

PERAN GREEN CHEMISTRY DALAM MEWUJUDKAN PEMBELAJARAN KIMIA YANG BERMAKNA: KAJIAN LITERATUR

Nyoman Sriastuti^{1*}, Astin Lukum², Masrid Pikoli³

¹⁻³Departement of Natural Science, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

* Email: nyoman_s2ilmupengetahuanalam@mahasiswa.ung.ac.id

Diterima: 20 Maret 2026

Direvisi: 13 Mei 2026

Publikasi: 21 Mei 2026

Abstract

Green chemistry is a relevant approach in supporting meaningful and sustainability-oriented chemistry learning. This study aims to (1) analyze the implementation and integration of green chemistry principles in chemistry learning, (2) analyze its role in realizing meaningful learning, (3) analyze its impact on students' conceptual understanding and environmental awareness attitudes, and (4) analyze the challenges and opportunities of its implementation. This research uses a qualitative approach with a literature review design of accredited national journal articles and reputable international journals from the 2020–2026 period. Out of 40 identified articles, 24 articles were analyzed using thematic analysis. The results show that (1) the implementation of green chemistry is carried out through active learning, development of instructional materials, utilization of technology, and contextual approaches; (2) green chemistry plays a role in realizing meaningful learning by connecting concepts to environmental issues; (3) its integration has a positive impact on students' conceptual understanding and environmental awareness attitudes, although the level of improvement is generally moderate; and (4) its implementation still faces challenges related to teacher competence, learning resources, and curriculum support, but it also has opportunities for further development. The conclusion of this study is that green chemistry plays a strategic role in realizing meaningful chemistry learning by linking chemical concepts to real environmental problems and supporting sustainable chemistry education.

Keywords: Green Chemistry; Chemistry Learning; Meaningful Learning; Sustainability.

Abstrak

Green chemistry adalah pendekatan yang relevan dalam mendukung pembelajaran kimia yang bermakna dan berorientasi pada keberlanjutan. Kajian ini bertujuan untuk (1) menganalisis implementasi dan integrasi prinsip green chemistry dalam pembelajaran kimia, (2) menganalisis perannya dalam mewujudkan pembelajaran bermakna, (3) menganalisis dampaknya terhadap pemahaman konsep serta sikap peduli lingkungan siswa, serta (4) menganalisis tantangan dan peluang implementasinya. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain kajian literatur terhadap artikel jurnal nasional terakreditasi dan jurnal internasional bereputasi periode 2020-2026. Dari 40 artikel yang teridentifikasi, 24 artikel dianalisis menggunakan analisis tematik. Hasil penelitian yaitu (1) Implementasi green chemistry dilakukan melalui pembelajaran aktif, pengembangan perangkat ajar, pemanfaatan teknologi, dan pendekatan kontekstual; (2) Green chemistry berperan mewujudkan pembelajaran bermakna dengan mengaitkan konsep pada isu lingkungan; (3) Integrasinya berdampak positif pada pemahaman konsep serta sikap peduli lingkungan siswa meski peningkatannya umumnya sedang; (4) Implementasi masih menghadapi tantangan kompetensi guru, sumber belajar, dan dukungan kurikulum, namun memiliki peluang untuk dikembangkan. Kesimpulan penelitian adalah green chemistry berperan strategis dalam mewujudkan pembelajaran kimia yang bermakna dengan mengaitkan konsep kimia pada permasalahan lingkungan nyata serta mendukung pembelajaran kimia berkelanjutan.

Kata kunci: Green Chemistry; Pembelajaran Kimia; Pembelajaran Bermakna; Keberlanjutan.

PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan investasi fundamental bagi pembangunan suatu negara

karena berperan strategis dalam membekali individu dengan pengetahuan dan kompetensi sebagai dasar penentuan arah serta kualitas masa

depan. Keberhasilan dan keberlanjutan suatu bangsa sangat ditentukan oleh kualitas sistem pendidikannya (Humairoh et al., 2025). Di era globalisasi, pendidikan menjadi kebutuhan penting dalam menghadapi persaingan antarbangsa (Ulfian et al., 2025). Proses pembelajaran dirancang secara sistematis oleh pendidik melalui pemanfaatan keahlian profesional untuk mencapai tujuan kurikulum (Priyolistiyanto et al., 2024).

Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) menghimpun pengetahuan tentang alam secara sistematis. Tujuan pendidikan sains tidak hanya agar siswa menguasai fakta, konsep, dan prinsip, tetapi juga agar mampu memahami berbagai fenomena alam secara lebih mendalam (Adawiyah et al., 2024). Dalam pembelajaran kimia, siswa diarahkan pada pengalaman belajar melalui pengembangan keterampilan proses, sikap ilmiah, serta pemahaman pengetahuan (Lukum et al., 2023). Kimia sebagai cabang sains memiliki keterkaitan erat dengan kehidupan sehari-hari dan terdiri atas berbagai konsep yang saling berhubungan (Pikoli et al., 2024). Selain itu, kimia berperan penting bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan juga teknologi dalam mengkaji struktur dan sifat zat, perubahan materi, serta prinsip yang mendasarinya hingga tingkat atom dan molekul (Akbar & Djakariah, 2024). Namun, dalam praktik pembelajaran di sekolah, mata pelajaran kimia kerap dinilai sulit sehingga minat belajar dan pemahaman konsep siswa masih rendah. Maka diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu membantu siswa memahami konsep secara lebih mendalam dan kontekstual (Harahap, 2024).

Salah satu upaya untuk mewujudkan pembelajaran kimia yang relevan adalah melalui pembelajaran bermakna (*meaningful learning*). Pendekatan ini menghubungkan konsep akademik dengan kehidupan nyata sehingga mendorong siswa berpikir kritis, kreatif, dan mandiri. Pembelajaran bermakna juga selaras

dengan kebijakan pendidikan yang menekankan pendekatan kontekstual serta berfokus pada siswa (Artha et al., 2025). Hal ini dapat tercapai ketika siswa terlibat aktif dalam mengonstruksi pengetahuan baru berdasarkan pengetahuan awal yang dimiliki (Susilowati et al., 2024).

Sejalan dengan kebutuhan pembelajaran yang kontekstual, integrasi isu lingkungan dalam pembelajaran kimia menjadi semakin penting. Salah satu pendekatan yang relevan adalah *green chemistry*. Pendidikan berbasis kimia hijau berperan dalam membekali siswa dengan pengetahuan serta keterampilan menghadapi tantangan lingkungan sekaligus membangun perilaku peduli terhadap lingkungan (Ruslan, 2025). *Green chemistry* menekankan pengembangan produk dan proses kimia yang bertujuan mengurangi penggunaan serta terbentuknya zat berbahaya dengan mengedepankan prinsip keamanan, efisiensi, dan keberlanjutan (Sanora et al., 2025). Dalam Kurikulum Merdeka, kimia hijau merupakan materi yang relatif baru dan dikaitkan langsung dengan konteks kehidupan sehari-hari siswa (Zahra et al., 2025).

Meskipun memiliki potensi besar dalam mendukung pembelajaran bermakna, implementasi kimia hijau di kelas masih menghadapi beberapa tantangan. Materi ini sering dipersepsikan bersifat abstrak sehingga menyulitkan siswa dalam memahami konsep (Rovita et al., 2025). Sementara itu, perkembangan teknologi juga membuka peluang untuk mengembangkan bahan ajar kimia yang lebih interaktif dan kontekstual, termasuk pengaitan materi kimia hijau dengan isu aktual seperti nanomaterial dalam Kurikulum Merdeka. Pemanfaatan teknologi ini berpotensi memperkuat kebermaknaan pembelajaran dengan menghubungkan konsep kimia dengan fenomena nyata dalam kehidupan siswa (Nurliyana et al., 2025).

Berbagai penelitian telah mengkaji penerapan *green chemistry* dalam pembelajaran kimia serta dampaknya terhadap pemahaman konsep dan kesadaran lingkungan siswa (Ruslan, 2025; Sanora et al., 2025; Zahra et al., 2025). Namun, kajian yang secara komprehensif merangkum temuan-temuan tersebut untuk memetakan peran *green chemistry* dalam mewujudkan pembelajaran kimia yang bermakna masih relatif terbatas. Oleh karena itu, kajian literatur ini bertujuan untuk menganalisis peran *green chemistry* dalam pembelajaran kimia serta kontribusinya terhadap terwujudnya pembelajaran kimia yang bermakna dari aspek pemahaman konsep, sikap ilmiah, dan kesadaran lingkungan siswa.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada kajian literatur ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi dan integrasi prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran kimia berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan?
2. Bagaimana peran *green chemistry* dalam mewujudkan pembelajaran kimia yang bermakna berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan?
3. Bagaimana dampak integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia terhadap pemahaman konsep serta sikap peduli lingkungan siswa berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan?
4. Bagaimana tantangan dan peluang implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan?

Mengacu pada rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis implementasi dan integrasi prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran kimia berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan.

2. Menganalisis peran *green chemistry* dalam mewujudkan pembelajaran kimia yang bermakna berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan.
3. Menganalisis dampak integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia terhadap pemahaman konsep serta sikap peduli lingkungan siswa berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan.
4. Menganalisis tantangan dan peluang implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kualitatif melalui desain kajian literatur (*literature review*) untuk menganalisis implementasi, peran, dampak, serta tantangan dan peluang integrasi *green chemistry* dalam mewujudkan pembelajaran kimia yang bermakna. Data dikumpulkan melalui metode dokumentasi dengan menelusuri artikel ilmiah dari jurnal nasional terakreditasi dan jurnal internasional bereputasi melalui basis data Google Scholar menggunakan kata kunci “*green chemistry*”, “*pembelajaran kimia*”, “*green chemistry in education*”, dan “*meaningful learning in chemistry*”.

Berdasarkan hasil penelusuran awal diperoleh sebanyak 40 artikel yang berkaitan dengan topik penelitian. Artikel tersebut kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi, yaitu membahas penerapan atau integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia, dipublikasikan pada periode 2020–2026, tersedia dalam bentuk teks lengkap, serta sesuai dengan fokus kajian. Melalui tahap identifikasi, penyaringan judul dan abstrak, serta penelaahan teks lengkap, diperoleh 24 artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan sebagai sumber utama kajian.

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dianalisis secara deskriptif kualitatif menggunakan teknik analisis tematik dengan mengelompokkan temuan penelitian ke dalam tema implementasi, peran dalam pembelajaran bermakna, dampak terhadap pemahaman konsep dan sikap peduli lingkungan, serta tantangan dan

peluang penerapannya dalam pembelajaran kimia. Proses analisis dilakukan dengan membaca secara mendalam setiap artikel, mencatat temuan utama, serta membandingkan hasil antar penelitian untuk mengidentifikasi pola yang muncul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Kajian Hasil Penelitian tentang Integrasi Green Chemistry dalam Pembelajaran

No	Penulis & Tanun Terbit	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Ringkasan Hasil Penelitian
1	Hanif et al., (2025)	<i>Utilization of Palm Oil Mill Effluent (POME) in Voltaic Cell Learning through the PjBL-STEM Model Oriented Toward Green Chemistry Principles</i>	Kuasi eksperimen dengan desain <i>one group pretest-posttest</i>	Implementasi PjBL-STEM berbasis limbah POME berjalan sangat baik dengan keterlaksanaan 88,7%–93,5%. Pembelajaran meningkatkan pemahaman konsep redoks, green chemistry, dan konversi energi listrik dengan N-Gain 0,71 (kategori tinggi).
2	Jusniar et al., (2025)	<i>Improving Students' Critical Thinking Abilities and Environmental Sensitivity through Project-Based Learning Integrated with Green Chemistry Principles</i>	Kuasi eksperimen dengan <i>Randomized Post-test Only Control Group Design</i>	PBL terintegrasi Green Chemistry terbukti meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan sensitivitas lingkungan siswa secara signifikan pada materi kesetimbangan kimia.
3	Ratnawati & Praptomo, (2023)	<i>Penerapan Pembelajaran Kimia Hijau melalui Project Based Learning (PjBL) pada Mata Pelajaran Kimia SMA</i>	<i>Quasi experiment</i> dengan desain <i>pretest-posttest control group</i>	Penerapan PjBL meningkatkan hasil belajar siswa secara signifikan dengan 92% siswa memperoleh kategori baik dan sangat baik pada posttest.
4	Sari & Wahyuni, (2024)	<i>Implementation of the Problem-Based Learning Model to Improve Student Learning Outcomes on Green Chemistry Material</i>	Penelitian Tindakan Kelas (Kemmis & McTaggart)	Penerapan PBL meningkatkan hasil belajar siswa dari 71,61% pada siklus I menjadi 86,96% pada siklus II.
5	Tairas et al., (2025)	<i>STEM-Integrated Problem-Based Learning in Green Chemistry to Enhance Chemical Literacy</i>	Kuasi eksperimen dengan <i>pretest-posttest control group</i>	Model PBL terintegrasi STEM dan Green Chemistry meningkatkan literasi kimia (N-Gain 0,54) dan sikap ilmiah siswa (N-Gain 0,46).

No	Penulis & Tanun Terbit	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Ringkasan Hasil Penelitian
6	Amanda et al., (2023)	<i>and Scientific Attitudes Development of Textbooks to Support Merdeka Curriculum Learning on Green Chemistry Material in Phase E</i>	Research and Development (R&D) model Plomp	Buku ajar memperoleh validitas 88% dan kepraktisan sangat tinggi sehingga layak digunakan dalam pembelajaran Green Chemistry.
7	Fitri et al., (2024)	<i>Feasibility of Teaching Module in Curriculum Merdeka Integrated Green Chemistry</i>	Research and Development (R&D) model ADDIE	Modul ajar berbasis Green Chemistry sangat valid dan reliabel serta mendukung keterampilan proses sains dan kemandirian belajar siswa.
8	Putri et al., (2025)	<i>Pengembangan E-Modul Green Chemistry Berbasis Problem Based Learning dengan Konteks Socio Scientific Issues</i>	Research and Development (R&D) model ADDIE	E-modul memiliki tingkat validitas, kepraktisan, dan efektivitas sangat tinggi serta berhasil meningkatkan literasi sains siswa.
9	Afriani & Widodo, (2025)	<i>Designing a Green Chemistry-Based Practical Guide</i>	Research and Development (R&D) model 4D	Panduan praktikum dinyatakan sangat baik dan mendukung pembelajaran yang aman, kontekstual, dan ramah lingkungan.
10	Disa et al., (2024)	<i>Pengembangan Modul Praktikum Kimia Berbasis Green Chemistry</i>	Research and Development (R&D) model 4D (dimodifikasi 3D)	Modul praktikum valid, praktis, dan efektif meningkatkan minat belajar siswa.
11	Sumanik et al., (2024)	<i>Green Chemistry Learning Transformation: YouTube Integrated Interactive Video</i>	Research and Development (R&D)	Media video interaktif berbasis YouTube dinyatakan valid, praktis, dan efektif meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa.
12	Wardani et al., (2023)	<i>The Effect of an Ethnochemistry-Based Culturally Responsive Teaching Approach to Improve Cognitive Learning Outcomes on Green Chemistry Material in High School</i>	Kuasi eksperimen dengan desain <i>post-test only control group</i>	Pendekatan CRT berbasis ethnochemistry efektif meningkatkan hasil belajar kognitif siswa pada materi Green Chemistry.
13	Purba, (2025)	<i>The Influence of an Ethnochemistry-</i>	Kuasi eksperimen dua	Worksheet berbasis ethnochemistry dan Green

No	Penulis & Tanun Terbit	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Ringkasan Hasil Penelitian
14	Hakim, (2024)	<i>Based Green Chemistry Student Worksheet on High School Students' Learning Motivation Project-Based Learning-Oriented Worksheet Based on Local Wisdom and Green Chemistry Revitalisasi</i>	kelompok dengan uji Mann-Whitney U Research and Development (R&D) model 4D modifikasi	Chemistry meningkatkan motivasi belajar siswa secara signifikan. Worksheet berbasis proyek dan kearifan lokal efektif meningkatkan keterampilan proses sains dan hasil belajar siswa.
15	Simangunso & Darmana, (2025)	<i>Pembelajaran Kimia dalam Meningkatkan Kontribusi Menuju Green Chemistry Integrating Green Chemistry Approach in Teaching and Learning Esterification Among Senior Secondary Students in Uyo, Nigeria Teaching Green Chemistry in Higher Education: Contributions of a Problem-Based Learning Proposal for Understanding the Principles of Green Chemistry Podcast-based Green Chemistry Learning Strengthens Student Awareness with Distinct Outcomes across Gender and Digital Literacy Dimensions</i>	Narrative Literature Review (NLR) Kuasi eksperimen dengan control group design	Green Chemistry meningkatkan pengalaman belajar, hasil belajar, motivasi, kesadaran lingkungan, dan mendukung pencapaian SDGs. Pendekatan Green Chemistry meningkatkan prestasi akademik siswa dibanding metode laboratorium konvensional.
16	Johnson et al., (2025)	<i>Esterification Among Senior Secondary Students in Uyo, Nigeria Teaching Green Chemistry in Higher Education: Contributions of a Problem-Based Learning Proposal for Understanding the Principles of Green Chemistry Podcast-based Green Chemistry Learning Strengthens Student Awareness with Distinct Outcomes across Gender and Digital Literacy Dimensions</i>	Kuasi eksperimen dengan control group design	Pendekatan Green Chemistry meningkatkan prestasi akademik siswa dibanding metode laboratorium konvensional.
17	Vaz et a., (2025)	<i>Contributions of a Problem-Based Learning Proposal for Understanding the Principles of Green Chemistry Podcast-based Green Chemistry Learning Strengthens Student Awareness with Distinct Outcomes across Gender and Digital Literacy Dimensions</i>	Studi implementasi PBL berbasis studi kasus	PBL efektif meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap prinsip Green Chemistry dan meningkatkan keterlibatan belajar.
18	Widarti et al., (2025)	<i>Awareness with Distinct Outcomes across Gender and Digital Literacy Dimensions</i>	Quasi-experimental mixed methods	Pembelajaran berbasis podcast meningkatkan kesadaran lingkungan, budaya, dan literasi digital siswa.
19	Lees et al., (2020)	<i>Green Tycoon: A Mobile Application Game to Introduce Biorefining Principles in Green Chemistry</i>	Research-based learning / evaluasi media pembelajaran	Game edukasi Green Tycoon meningkatkan pemahaman konsep dan ketertarikan mahasiswa terhadap Green Chemistry.
20	Gbadago et al., (2024)	<i>Deep Learning for Green Chemistry: An</i>	Penelitian berbasis	Model AI mampu memprediksi biodegradabilitas dengan

No	Penulis & Tanun Terbit	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Ringkasan Hasil Penelitian
21	Gasal et al., (2025)	<i>AI-Enabled Pathway for Biodegradability Prediction and Organic Material Discovery Integrating Green Chemistry Principles in Chemical Reaction Learning Packet for the Grade 10 Learners</i>	Artificial Intelligence Penelitian kuantitatif-deskriptif	akurasi tinggi dan mendukung penemuan material ramah lingkungan. Learning packet meningkatkan pemahaman konsep, kesadaran lingkungan, dan sikap positif siswa terhadap Green Chemistry.
22	Azizah et al., (2025)	<i>Exploring Learning Obstacles of Senior High School Students in Green Chemistry on the Topic of Biodegradable Plastic Development of Environmental Sensitivity</i>	Penelitian deskriptif kualitatif	Siswa mengalami hambatan pemahaman konsep Green Chemistry sehingga diperlukan pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual.
23	Jusniar et al., (2023)	<i>Instruments (ESI) Based on Green Chemistry Principles (GCP) for Chemistry Learning in High Schools</i>	Penelitian pengembangan instrumen	Instrumen sensitivitas lingkungan berbasis Green Chemistry dinyatakan valid dan reliabel untuk mengukur sensitivitas lingkungan siswa.
24	Sunday et al., (2024)	<i>Impact of Green Chemistry Education on Students' Learning and Environmental Awareness in Chemistry</i>	Studi literatur	Pendidikan Green Chemistry meningkatkan hasil belajar, kemampuan berpikir kritis, dan kesadaran lingkungan siswa meskipun masih terdapat kendala implementasi.

1. Implementasi dan Integrasi Prinsip Green Chemistry dalam Pembelajaran Kimia

Berdasarkan berbagai artikel yang dianalisis, implementasi dan integrasi prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran kimia dilakukan dalam berbagai bentuk. Integrasi tidak hanya menjadikan *green chemistry* sebagai materi pembelajaran, tetapi juga melalui model pembelajaran, pengembangan bahan ajar, pemanfaatan media digital, serta penguatan konteks sosial dan budaya agar konsep kimia lebih relevan dengan kehidupan nyata siswa.

Pada aspek model pembelajaran, integrasi *green chemistry* banyak diterapkan melalui pendekatan berbasis masalah dan proyek. Sari & Wahyuni (2024) menyatakan implementasi *Problem-Based Learning* (PBL) membantu siswa mengkaji masalah lingkungan secara nyata. Hal ini selaras dengan Jusniar et al., (2025) serta Ratnawati & Praptomo (2023) yang menegaskan bahwa PBL dan *Project-Based Learning* (PjBL) memberi kesempatan kepada siswa membangun pemahaman melalui penyelidikan, diskusi, dan refleksi sehingga

konsep kimia tidak hanya dipahami secara teori tetapi juga digunakan untuk mengkaji solusi terhadap persoalan lingkungan.

Integrasi yang lebih luas terlihat pada pendekatan STEM yang dipadukan dengan PBL. Hanif et al., (2025) menyatakan bahwa integrasi STEM membantu siswa mengaitkan konsep kimia dengan teknologi dan rekayasa yang berorientasi pada keberlanjutan. Hal ini diperkuat oleh Tairas et al., (2025) yang menyebutkan bahwa pendekatan tersebut memperkuat kemampuan siswa dalam merancang solusi yang lebih ramah lingkungan.

Selain melalui model pembelajaran, integrasi *green chemistry* juga dilakukan melalui pengembangan bahan ajar dan perangkat pembelajaran. Amanda et al. (2023) menyatakan bahwa buku ajar berbasis *green chemistry* membantu siswa memahami prinsip keberlanjutan secara lebih terstruktur. Hal ini selaras dengan Fitri et al. (2024) dan Putri et al. (2025) yang menegaskan bahwa modul dan e-modul berbasis PBL maupun *socio-scientific issues* (SSI) membuat pembelajaran *green chemistry* lebih operasional dalam kegiatan belajar siswa.

Integrasi juga terlihat pada pengembangan panduan praktikum berbasis *green chemistry*. (Afriani & Widodo, 2025) serta Disa et al. (2024) menyatakan bahwa praktikum tersebut membantu siswa memahami konsep melalui eksperimen yang lebih aman dan meminimalkan limbah. Pemanfaatan teknologi digital juga menjadi bagian penting dalam integrasi *green chemistry*. Sumanik et al. (2024) menyatakan bahwa penggunaan video pembelajaran berbasis YouTube dapat memperkuat keterlibatan siswa. Hal ini selaras dengan Widarti et al., (2025) dan Lees et al. (2020) yang menyebutkan bahwa media digital dan permainan edukatif dapat meningkatkan motivasi belajar serta membantu visualisasi konsep yang sulit. Bahkan, Gbadago et al., (2024) menyatakan bahwa kecerdasan

buatan (AI) dapat digunakan untuk mensimulasikan proses kimia yang lebih aman dan efisien.

Integrasi juga dilakukan melalui pendekatan kontekstual berbasis budaya dan kearifan lokal. Wardani et al., (2023) menyatakan bahwa pendekatan *culturally responsive teaching* (CRT) membantu mengaitkan prinsip kimia hijau dengan praktik etnokimia di masyarakat. Hal ini sejalan dengan Purba, (2025) & Hakim (2024) yang menegaskan bahwa nilai keberlanjutan telah lama diterapkan dalam praktik tradisional masyarakat.

Pada tingkat yang lebih luas, integrasi *green chemistry* memerlukan dukungan kurikulum dan kesiapan guru. (Simangunsong & Darmana (2025) menyatakan bahwa diperlukan penyesuaian kurikulum agar prinsip *green chemistry* terintegrasi secara sistematis dalam capaian pembelajaran. Hal ini diperkuat oleh Jusniar et al. (2025) yang menekankan pentingnya penguatan pemahaman guru dalam merancang pembelajaran berbasis kimia hijau.

Secara keseluruhan, implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia dilakukan melalui model pembelajaran aktif, pengembangan perangkat ajar, pemanfaatan teknologi digital, serta pendekatan kontekstual yang mengaitkan konsep kimia dengan isu keberlanjutan.

2. Peran Green Chemistry dalam Mewujudkan Pembelajaran Kimia yang Bermakna

Berdasarkan berbagai kajian yang telah dipublikasikan, *green chemistry* tidak hanya diposisikan sebagai materi tambahan dalam pembelajaran kimia, tetapi juga berperan dalam membangun pembelajaran yang bermakna. Pembelajaran bermakna terjadi ketika siswa mampu mengaitkan pengetahuan baru dengan pengalaman dan pengetahuan yang telah dimiliki, khususnya melalui permasalahan nyata

yang berkaitan dengan isu lingkungan dan keberlanjutan.

Integrasi *green chemistry* banyak diimplementasikan melalui pendekatan berbasis masalah dan proyek. Sari & Wahyuni (2024) menyatakan bahwa penerapan PBL membantu siswa mengkaji permasalahan lingkungan nyata. Hal ini selaras dengan Jusniar et al. (2025) serta Ratnawati dan Praptomo (2023) yang menegaskan bahwa PBL dan PjBL memberi kesempatan kepada siswa membangun pemahaman melalui penyelidikan, diskusi, dan refleksi sehingga konsep kimia tidak hanya dipahami secara teoretis, tetapi juga digunakan untuk merancang solusi terhadap persoalan lingkungan.

Integrasi *green chemistry* juga meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses belajar. Hanif et al. (2025) menyatakan bahwa pendekatan STEM mendorong siswa berpikir lebih kritis dalam menghadapi permasalahan lingkungan. Hal ini diperkuat oleh Tairas et al. (2025) yang menyatakan bahwa integrasi STEM dan PBL dapat memperkuat literasi kimia dan kemampuan analisis siswa. Ratnawati & Praptomo (2023) juga menekankan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberi kesempatan kepada siswa mengevaluasi berbagai alternatif solusi dan mempertimbangkan dampaknya.

Green chemistry juga berperan dalam memperkuat literasi sains dan kesadaran etis siswa. Johnson et al. (2025) menyatakan bahwa pembelajaran berbasis *green chemistry* membantu siswa memahami bahwa setiap proses kimia memiliki dampak ilmiah dan sosial. Hal ini selaras dengan Sunday et al. (2025) dan Vaz et al. (2025) yang menegaskan bahwa integrasi isu keberlanjutan membentuk kemampuan siswa dalam mengambil keputusan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Selain itu, Wardani et al. (2023) menyatakan bahwa integrasi *green chemistry* melalui

pendekatan budaya lokal dapat meningkatkan kesadaran lingkungan siswa. Hal ini sejalan dengan Hakim (2024) yang menekankan bahwa nilai keberlanjutan telah lama terdapat dalam praktik masyarakat.

Dengan demikian, *green chemistry* berperan penting dalam mewujudkan pembelajaran kimia yang bermakna karena mengaitkan konsep kimia dengan permasalahan nyata serta mendorong keterlibatan siswa, pemikiran kritis, literasi sains, dan kesadaran lingkungan.

3. Dampak Integrasi Green Chemistry terhadap Pemahaman Konsep dan Sikap Peduli Lingkungan Siswa

Berbagai artikel menunjukkan bahwa integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia berdampak positif terhadap pemahaman konsep siswa, terutama ketika diintegrasikan melalui model pembelajaran aktif. Sari & Wahyuni (2024) menyatakan bahwa penerapan PBL pada materi *green chemistry* mampu meningkatkan hasil belajar dan ketuntasan klasikal siswa. Hal ini sejalan dengan Tairas et al. (2025) serta Hanif et al. (2025) yang menyatakan bahwa integrasi STEM-PBL dapat meningkatkan literasi kimia dan kemampuan analisis siswa karena siswa terlibat dalam menganalisis permasalahan lingkungan.

Selain itu, integrasi *green chemistry* juga berdampak pada kemampuan berpikir tingkat tinggi. Ratnawati & Praptomo (2023) menyatakan bahwa proyek berbasis kimia hijau mendorong siswa menganalisis dan mengevaluasi berbagai alternatif solusi. Hal ini selaras dengan Johnson et al. (2025) yang menekankan pentingnya mempertimbangkan aspek ilmiah dan sosial sebelum mengambil keputusan.

Dari aspek sikap, Putri et al. (2025) menyatakan bahwa modul berbasis *socio-scientific issues* dalam konteks kimia hijau meningkatkan kesadaran siswa terhadap praktik

kimia ramah lingkungan. Hal ini diperkuat oleh Gasal et al. (2025) serta Sunday et al. (2025) yang menunjukkan peningkatan sikap peduli lingkungan setelah integrasi *green chemistry*. Selain itu, Vaz et al. (2025) menyatakan bahwa pembelajaran yang mengaitkan kimia dengan isu global dapat meningkatkan motivasi belajar siswa, sejalan dengan Lees et al. (2020) yang menunjukkan bahwa pemahaman kontribusi kimia terhadap pembangunan berkelanjutan dapat membentuk persepsi positif terhadap mata pelajaran kimia.

Secara keseluruhan, integrasi *green chemistry* melalui PBL, STEM-PBL, proyek, dan isu sosio-saintifik berdampak positif terhadap pemahaman konsep, keterampilan berpikir kritis, sikap peduli lingkungan, serta motivasi belajar siswa.

4. Tantangan dan Peluang Implementasi Green Chemistry dalam Pembelajaran Kimia

Meskipun berbagai kajian menunjukkan potensi *green chemistry* dalam mendukung pembelajaran bermakna, implementasinya masih menghadapi beberapa tantangan. Azizah et al. (2025) menyatakan bahwa *green chemistry* sering dianggap sebagai materi tambahan sehingga belum sepenuhnya terintegrasi dengan konsep inti kimia. Hal ini sejalan dengan Simangunsong dan Darmana (2025) yang menekankan pentingnya penyesuaian kurikulum agar prinsip keberlanjutan menjadi bagian dari capaian pembelajaran.

Tantangan lain berkaitan dengan kesiapan guru. Jusniar et al. (2023) menyatakan bahwa pemahaman guru mengenai konsep dan strategi pembelajaran berbasis *green chemistry* masih beragam sehingga diperlukan pelatihan dan pengembangan profesional.

Di sisi lain, terdapat peluang besar untuk mengembangkan integrasi *green chemistry*. Hanif et al. (2025) menyatakan bahwa pendekatan STEM membuka ruang integrasi

yang lebih luas dalam menyelesaikan masalah lingkungan. Hal ini diperkuat oleh Putri et al. (2025) yang menegaskan bahwa pendekatan *socio-scientific issues* membantu siswa memahami keterkaitan antara konsep kimia dan persoalan global.

Pemanfaatan teknologi digital juga menjadi peluang penting. Lees et al. (2020) menyatakan bahwa media digital dan simulasi virtual dapat membantu siswa memahami proses kimia hijau secara lebih interaktif. Selain itu, Gbadago et al. (2024) menyebutkan bahwa teknologi kecerdasan buatan dapat digunakan untuk mensimulasikan proses kimia yang lebih aman dan efisien.

Selain itu, pendekatan berbasis budaya lokal juga membuka peluang integrasi yang lebih kontekstual. Wardani et al. (2023) menyatakan bahwa pengaitan *green chemistry* dengan praktik masyarakat membuat pembelajaran lebih dekat dengan pengalaman siswa. Hal ini sejalan dengan Hakim (2024) yang menegaskan bahwa nilai keberlanjutan dapat diperkuat melalui konteks sosial dan budaya.

Secara keseluruhan, implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia masih menghadapi berbagai tantangan, namun memiliki peluang besar untuk dikembangkan melalui dukungan kurikulum, peningkatan kompetensi guru, serta pemanfaatan teknologi dan pendekatan kontekstual.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan kajian literatur, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia dapat diterapkan berbagai pendekatan, seperti model pembelajaran aktif, pengembangan perangkat ajar, pemanfaatan teknologi, dan penguatan konteks budaya. Integrasi ini bersifat fleksibel selama tetap berfokus pada peningkatan

- pemahaman konsep dan kesadaran terhadap keberlanjutan.
- 2) Green chemistry berperan dalam mewujudkan pembelajaran kimia yang bermakna karena mengaitkan konsep dengan permasalahan nyata, khususnya isu lingkungan. Integrasinya melalui model seperti PBL, PjBL, dan STEM dapat meningkatkan keterlibatan siswa, berpikir kritis, literasi sains, serta kepedulian terhadap lingkungan.
 - 3) Penerapan green chemistry melalui pembelajaran aktif terbukti berkontribusi positif pada peningkatan pemahaman konsep, keterampilan berpikir kritis, sikap peduli lingkungan, dan motivasi belajar siswa, meskipun peningkatannya umumnya berada pada kategori sedang.
 - 4) Meskipun masih menghadapi berbagai tantangan, penerapan green chemistry memiliki peluang besar untuk dikembangkan melalui dukungan kurikulum, peningkatan kompetensi guru, serta pemanfaatan teknologi dan pendekatan kontekstual
- UCAPAN TERIMA KASIH**
- Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Astin Lukum, M.Si. dan Dr. Masrid Pikoli, S.Pd., M.Pd. selaku dosen pengampu mata kuliah Kajian Kimia dalam Sistem Kehidupan atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada rekan-rekan mahasiswa atas dukungan dan kerja sama yang diberikan, serta kepada semua pihak yang ikut membantu dalam penyusunan kajian ini.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Adawiyah, R., Istyadji, M., & Yulinda, R. (2024). Pengembangan Bahan Ajar IPA SMP Berbasis Literasi Sains Topik Lapisan Bumi Dan Bencana. *Lencana: Jurnal Inovasi Ilmu Pendidikan*, 2(2), 64-75.
- <https://doi.org/10.55606/lencana.v2i2.355>
- Afriani, H. N., & Widodo, A. (2025). Designing a Green Chemistry-Based Practical Guide: Enhancing Learning on Reaction Rates and Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Learning Innovation*, 2(1), 73–80. <https://doi.org/10.37251/jocli.v2i1.1922>
- Akbar, J. S., & Djakariah, D. (2024). Transformasi Pembelajaran Kimia melalui Pemanfaatan Kecerdasan Buatan (AI) pada Era Society 5.0. *Edudikara: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 9(1), 19–26. <https://doi.org/10.32585/edudikara.v9i1.355>
- Amanda, F., Mawardi, M., & Suryani, O. (2023). Development of Textbooks to Support Merdeka Curriculum Learning on Green Chemistry Material in Phase E. *Jurnal Paedagogy*, 10(3), 635. <https://doi.org/10.33394/jp.v10i3.8126>
- Artha, I. N. W., Agustini, K., & Suartama, I. K. (2025). Kajian Literatur Tentang Implementasi Pembelajaran Bermakna di Sekolah Menengah Atas. *Cetta: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 8(4), 214–227. <https://doi.org/10.37329/cetta.v8i4.4499>
- Azizah, N., Supriatna, A., & Hernani, H. (2025). Exploring Learning Obstacles of Senior High School Students in Green Chemistry on the Topic of Biodegradable Plastic. *Jurnal Eduscience*, 12(5), 1380-1391. <https://doi.org/10.36987/jes.v12i5.7783>
- Disa, R. R., Muntari, M., & Hadisaputra, S. (2024). Pengembangan Modul Praktikum Kimia Berbasis Green Chemistry Pada Materi Keseimbangan Kimia Untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa Kelas XI. *Chemistry Education Practice*, 7(1), 128–133. <https://doi.org/10.29303/cep.v7i1.3745>
- Fitri, Z. N., Burhanuddin, B., & Sani A, Y. A. (2024). Feasibility of Teaching Module in Curriculum Merdeka Integrated Green Chemistry to Improve Science Process Skills and Student Learning

- Independence. *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 50–54. <https://doi.org/10.29303/jossed.v5i1.6762>
- Gasal, T. A., Nabua, E., Salic-Hairulla, M., Alcopra, A., & Fernandez, M. J. (2025). Integrating Green Chemistry Principles in Chemical Reaction Learning Packet for the Grade 10 Learners. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, IX(IV), 6722–6729. <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2025.90400489>
- Gbadago, D. Q., Hwang, G., Lee, K., & Hwang, S. (2024). Deep Learning for Green Chemistry: An AI-Enabled Pathway for Biodegradability Prediction and Organic Material Discovery. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 41(9), 2511–2524. <https://doi.org/10.1007/s11814-024-00202-5>
- Hakim, F. (2024). Project-Based Learning-Oriented Worksheet Based on Local Wisdom and Green Chemistry. *Journal of Educational Chemistry (JEC)*, 6(1), 27–36. <https://doi.org/10.21580/jec.2024.6.1.20117>
- Hanif, N., Lfx, E. W., & Rohaeti, E. (2025). Utilization of POME in Voltaic Cell Learning through the PjBL-STEM Model Oriented Toward Green Chemistry Principles. *Innovation Series Quarterly*, 1(1), 58–69. <https://doi.org/10.64382/cnff4n53>
- Harahap, S. H. (2024). *Pengembangan modul pembelajaran kimia berbasis kontekstual untuk meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa*. 4(1).
- Humairoh, S., Suryadi, A., Solehat, D., & Ihsanuddin, M. (2025). Pengembangan KIT Smart-System with Solar Panel and Sound Sensor Menggunakan Pendekatan STEM pada Materi Pengenalan Instrumen Digital. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 13(Special_issue), 115–132. https://doi.org/10.21831/jpms.v13iSpecial_issue.88718
- Johnson, A. S., Etim, E. R., Uwa, E. S., & Ekpenyong, N. M. (2025). Integrating Green Chemistry Approach in Teaching and Learning Esterification Among Senior Secondary Students in Uyo, Nigeria. *10th Annual Symposium of the American Chemical Society (ACS) Nigeria International Chemical Sciences Chapter*, 155–158. <https://doi.org/10.55455/acsigeria.1.2.155-158>
- Jusniar, J., Auliah, A., Syamsidah, S., & Fadly, D. (2025). Improving students' critical thinking abilities and environmental sensitivity through project-based learning integrated with green chemistry principles. *Eclética Quimica*, 50. <https://doi.org/10.26850/1678-4618.eq.v50.2025.e1597>
- Lees, M., Wentzel, M. T., Clark, J. H., & Hurst, G. A. (2020). Green Tycoon: A Mobile Application Game to Introduce Biorefining Principles in Green Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97(7), 2014–2019. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00363>
- Lukum, A., Karongkong, N., Pikoli, M., Tangio, J. S., Mohamad, E., & Rewini Kunusa, W. (2023). Analysis of Student's Conceptual Understanding Using Two-Tier Multiple Choice Diagnostic Test on Acid-Base Topic. *E3S Web of Conferences*, 400, 04003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340004003>
- Nurliyana, N., Asyhar, R., & Afrida, A. (2025). Pengembangan e-LKPD Berbasis Pendekatan Kontekstual Berbantuan Canva pada Materi Kimia Hijau di SMA. *Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 3(4). <https://doi.org/10.31004/jerkin.v3i4.580>
- Pikoli, M., Amu, S. F. M., & Suleman, N. (2024). Implementation of Problem-Solving Learning Model to Improve Problem-Solving Skills of MAN 1 Kota Gorontalo Students. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 12(4), 793.

- <https://doi.org/10.33394/hjkk.v12i4.11646>
- Priyolistiyanto, A., Sudargo, S., & Ulfatunni'mah, D. (2024). Pengembangan Media Pembelajaran Kimia Berbasis Augmented Reality Materi Konfigurasi Elektron Dengan Metode Bohr and Stoner Pada Kelas X Sma. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, *10*(1/Mei), 10–15. <https://doi.org/10.26877/jitek.v10i1/Mei.19034>
- Purba, L. S. L. (2025). The Influence of an Ethnochemistry-based Green Chemistry Student Worksheet on High School Students' Learning Motivation. *Asian Journal of Education and Social Studies*, *51*(10), 1125–1134. <https://doi.org/10.9734/ajess/2025/v51i102557>
- Putri, N. A., Leny, L., Iriani, R., & Rusmansyah, R. (2025). Development of a Problem Based Learning E-Module On Green Chemistry With Socio Scientific Issues Context To Enhance Students' Scientific Literacy. *JCAE (Journal of Chemistry And Education)*, *9*(1), 46–55. <https://doi.org/10.20527/jcae.v9i1.3275>
- Ratnawati, E., & Praptomo, S. (2023). PENERAPAN PEMBELAJARAN MATERI KIMIA HIJAU MELALUI PROJECT BASED LEARNING (PjBL). *UNESA Journal of Chemical Education*, *12*(2), 141–147. <https://doi.org/10.26740/ujced.v12n2.p141-147>
- Rovita, R. D. E., Asrial, & Dewi, F. (2025). Pengembangan Video Pembelajaran Terintegrasi Profil Pelajar Pancasila pada Materi Kimia Hijau: Penelitian. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, *3*(4), 1679–1691. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v3i4.480>
- Ruslan, Z. A. (2025). Peran Kimia Hijau Dalam Pendidikan Untuk Pembangunan Berkelanjutan. *Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, *8*(1), 60. <https://doi.org/10.31602/dl.v8i1.18409>
- Sanora, O. M. P., Andromeda, Yerimadesi, & Kurniawati, D. (2025). *Validitas dan Praktikalitas Media Pembelajaran Konten Edukasi Materi Kimia Hijau Berbasis ProjectBasedLearning (PjBL) Untuk Fase E SMA/MA*. *7*(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.24036/e.kj.vX.iY.a578>
- Sari, D. P., & Wahyuni, T. P. (2024). Implementation of the Problem-Based Learning Model to Improve Student Learning Outcomes on Green Chemistry Material in E Phase MAS MTI Batang Kabung, Padang City. *Science Get Journal*, *1*(3), 42–53. <https://doi.org/10.69855/science.v1i3.66>
- Simangunsong, A. D. Br., & Darmana, A. (2025). Revitalisasi Pembelajaran Kimia dalam Meningkatkan Kontribusi Menuju Green Chemistry. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Komputer*, *5*(02), 423–429. <https://doi.org/10.47709/jpsk.v5i02.7155>
- Sumanik, N. B., Arismunandar, A., Nurhikmah, N., & Indrawati, N. (2024). Green Chemistry Learning Transformation: Youtube Integrated Interactive Video to Improve Critical Thinking Skills. *Indonesian Journal of Educational Development (IJED)*, *5*(3), 346–357. <https://doi.org/10.59672/ijed.v5i3.4218>
- Sunday, E. S., Samuel, H. S., Rickson, N. H., Musa, J., & Etim, E. E. (2025). Impact of green chemistry education on students' learning and environmental awareness in chemistry. *Discover Education*, *5*(1), 44. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-01056-7>
- Susilowati, T., Marwan, I., & Rahmadhani, A. (2024). Pendekatan Teaching at the Right Level (TaRL) berbasis Teks Multimodal dalam Membangun Atmosfer Pembelajaran Bermakna pada Keterampilan Menulis. *Proceedings Series on Social Sciences & Humanities*, *20*, 267–274. <https://doi.org/10.30595/pssh.v20i.1375>
- Tairas, N., Rohaeti, E., Prodjosantoso, A. K., Ikhsan, J., & Ningthias, D. P. (2025).

- STEM-Integrated Problem-Based Learning in Green Chemistry to Enhance Chemical Literacy and Scientific Attitudes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(3), 615–626. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i3.10666>
- Ulfian, U., Syamsu, S., & Mansyur, J. (2025). Pengaruh Model Discovery Learning Terhadap Kemampuan Literasi Sains Siswa Kelas VIII SMP Negeri 1 Banawa Selatan. *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)*, 12(1), 34–38. <https://doi.org/10.22487/jpft.v12i1.3460>
- Vaz, C. R. S., Morais, C., Pastre, J. C., & Júnior, G. G. (2025). Teaching Green Chemistry in Higher Education: Contributions of a Problem-Based Learning Proposal for Understanding the Principles of Green Chemistry. *Sustainability*, 17(5), 2004. <https://doi.org/10.3390/su17052004>
- Wardani, L. K., Mulyani, B., Ariani, S. R. D., Yamtinah, S., Masykuri, M., Ulfa, M., & Shidiq, A. S. (2023). Effect of an Ethnochemistry-based Culturally Responsive Teaching Approach to Improve Cognitive Learning Outcomes on Green Chemistry Material in High School. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(12), 11029–11037. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.5532>
- Widarti, H. R., Yamtinah, S., Wiyarsi, A., Sözbilir, M., Ferama Sari, M. E., Oktavia Rose, T., Suryaputra, Muh. R., & Ainur Rokhim, D. (2025). Podcast-based green chemistry learning strengthens student awareness with distinct outcomes across gender and digital literacy dimensions. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 5, 2497. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20252497>
- Zahra, N. A., Syahri, W., & Miharti, I. (2025). Pengembangan Chemistry E-Magazine Berbasis Chemo-Edutainment Pada Materi Kimia Hijau di SMA Negeri 02 Kota Jambi. *JURNAL PERSPEKTIF PENDIDIKAN*, 19(2), 449–459. <https://doi.org/10.31540/jpp.v19i2.3976>