompetensi berpikir kritis, refleksi etis, serta pengambilan keputusan ilmiah yang bertanggung jawab (Febrizal et al., 2023; Inayah et al., 2022).

Pada ranah pengembangan kurikulum, sejumlah artikel menegaskan bahwa keberhasilan integrasi *green chemistry* sangat ditentukan oleh sejauh mana prinsip-prinsip kimia hijau diinternalisasikan secara eksplisit ke dalam capaian pembelajaran dan struktur kurikulum. HS et al. (2025) menunjukkan bahwa integrasi *green chemistry* dalam kurikulum pendidikan tinggi memungkinkan mahasiswa mengaitkan konsep kimia dengan isu lingkungan nyata, sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna. Namun demikian, studi tersebut juga mengungkap bahwa implementasi masih bersifat parsial akibat keterbatasan kebijakan institusional dan belum meratanya pemahaman dosen terhadap prinsip *green chemistry*. Temuan ini sejalan dengan model pendidikan kimia berkelanjutan yang dikemukakan oleh Jegstad dan Sinnes (2015), yang menekankan bahwa pendidikan kimia berorientasi masa depan harus mengintegrasikan dimensi keberlanjutan secara sistemik dalam kurikulum, bukan sekadar sebagai konteks tambahan.

Pada aspek inovasi strategi pembelajaran, artikel-artikel yang direview secara konsisten menunjukkan efektivitas pendekatan pembelajaran aktif dan kontekstual. Ni'mah (2025) melaporkan bahwa *project-based learning* berbasis *green chemistry* mampu mendorong peserta didik untuk merancang solusi kimia yang lebih aman dan efisien terhadap permasalahan lingkungan. Temuan serupa juga ditunjukkan oleh Perkasa (2018), yang menemukan bahwa pembelajaran kimia berbasis lingkungan melalui model *project-based learning* secara signifikan meningkatkan sikap peduli lingkungan mahasiswa. Selain itu, Sari dan Atun (2023) menegaskan bahwa integrasi *green chemistry* dalam proses pembelajaran mendorong keterlibatan aktif peserta didik dan memperkuat keterkaitan antara konsep kimia dan isu keberlanjutan. Hasil-hasil ini menguatkan pandangan bahwa pembelajaran berbasis proyek dan konteks nyata efektif dalam menanamkan nilai keberlanjutan dalam pendidikan kimia (Burmeister & Eilks, 2012).

Implementasi laboratorium hijau (*green laboratory*) juga muncul sebagai temuan penting dalam kajian ini. Fadillah (2022) menunjukkan bahwa modifikasi prosedur praktikum berdasarkan prinsip pencegahan limbah dan penggunaan bahan kimia yang lebih aman berdampak positif terhadap keselamatan kerja dan kesadaran lingkungan peserta didik. Lebih jauh, praktik *green lab* tidak hanya berfungsi sebagai sarana pembelajaran kognitif, tetapi juga sebagai medium internalisasi etika ilmiah. Hal ini selaras dengan temuan Wissinger dan Matlin (2022) yang menegaskan bahwa praktikum dan aktivitas pembelajaran kimia merupakan ruang strategis untuk mengembangkan *systems thinking*, karena memungkinkan peserta didik memahami keterkaitan antara proses kimia, dampak lingkungan, dan konteks sosial secara terpadu dalam kerangka keberlanjutan.

Dari sisi dampak terhadap kompetensi peserta didik, hasil review menunjukkan bahwa pembelajaran kimia berbasis *green chemistry* berkontribusi pada pengembangan keterampilan abad ke-21. Febrizal et al. (2023) menemukan bahwa peserta didik yang terlibat dalam pembelajaran kimia berorientasi keberlanjutan menunjukkan peningkatan kemampuan berpikir kritis, refleksi etis, serta kesadaran terhadap dampak jangka panjang aktivitas kimia. Temuan ini diperkuat oleh Inayah et al. (2022) yang menegaskan bahwa implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia tidak hanya meningkatkan aspek kognitif, tetapi juga membentuk sikap dan perilaku ilmiah yang bertanggung jawab. Hal ini menunjukkan bahwa *green chemistry* berperan sebagai jembatan antara penguasaan sains dan pembentukan karakter ekologis, sebagaimana ditekankan dalam kerangka *Education for Sustainable Development* (UNESCO, 2017).

Meskipun demikian, kajian ini juga mengidentifikasi tantangan implementatif yang masih signifikan. Beberapa artikel menyoroti keterbatasan fasilitas, minimnya pelatihan pendidik, serta belum terintegrasinya *green chemistry* secara eksplisit dalam kebijakan pendidikan sebagai hambatan utama (HS et al., 2025; Fadillah, 2022; Inayah et al., 2022). Tanpa dukungan sistemik, praktik *green chemistry* cenderung bersifat individual dan tidak berkelanjutan. Oleh karena itu, integrasi konsep ini memerlukan sinergi antara kebijakan kurikulum, pengembangan profesional pendidik, serta penyediaan sarana pembelajaran yang memadai.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia memiliki implikasi yang luas, tidak hanya pada ranah pedagogis, tetapi juga pada transformasi budaya akademik menuju sains yang beretika dan berkelanjutan. Temuan-temuan dari artikel yang direview menegaskan bahwa *green chemistry* dapat berfungsi sebagai kerangka strategis untuk mereorientasi pendidikan kimia agar lebih relevan dengan tantangan global keberlanjutan, asalkan didukung oleh kebijakan dan praktik pendidikan yang konsisten dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Kajian literatur ini menunjukkan bahwa integrasi konsep *green chemistry* dalam pembelajaran kimia merupakan pendekatan strategis untuk mendukung inovasi pembelajaran yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penerapan *green chemistry* terbukti mampu mengaitkan penguasaan konsep kimia dengan pengembangan berpikir kritis, kesadaran ekologis, dan tanggung jawab ilmiah peserta didik. Strategi pembelajaran aktif seperti *project-based learning*, laboratorium hijau, dan pembelajaran kontekstual menjadi pendekatan yang efektif dalam menginternalisasi nilai keberlanjutan. Namun, implementasi konsep ini masih menghadapi kendala berupa keterbatasan kebijakan, fasilitas, dan kompetensi pendidik. Oleh karena itu, diperlukan dukungan sistemik melalui penguatan kurikulum dan pengembangan profesional pendidik agar integrasi *green chemistry* dapat berkontribusi optimal terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Anastas, P. T., & Warner, J. C. (2000). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198506980.001.0001>

- Aulia, P., & Haryani, M. E. (2025). Pengembangan petunjuk praktikum kimia berbasis *green chemistry* pada materi termokimia. *JiIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 8(8), 9728–9732. <https://doi.org/10.54371/jiip.v8i8.8849>
- Burmeister, M., Rauch, F., & Eilks, I. (2012). Education for sustainable development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 59–68. <https://doi.org/10.1039/C1RP90060A>
- Fadillah, E. (2022). Pengaplikasian prinsip-prinsip *green chemistry* dalam pelaksanaan pembelajaran kimia. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 1(1), 127–132. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v1i1.2776>
- Febrizal, F., Hernani, H., & Mudzakir, A. (2023). Systematic literature review: Peran pembelajaran kimia terhadap keberlanjutan dalam konteks education for sustainable development (ESD). *Quantum: Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 14(2), 238–254. <http://dx.doi.org/10.20527/quantum.v14i2.15963>
- HS, S. M., Sattuang, H., Wulandari, R., Aeni, N., & Ansyarif, A. R. (2025). Integrasi *green chemistry* dalam kurikulum pendidikan tinggi: Tinjauan praktik internasional dan relevansinya di Indonesia. *Al-Irsyad: Journal of Education Science*, 4(2), 416–428. <https://doi.org/10.58917/aijes.v4i2.261>
- Inayah, S., Dasna, I. W., & Habiddin, H. (2022). Implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia: Literatur review. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 10(1), 42–49. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v10i1.4611>
- Jegstad, K. M., & Sinnes, A. T. (2015). Chemistry Teaching for the Future: A model for secondary chemistry education for sustainable development. *International Journal of Science Education*, 37(4), 655–683. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1003988>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. Keele University & Durham University.
- MacKellar, J. J., Constable, D. J., Kirchhoff, M. M., Hutchison, J. E., & Beckman, E. (2020). Toward a green and sustainable chemistry education road map. *Journal of Chemical Education*, 97(8), 2104–2113. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00288>
- Ni'mah, A. (2025). A scoping review pembelajaran kimia berwawasan *green chemistry*: Strategi dan lingkup materi. *Jurnal Kajian Pendidikan IPA*, 5(1), 9–14.
- Perkasa, M., Annafi, N., & Mutmainnah, P. A. (2018). Penerapan pembelajaran kimia berbasis lingkungan melalui model project based learning untuk meningkatkan sikap peduli lingkungan mahasiswa. In “Prosiding Seminar Nasional Pendidik dan Pengembang Pendidikan Indonesia: Peningkatan profesionalisme pendidik di era Revolusi Industri 4.0” (pp. 296–300). Asosiasi Pendidik dan Pengembang Pendidikan Indonesia.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. *et al.* A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475 (2009). <https://doi.org/10.1038/461472a>

- Sari, W. P. P., & Atun, S. . (2023). Integration Green Chemistry into Learning Process. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 921–928. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.5012>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf000024744>
- Wissinger, J. E., Visa, A., Saha, B. B., Matlin, S. A., Mahaffy, P. G., Kümmerer, K., & Cornell, S. (2021). Integrating sustainability into learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 98(4), 1061-1063. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00284>