



## Revitalisasi Pembelajaran Sains Upaya Meningkatkan Kontribusi Menuju *Green Chemistry* di Sekolah Menengah

Eva Pratiwi Pane, Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar, Indonesia

Ayi Darmana, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Sunggul Pasaribu, Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar, Indonesia

Bernard Simanjuntak, Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar, Indonesia

### ABSTRACT

The development of science and technology today has brought significant changes in various areas of human life, including education. In a global context facing environmental crises and climate change, science education has a strategic role in shaping students' ecological awareness and sustainable behavior. One relevant approach to addressing these challenges is the concept of green chemistry, which emphasizes the principles of sustainability, resource efficiency, and reduction of environmental impact. This article aims to analyze the importance of revitalizing science learning in secondary schools in increasing contributions towards the implementation of green chemistry. A conceptual approach is used to examine the integration of green chemistry values into curriculum, learning strategies, and competency development of 21st-century students. The results of the study show that science learning that is revitalized through a contextual, project-based, and integrative approach to environmental issues is able to foster ecological science literacy, critical thinking skills, and concern for sustainability. This article also proposes a conceptual model of green chemistry-based science learning revitalization that can be applied in secondary schools as a real contribution of education to sustainable development

### ARTICLE HISTORY

Submitted 13/12/2025

Revised 17/12/2025

Accepted 24/12/2025

### KEYWORDS

Science; green chemistry; revitalization; continuous learning

### CORRESPONDENCE AUTHOR

✉ [evapратиwi2607@gmail.com](mailto:evapратиwi2607@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.12641>

## 1. PENDAHULUAN

Isu lingkungan global seperti pemanasan global, pencemaran air dan udara, serta kerusakan ekosistem telah menjadi perhatian utama berbagai negara di dunia. Pendidikan, terutama pendidikan sains, memiliki tanggung jawab moral dan sosial untuk membentuk generasi yang tidak hanya menguasai pengetahuan ilmiah, tetapi juga memiliki kesadaran ekologis yang tinggi. Dalam konteks ini, *green chemistry* atau kimia hijau hadir sebagai paradigma baru yang mengarahkan ilmu kimia pada praktik berkelanjutan, ramah lingkungan, dan efisien sumber daya (Amanda et al., 2023).

Abad ke-21 ditandai oleh kemajuan pesat dalam bidang sains dan teknologi yang memberikan kontribusi signifikan terhadap kemudahan hidup manusia. Namun, perkembangan tersebut juga membawa konsekuensi negatif berupa peningkatan pencemaran lingkungan, perubahan iklim, dan eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan. Fenomena ini menuntut adanya pergeseran paradigma dalam pendidikan, terutama pendidikan sains, agar tidak hanya menekankan aspek kognitif, tetapi juga menumbuhkan kesadaran ekologis dan tanggung jawab sosial terhadap kelestarian lingkungan.

Di Indonesia, pembelajaran sains di sekolah menengah umumnya masih berorientasi pada transfer konsep-konsep teoretis dan pemahaman kognitif semata. Akibatnya, aspek aplikatif dan nilai-nilai keberlanjutan sering kali terabaikan. Padahal, melalui pendekatan *green chemistry*, pembelajaran sains dapat menjadi sarana untuk membangun budaya ilmiah yang peduli terhadap lingkungan sekaligus meningkatkan relevansi pembelajaran dengan kehidupan nyata peserta didik (Celestino, 2023). Revitalisasi pembelajaran sains berarti melakukan pembaruan secara komprehensif terhadap kurikulum, strategi pembelajaran, media, dan evaluasi untuk memastikan bahwa pembelajaran tidak hanya menghasilkan lulusan yang cerdas secara akademik, tetapi juga berdaya guna secara sosial dan ekologis. Dengan demikian, pembelajaran sains yang terintegrasi dengan prinsip *green chemistry* menjadi langkah strategis dalam mendukung pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan (*Education for Sustainable Development-ESD*) sebagaimana direkomendasikan oleh UNESCO (UNESCO, 2020).



Pembelajaran sains di sekolah menengah memiliki posisi strategis dalam membentuk cara berpikir ilmiah, sikap kritis, dan kepedulian terhadap isu-isu lingkungan. Sains tidak hanya berfungsi untuk memahami fenomena alam, tetapi juga sebagai sarana untuk menanamkan nilai-nilai keberlanjutan dan etika ilmiah. Di sinilah relevansi konsep *green chemistry* atau kimia hijau menjadi penting. Kimia hijau merupakan pendekatan ilmiah yang bertujuan untuk merancang proses dan produk kimia yang mengurangi atau menghilangkan penggunaan serta pembentukan zat berbahaya bagi manusia dan lingkungan (Ahmadi et al., 2016).

Masalah utama dalam pembelajaran sains di sekolah menengah terletak pada keterbatasan relevansi antara materi ajar dengan konteks kehidupan sehari-hari, terutama dalam hal penerapan nilai-nilai keberlanjutan (Kamilah & Aliyatul Fikroh, 2022). Banyak kegiatan praktikum kimia di sekolah yang masih menggunakan bahan kimia berbahaya tanpa mempertimbangkan aspek keamanan, efisiensi, dan dampak lingkungan. Selain itu, pendekatan pembelajaran yang masih dominan bersifat *teacher centered* membuat peserta didik kurang memiliki kesempatan untuk berpikir kritis dan kreatif dalam memecahkan masalah lingkungan (Suci et al., 2023). Penerapan prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran sains masih menghadapi berbagai kendala. Di banyak sekolah, pembelajaran sains masih berorientasi pada hafalan konsep dan kurang mengaitkan materi dengan konteks lingkungan nyata. Guru juga belum sepenuhnya terlatih dalam menerapkan pendekatan pembelajaran yang berorientasi pada keberlanjutan. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya revitalisasi pembelajaran sains agar lebih kontekstual, berdaya guna, dan relevan dengan tantangan global (Alhempri et al., 2020).

Kurangnya integrasi antara ilmu sains dengan isu lingkungan menyebabkan rendahnya kesadaran ekologis siswa (Ramadhana et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran sains perlu direvitalisasi agar lebih kontekstual, partisipatif, dan bermakna. Melalui pembelajaran yang mengintegrasikan prinsip-prinsip *green chemistry*, peserta didik tidak hanya memahami konsep ilmiah, tetapi juga mampu menerapkannya dalam perilaku sehari-hari yang ramah lingkungan.

Revitalisasi pembelajaran sains mengacu pada upaya memperbaharui strategi, metode, serta tujuan pembelajaran agar lebih relevan dengan tantangan kontemporer. Sebagaimana diungkapkan oleh Hurst, G. A., etc., (2019), revitalisasi pendidikan sains menuntut keterpaduan antara aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik dengan orientasi keberlanjutan. Di sekolah menengah, revitalisasi dapat diwujudkan melalui pembelajaran berbasis proyek (*Project-Based Learning*), pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*), dan integrasi konteks *green chemistry*. Model pembelajaran tersebut tidak hanya mengembangkan pemahaman konseptual, tetapi juga membentuk kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik dalam memecahkan masalah lingkungan nyata (Apsari & Evaline, 2022).

Krisis lingkungan global yang ditandai oleh pencemaran kimia, degradasi ekosistem, dan meningkatnya dampak aktivitas manusia terhadap keberlanjutan bumi menuntut peran strategis pendidikan sains sebagai fondasi pembentukan generasi yang memiliki kesadaran, pengetahuan, dan tanggung jawab terhadap prinsip-prinsip keberlanjutan, khususnya *green chemistry*. Dalam konteks sekolah menengah, pembelajaran sains tidak lagi cukup berorientasi pada penguasaan konsep semata, tetapi harus direvitalisasi agar mampu mengintegrasikan nilai, keterampilan berpikir kritis, dan praktik ilmiah yang mendorong pengurangan dampak lingkungan melalui pendekatan kimia ramah lingkungan. Namun demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian yang menunjukkan bahwa kajian tentang revitalisasi pembelajaran sains di tingkat sekolah menengah umumnya belum secara spesifik menajamkan model, strategi, atau kerangka implementatif yang secara eksplisit berorientasi pada kontribusi *green chemistry*.

Meskipun isu krisis lingkungan dan pentingnya penerapan prinsip *green chemistry* telah banyak dibahas dalam literatur pendidikan sains, kajian yang secara spesifik menempatkan pembelajaran sains sebagai instrumen strategis untuk membangun kontribusi nyata siswa menuju praktik *green chemistry* di sekolah menengah masih sangat terbatas. Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada peningkatan pengetahuan konseptual atau kesadaran lingkungan secara umum, tanpa mengkaji secara mendalam bagaimana revitalisasi pembelajaran sains melalui desain pembelajaran, aktivitas laboratorium, dan sistem penilaian yang terintegrasi mampu mendorong perubahan sikap, keterampilan, dan praktik siswa yang selaras dengan prinsip *green chemistry*. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengembangkan dan menguji model pembelajaran sains yang secara eksplisit mengoperasionalkan prinsip *green chemistry* sebagai kompetensi pembelajaran yang terukur, khususnya pada jenjang sekolah menengah. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan dengan menghadirkan revitalisasi pembelajaran sains yang terstruktur dan kontekstual, tidak hanya sebagai penguatan materi, tetapi sebagai upaya sistematis untuk meningkatkan kontribusi siswa dalam penerapan *green chemistry* melalui perubahan praktik pembelajaran, perilaku laboratorium, dan pengambilan keputusan ilmiah yang berorientasi pada keberlanjutan.

Artikel ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis urgensi revitalisasi pembelajaran sains di sekolah menengah dalam konteks *green chemistry*.
2. Mengidentifikasi strategi dan model pembelajaran yang efektif untuk mengintegrasikan prinsip kimia hijau dalam proses belajar mengajar.
3. Menyajikan kerangka konseptual pembelajaran sains berbasis *green chemistry* sebagai kontribusi terhadap pendidikan berkelanjutan di Indonesia.

Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan pendidikan sains di sekolah menengah. Secara teoretis, artikel ini memperkaya wacana pendidikan sains berkelanjutan dengan menekankan relevansi *green chemistry* sebagai kerangka integratif. Secara praktis, hasil kajian ini dapat menjadi acuan bagi guru, pengembang kurikulum, dan pembuat kebijakan pendidikan dalam merancang pembelajaran yang lebih berorientasi pada keberlanjutan lingkungan dan tanggung jawab sosial.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Pendekatan Penelitian

Artikel ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif berbasis kajian konseptual (*conceptual review*). Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian bukan pada pengumpulan data empiris di lapangan, melainkan pada analisis teoritis dan sintesis konseptual mengenai relevansi, strategi, dan implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran sains di sekolah menengah. Kajian ini dilakukan melalui penelusuran sistematis terhadap berbagai literatur ilmiah baik buku, jurnal nasional dan internasional, serta dokumen kebijakan pendidikan untuk menemukan pola, prinsip, dan implikasi konseptual revitalisasi pembelajaran sains menuju *green chemistry*.

Pendekatan kualitatif dalam penelitian konseptual memungkinkan penulis untuk menginterpretasikan berbagai konsep secara mendalam dan mengaitkannya dengan konteks pendidikan di Indonesia. Dengan demikian, artikel ini tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga argumentatif dan reflektif, dengan tujuan menghasilkan model konseptual yang aplikatif bagi pembelajaran di sekolah menengah.

Kajian ini dilakukan menggunakan pendekatan *systematic literature review* dengan mengacu pada pedoman PRISMA 2020 untuk menjamin transparansi dan keterulangan proses seleksi literatur. Penelusuran literatur dilakukan secara sistematis melalui basis data elektronik utama, yaitu *Scopus*, *Web of Science*, *ERIC*, dan *Google Scholar*, serta dilengkapi dengan sumber lain berupa buku akademik dan dokumen kebijakan resmi yang relevan. Seluruh rekaman yang diperoleh pada tahap identifikasi dikompilasi dan dilakukan penghapusan duplikasi sebelum memasuki tahap penyaringan. Selanjutnya, proses screening dilakukan melalui penelaahan judul dan abstrak untuk mengevaluasi kesesuaian dengan fokus pendidikan menengah serta keterkaitan langsung dengan pembelajaran sains berorientasi *green chemistry* dan/atau *Education for Sustainable Development (ESD)*. Artikel yang lolos tahap ini kemudian dianalisis secara teks lengkap pada tahap kelayakan (*eligibility*) dengan mempertimbangkan kesesuaian konteks, kejelasan metodologi, serta kredibilitas sumber. Studi yang tidak memenuhi kriteria, seperti tidak berfokus pada pendidikan menengah, tidak mengintegrasikan aspek keberlanjutan, atau memiliki metodologi yang tidak jelas, dikeluarkan dari kajian dengan alasan yang terdokumentasi. Studi yang memenuhi seluruh kriteria inklusi selanjutnya dimasukkan dalam analisis akhir dan menjadi dasar sintesis temuan terkait revitalisasi pembelajaran sains sebagai upaya meningkatkan kontribusi menuju *green chemistry* di sekolah menengah.

### 2.2 Jenis dan Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. Data Primer Konseptual, berupa teori, prinsip, dan kebijakan tentang pembelajaran sains, *green chemistry*, dan pendidikan berkelanjutan (*Education for Sustainable Development*–ESD).
2. Data Sekunder, meliputi hasil penelitian terdahulu yang relevan, baik dari jurnal ilmiah nasional maupun internasional, buku teks, serta laporan kebijakan pendidikan seperti dokumen Kurikulum Merdeka, pedoman UNESCO, dan panduan OECD terkait *STEM Education for Sustainability* (OECD, 2021).

Data dikumpulkan melalui metode studi pustaka (*library research*). Artikel dan buku yang dipilih adalah yang diterbitkan dalam rentang tahun 2015–2025, agar analisis tetap relevan dengan perkembangan terkini dalam pendidikan sains dan praktik *green chemistry*.

### 2.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan tiga langkah sistematis, yaitu:

1. Identifikasi Literatur
  - a. Menentukan kata kunci pencarian: *science education*, *green chemistry*, *curriculum innovation*, *ESD*, dan *secondary education in Indonesia*.
  - b. Menyeleksi literatur berdasarkan kriteria relevansi topik dan kualitas publikasi.
2. Analisis Isi (*Content Analysis*)
  - a. Menelaah isi setiap literatur untuk menemukan tema-tema utama, seperti: konsep revitalisasi pembelajaran sains, prinsip *green chemistry*, dan integrasi ESD dalam kurikulum sekolah menengah.
  - b. Mengklasifikasikan hasil analisis ke dalam kategori tematik, seperti: pendekatan pedagogis, desain kurikulum, praktik laboratorium hijau, dan dampak terhadap kompetensi abad ke-21.
3. Sintesis Konseptual
  - a. Mengintegrasikan temuan literatur ke dalam satu model konseptual revitalisasi pembelajaran sains yang berorientasi pada *green chemistry*.
  - b. Menghubungkan temuan tersebut dengan konteks pendidikan Indonesia, termasuk tantangan implementasi Kurikulum Merdeka, kompetensi guru, dan fasilitas laboratorium sekolah.

### 2.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan analisis tematik (*thematic analysis*), di mana data hasil kajian pustaka diorganisasikan berdasarkan tema konseptual. Analisis dilakukan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Reduksi Data, menyaring informasi yang relevan dengan tujuan penelitian.
2. Kategorisasi Tema, mengelompokkan hasil temuan menjadi tema utama, seperti:
  - a. Prinsip *green chemistry* dalam konteks pendidikan sains.
  - b. Revitalisasi kurikulum dan strategi pembelajaran.
  - c. Penerapan pembelajaran berbasis proyek dan eksperimen hijau.
  - d. Pengembangan literasi sains ekologis.
3. Sintesis Argumentatif, menyusun narasi ilmiah yang mengaitkan teori dengan praktik, serta mengembangkan kerangka konseptual pembelajaran sains berbasis *green chemistry*.
4. Validasi Konseptual, membandingkan hasil sintesis dengan temuan penelitian terdahulu untuk memastikan konsistensi dan kredibilitas gagasan.

### 2.5 Model Konseptual Penelitian

Hasil analisis konseptual diarahkan pada pembentukan Model Revitalisasi Pembelajaran Sains menuju *Green Chemistry* (MRPS-GC), yang terdiri atas empat komponen utama:

1. Kurikulum Integratif, pengembangan kurikulum yang memadukan konten sains dengan isu lingkungan global dan prinsip *green chemistry*, termasuk 12 prinsip dasar kimia hijau seperti efisiensi atom, penggunaan bahan terbarukan, dan pencegahan limbah.
2. Pendekatan Pedagogis Kontekstual, penerapan strategi pembelajaran aktif seperti *project-based learning*, *problem-based learning*, dan *inquiry learning* yang berbasis pada isu lingkungan nyata.
3. Laboratorium Hijau Sekolah (*Green Lab*), perancangan kegiatan eksperimen yang ramah lingkungan, dengan meminimalkan limbah kimia, menggunakan bahan aman, serta menerapkan prinsip daur ulang sederhana.
4. Evaluasi dan Refleksi Berkelanjutan, sistem evaluasi pembelajaran yang tidak hanya menilai hasil kognitif, tetapi juga sikap ilmiah, kepedulian lingkungan, dan kreativitas siswa dalam menciptakan solusi berkelanjutan.

Model konseptual ini menjadi dasar dalam merancang pembelajaran sains yang tidak hanya mengajarkan konsep ilmiah, tetapi juga membentuk peserta didik yang memiliki kesadaran ekologis dan kompetensi abad ke-21 seperti berpikir kritis, kolaborasi, dan inovasi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Landasan Teoretis Green Chemistry dalam Pendidikan Sains

Konsep *green chemistry* atau kimia hijau diperkenalkan oleh Paul Anastas dan John Warner sebagai pendekatan untuk merancang produk dan proses kimia yang mengurangi atau menghilangkan penggunaan serta pembentukan zat berbahaya (Witri et al., 2023). Dalam pendidikan sains, konsep ini memiliki peran penting karena mengajarkan peserta didik untuk berpikir ilmiah sekaligus etis terhadap lingkungan. *Green chemistry* mengajarkan bahwa setiap reaksi kimia harus mempertimbangkan aspek efisiensi energi, bahan baku terbarukan, dan pencegahan limbah.

Terdapat beberapa prinsip utama *green chemistry* yang dapat diintegrasikan ke dalam pembelajaran sains di sekolah menengah, antara lain: pencegahan limbah, efisiensi atom, penggunaan bahan aman, rancangan produk yang dapat terurai, dan meminimalisasi konsumsi energi. Prinsip-prinsip ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga filosofis, karena mengubah paradigma dari mengelola limbah menjadi mencegah limbah sejak awal.

Dalam konteks pendidikan, *green chemistry* mendukung paradigma pembelajaran sains yang bersifat holistik dan reflektif, di mana sains tidak hanya dipandang sebagai kumpulan fakta, tetapi juga sebagai proses pemikiran yang bertanggung jawab terhadap keberlanjutan kehidupan. Integrasi konsep ini dalam kurikulum sains membantu membentuk *scientific literacy* yang berorientasi pada nilai (*value oriented scientific literacy*), yaitu kemampuan memahami sains dalam kaitannya dengan isu sosial, ekonomi, dan lingkungan.

Penerapan prinsip kimia hijau dalam pembelajaran juga selaras dengan agenda global Sustainable Development Goals (SDGs), terutama tujuan ke-4 (*quality education*) dan tujuan ke-12 (*responsible consumption and production*). Dengan demikian, integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran sains menjadi strategi untuk menghubungkan pendidikan nasional dengan agenda pembangunan berkelanjutan dunia.

#### 3.2 Urgensi Revitalisasi Pembelajaran Sains di Sekolah Menengah

Pembelajaran sains di sekolah menengah memiliki peran strategis dalam membentuk generasi yang sadar lingkungan. Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa pembelajaran sains sering kali masih bersifat konvensional, berpusat pada guru, dan minim kontekstualisasi lingkungan. Berdasarkan hasil studi literatur Miranto, S., (2017); Tareze, Indri & Afandi., (2022), terdapat beberapa permasalahan mendasar dalam pembelajaran sains di sekolah menengah, antara lain:

##### 1. Orientasi Kognitif yang Dominan.

Penilaian dan proses belajar lebih menekankan pada penguasaan konsep teoretis, bukan penerapan nilai keberlanjutan atau pemecahan masalah nyata.

##### 2. Minimnya Kegiatan Eksperimen Ramah Lingkungan.

Praktikum sains masih menggunakan bahan kimia berbahaya dan menghasilkan limbah tanpa sistem pengelolaan yang baik.

##### 3. Rendahnya Integrasi Isu Global.

Materi pembelajaran belum banyak mengangkat isu-isu lingkungan seperti perubahan iklim, daur ulang, atau penggunaan energi terbarukan.

##### 4. Keterbatasan Kompetensi Guru.

Guru sains belum semuanya memahami konsep *green chemistry* dan belum terlatih dalam menerapkan strategi pembelajaran berbasis keberlanjutan.

Revitalisasi pembelajaran sains menjadi urgensi untuk menjawab tantangan tersebut. Revitalisasi berarti pembaruan secara menyeluruh terhadap orientasi, metode, media, dan evaluasi pembelajaran agar lebih relevan dengan tantangan abad ke-21. Pembelajaran sains yang direvitalisasi memiliki karakteristik berikut:

1. Berorientasi pada konteks kehidupan nyata dan isu lingkungan global.
2. Mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif.
3. Mengintegrasikan nilai-nilai ekologis dan etika ilmiah dalam setiap topik pembelajaran.
4. Mendorong peserta didik menjadi agen perubahan lingkungan melalui proyek nyata.

Urgensi revitalisasi pembelajaran sains menuju *green chemistry* di sekolah menengah, dapat dilihat sebagai berikut:

#### 1. Permasalahan pembelajaran sains saat ini

- Pembelajaran sains di sekolah menengah masih dominan berorientasi pada penguasaan konsep teoritis dan hafalan serta penyelesaian soal tanpa konteks lingkungan nyata.
- Akibat langsung, yaitu siswa kurang memahami dampak praktik kimia konvensional terhadap lingkungan dan kesehatan dan rendahnya kesadaran ekologis dan tanggung jawab ilmiah siswa.
- Implikasi lebih lanjut, yaitu pendidikan sains belum berkontribusi optimal dalam membentuk perilaku berkelanjutan.

#### 2. Keterkaitan kausal antara pembelajaran sains dan masalah lingkungan

- Praktik pembelajaran yang tidak kontekstual menghasilkan pemahaman sains yang terfragmentasi sehingga menyebabkan ketidakmampuan siswa mengaitkan konsep kimia dengan isu pencemaran dan keberlanjutan.
- Ketidakhadiran perspektif *green chemistry* dalam pembelajaran dapat memperkuat paradigma kimia konvensional sehingga berpotensi mereproduksi praktik ilmiah yang tidak ramah lingkungan di masa depan.

#### 3. *Green chemistry* sebagai solusi edukatif

- *Green chemistry* menawarkan prinsip pencegahan limbah, penggunaan bahan kimia yang lebih aman dan efisiensi energi dan sumber daya.
- Secara kausal: Jika prinsip *green chemistry* diintegrasikan dalam pembelajaran sains maka siswa mampu memahami hubungan sebab-akibat antara aktivitas kimia dan dampak lingkungan sehingga mendorong pola pikir ilmiah yang berkelanjutan.

#### 4. Urgensi revitalisasi pembelajaran sains

- Revitalisasi diperlukan karena pembelajaran sains memiliki posisi strategis dalam membentuk literasi lingkungan sejak dini. Sekolah menengah merupakan fase krusial pembentukan cara berpikir ilmiah siswa.
- Dengan demikian revitalisasi pembelajaran sains bukan sekadar inovasi pedagogis, tetapi kebutuhan mendesak untuk menjawab krisis lingkungan melalui pendidikan.

#### 5. Penghubung argumentatif menuju kontribusi *green chemistry*

- Revitalisasi pembelajaran sains harus diarahkan pada integrasi eksplisit prinsip *green chemistry*. Pendekatan kontekstual berbasis masalah lingkungan nyata.
- Pembelajaran sains yang direvitalisasi yang dapat meningkatkan pemahaman konseptual dan kesadaran ekologis siswa sehingga memperkuat kontribusi pendidikan terhadap implementasi *green chemistry* di masa depan.

#### 6. Penegasan Argumen Utama

- Tanpa revitalisasi: Pembelajaran sains berisiko kehilangan relevansinya terhadap tantangan global.
- Sebaliknya: Revitalisasi pembelajaran sains menjadi jembatan strategis antara pendidikan dan praktik *green chemistry* sehingga membentuk generasi ilmuwan dan warga yang berorientasi pada keberlanjutan.

### 3.3 Strategi Pembelajaran Berorientasi *Green Chemistry*

Integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran sains di sekolah menengah dapat dilakukan melalui berbagai strategi inovatif. Terdapat empat pendekatan pedagogis utama yang terbukti efektif berdasarkan hasil penelitian dan sintesis literatur:

#### 1. Pembelajaran Berbasis Proyek (*Project Based Learning*/PjBL)

Model PjBL memberikan peluang kepada peserta didik untuk merancang dan melaksanakan proyek ilmiah yang berkaitan dengan isu lingkungan nyata, seperti pengelolaan limbah rumah tangga, pembuatan sabun alami, atau pemanfaatan limbah organik sebagai bahan bakar biogas mini. Melalui proyek ini, siswa tidak hanya belajar konsep kimia dan biologi, tetapi juga memahami prinsip kimia hijau, seperti penggunaan bahan terbarukan dan pengurangan limbah. Penelitian oleh Masruroh et al., (2024), menunjukkan bahwa penerapan PjBL berbasis *green chemistry* meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kesadaran lingkungan siswa SMA sebesar 35%. Selain itu, siswa menjadi lebih reflektif dalam merancang solusi ilmiah terhadap masalah lingkungan di sekitar mereka.

## 2. Pembelajaran Berbasis Inkuiri (*Inquiry Based Learning*)

Model *inquiry learning* mendorong peserta didik untuk menyelidiki fenomena ilmiah secara mandiri dengan mengajukan pertanyaan, merumuskan hipotesis, dan melakukan eksperimen sederhana menggunakan bahan aman dan mudah didaur ulang. Misalnya, siswa dapat menyelidiki reaksi kimia alami dalam fermentasi bahan pangan atau menganalisis efisiensi energi dari bahan bakar nabati. Pendekatan inkuiri menumbuhkan sikap ilmiah, rasa ingin tahu, dan tanggung jawab lingkungan. Guru berperan sebagai fasilitator yang menuntun siswa untuk menemukan prinsip kimia hijau dalam kehidupan sehari-hari.

## 3. Pembelajaran Kontekstual (*Contextual Teaching and Learning/CTL*)

CTL menekankan hubungan antara materi pelajaran dengan situasi kehidupan nyata siswa. Dalam konteks *green chemistry*, guru dapat mengaitkan topik reaksi kimia dengan isu polusi udara akibat pembakaran bahan bakar fosil atau mengaitkan konsep asam-basa dengan pencemaran air oleh limbah rumah tangga. Dengan demikian, siswa memahami bahwa setiap konsep ilmiah memiliki implikasi sosial dan ekologis. CTL juga menumbuhkan kesadaran bahwa sains tidak berdiri sendiri, tetapi menjadi alat untuk menjaga keseimbangan alam.

## 4. Pembelajaran Berbasis STEM Integratif

Pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) memungkinkan pembelajaran sains diintegrasikan dengan teknologi dan rekayasa untuk memecahkan masalah lingkungan. Misalnya, siswa merancang alat penyaring air sederhana berbahan alami atau sistem biokomposter rumah tangga. Pembelajaran STEM berbasis *green chemistry* mengembangkan kemampuan desain dan inovasi siswa, sekaligus menanamkan prinsip efisiensi energi dan tanggung jawab ekologis. Menurut Sihombing et al., (2025), pembelajaran STEM-ESD dapat meningkatkan kompetensi *scientific creativity* dan literasi sains ekologis peserta didik hingga 40%.

### 3.4 Model Konseptual Revitalisasi Pembelajaran Sains Berbasis *Green Chemistry*

Berdasarkan hasil sintesis literatur dan analisis tematik, diperoleh Model Revitalisasi Pembelajaran Sains menuju *Green Chemistry* (MRPS-GC) yang terdiri dari empat komponen terintegrasi, dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 1. Model Revitalisasi Pembelajaran Sains menuju *Green Chemistry* (MRPS-GC)

Komponen	Deskripsi	Tujuan Utama
Kurikulum Integratif	Integrasi prinsip <i>green chemistry</i> dalam materi sains, terutama topik kimia dan biologi.	Membangun pemahaman ilmiah yang berorientasi pada keberlanjutan.
Pendekatan Pedagogis Aktif	Penerapan model PjBL, inkuiri, CTL, dan STEM berbasis lingkungan.	Mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreativitas.
Laboratorium Hijau Sekolah ( <i>Green Lab</i> )	Penggunaan bahan aman, pengelolaan limbah eksperimen, dan eksperimen berbasis daur ulang.	Meningkatkan kesadaran dan praktik laboratorium ramah lingkungan.
Evaluasi Holistik	Penilaian berbasis kinerja, refleksi diri, dan proyek keberlanjutan.	Menilai kompetensi ilmiah, nilai ekologis, dan etika siswa.

Model MRPS-GC ini bersifat adaptif, artinya dapat diterapkan di berbagai konteks sekolah dengan menyesuaikan sarana, kurikulum, dan karakteristik peserta didik.

### 3.5 Dampak Revitalisasi terhadap Kompetensi dan Karakter Siswa

Revitalisasi pembelajaran sains melalui integrasi *green chemistry* memberikan berbagai dampak positif terhadap pengembangan kompetensi peserta didik, antara lain:

1. Peningkatan Literasi Sains Ekologis. Siswa mampu memahami keterkaitan antara fenomena ilmiah dan keberlanjutan lingkungan.
2. Penguatan Keterampilan Abad ke-21. Pembelajaran berbasis proyek dan STEM melatih siswa dalam berpikir kritis, memecahkan masalah, dan bekerja kolaboratif.
3. Pembentukan Nilai dan Karakter Berkelanjutan. Siswa mengembangkan sikap tanggung jawab ekologis, etika ilmiah, dan kepedulian terhadap keseimbangan alam.
4. Transformasi Budaya Sekolah. Melalui penerapan *green lab* dan proyek ramah lingkungan, sekolah dapat menjadi laboratorium hidup (*living laboratory*) bagi pembangunan berkelanjutan.

### 3.6 Dampak Revitalisasi terhadap Pembentukan Literasi Sains dan Ekologis

Revitalisasi pembelajaran sains memiliki dampak ganda: peningkatan literasi sains dan literasi ekologis. Peserta didik tidak hanya memahami konsep ilmiah, tetapi juga mampu mengaitkan ilmu dengan isu lingkungan, mengambil keputusan yang bertanggung jawab, serta berpartisipasi dalam aksi nyata pelestarian lingkungan. Penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis *green chemistry* meningkatkan minat belajar, keterampilan berpikir kritis, dan perilaku ramah lingkungan (Susanti, 2022). Selain itu, penerapan *contextual learning* berbasis masalah lingkungan dapat meningkatkan kesadaran siswa terhadap prinsip keberlanjutan (Sari et al., 2023).

## 4. SIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Simpulan

Kajian konseptual ini menunjukkan bahwa revitalisasi pembelajaran sains di sekolah menengah merupakan langkah strategis untuk meningkatkan kontribusi pendidikan terhadap penerapan prinsip *green chemistry* (kimia hijau) dan pembangunan berkelanjutan. Pembelajaran sains yang direvitalisasi tidak lagi hanya berfokus pada penguasaan konsep teoretis, tetapi juga pada pengembangan nilai, keterampilan, dan kesadaran ekologis peserta didik.

Hasil analisis literatur mengungkapkan bahwa *green chemistry* memberikan kerangka konseptual yang kuat untuk membangun pembelajaran sains yang kontekstual, reflektif, dan relevan dengan kehidupan nyata. Dengan mengintegrasikan dua belas prinsip kimia hijau ke dalam kurikulum dan praktik pembelajaran, sekolah dapat berperan sebagai agen perubahan dalam membentuk generasi berdaya sains dan beretika lingkungan.

Revitalisasi pembelajaran sains merupakan kebutuhan mendesak untuk merespons tantangan krisis lingkungan global dan rendahnya integrasi prinsip-prinsip *green chemistry* dalam praktik pembelajaran di sekolah menengah. Pembelajaran sains yang masih bersifat konvensional, berorientasi hafalan, dan terpisah dari konteks lingkungan terbukti membatasi peran pendidikan sains dalam membentuk kesadaran, sikap, dan kompetensi peserta didik terhadap keberlanjutan. Melalui kajian konseptual ini ditegaskan bahwa revitalisasi pembelajaran sains yang mengintegrasikan prinsip *green chemistry* seperti pencegahan pencemaran, efisiensi sumber daya, dan tanggung jawab lingkungan dapat menjadi solusi strategis untuk memperkuat kontribusi pendidikan sains terhadap pembangunan berkelanjutan. Revitalisasi tersebut tidak hanya menuntut perubahan pada konten materi, tetapi juga pada pendekatan pedagogis, desain kurikulum, serta peran guru sebagai fasilitator pembelajaran kontekstual dan bermakna. Dengan demikian, berdasarkan kajian konseptual artikel ini, revitalisasi pembelajaran sains diposisikan sebagai fondasi penting dalam menyiapkan generasi muda yang memiliki literasi sains, kesadaran lingkungan, dan kemampuan berpikir kritis yang selaras dengan prinsip *green chemistry*. Kesimpulan ini sekaligus menegaskan perlunya pengembangan model pembelajaran, perangkat ajar, dan kebijakan pendidikan yang secara sistematis mengarusutamakan *green chemistry* dalam pembelajaran sains di sekolah menengah.

Revitalisasi pembelajaran sains menuju *green chemistry* dapat diwujudkan melalui empat komponen utama sebagaimana dirumuskan dalam Model MRPS-GC (Model Revitalisasi Pembelajaran Sains–*Green Chemistry*), yaitu:

1. Kurikulum Integratif, yang menekankan integrasi nilai-nilai keberlanjutan dan isu lingkungan global ke dalam materi sains;
2. Pendekatan Pedagogis Aktif, melalui penerapan model *Project-Based Learning*, *Inquiry Learning*, *Contextual Teaching and Learning*, serta *STEM Education*;
3. Laboratorium Hijau Sekolah (*Green Lab*), dengan prinsip penggunaan bahan aman, pencegahan limbah, dan efisiensi energi;
4. Evaluasi Holistik, yang menilai pengetahuan, keterampilan, serta sikap ilmiah dan ekologis siswa secara terpadu.

Secara teoretis, revitalisasi ini memperluas makna *scientific literacy* menuju literasi sains ekologis, di mana peserta didik tidak hanya memahami konsep ilmiah, tetapi juga mampu mengambil keputusan berbasis nilai keberlanjutan. Secara praktis, penerapan model ini mampu meningkatkan kualitas pembelajaran, menumbuhkan budaya laboratorium hijau, serta mendukung implementasi Kurikulum Merdeka yang berorientasi pada *profil pelajar Pancasila* yaitu beriman, mandiri, bernalar kritis, kreatif, gotong royong, dan berkebinekaan global. Oleh karena itu, pembelajaran sains yang terintegrasi dengan *green chemistry* bukan hanya reformasi pedagogis, tetapi juga transformasi nilai dan budaya ilmiah menuju ekosistem pendidikan yang berkelanjutan.

## 4.2 Saran

Berdasarkan hasil kajian, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi Guru Sains
  - a. Mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis proyek dan eksperimen yang mengacu pada prinsip *green chemistry*.
  - b. Melakukan pelatihan dan refleksi berkelanjutan untuk memperkuat kompetensi pedagogis dan ekologis.
2. Bagi Sekolah dan Kepala Sekolah
  - a. Mendorong terbentuknya *green lab school* sebagai sarana pembelajaran dan pengelolaan lingkungan sekolah yang berkelanjutan.
  - b. Memfasilitasi kolaborasi antara guru, siswa, dan masyarakat dalam proyek lingkungan berbasis sains.
3. Bagi Pengembang Kurikulum
  - a. Menyusun panduan implementatif untuk integrasi *green chemistry* dalam mata pelajaran IPA dan kimia.
  - b. Memasukkan indikator keberlanjutan dan literasi lingkungan dalam asesmen capaian pembelajaran.
4. Bagi Pemerintah dan Pembuat Kebijakan
  - a. Menyediakan dukungan regulatif dan anggaran bagi pengembangan laboratorium hijau serta pelatihan guru berbasis *green education*.
  - b. Mengintegrasikan prinsip *Education for Sustainable Development (ESD)* ke dalam kebijakan pendidikan nasional secara sistematis.
5. Bagi Peneliti dan Akademisi
  - a. Melakukan penelitian empiris lanjutan mengenai efektivitas model MRPS-GC terhadap peningkatan literasi sains ekologis siswa.
  - b. Mengembangkan instrumen evaluasi autentik yang dapat mengukur keterpaduan antara penguasaan konsep sains dan perilaku berkelanjutan.

Dengan demikian, revitalisasi pembelajaran sains menuju *green chemistry* dapat menjadi gerakan transformatif dalam dunia pendidikan Indonesia, menjembatani antara sains, nilai kemanusiaan, dan kelestarian bumi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, H. P., Suryati, S., & Khery, Y. (2016). Pengembangan Modul Contextual Teaching and Learning (Ctl) Berorientasi Green Chemistry Untuk Pertumbuhan Literasi Sains Siswa. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 4(1), 17. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v4i1.42>
- Alhempri, R. R., Anggraini, N., & Ulfah, M. (2020). Pengaruh Program Motivasi Kewirausahaan Dalam Membentuk Jiwa Kewirausahaan Ibu Rumah Tangga. *Jurnal Apresiasi Ekonomi*, 8(1), 135–141. <https://doi.org/10.31846/jae.v8i1.277>
- Amanda, F., Mawardi, & Suryani, O. (2023). Development of Textbooks to Support Merdeka Curriculum Learning on Green Chemistry Material in Phase E. *Jurnal Paedagogy: Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 10(3), 635–645. <https://doi.org/10.33394/jp.v10i3.8126>
- Apsari, N., & Evaline, E. (2022). Literasi Kimia Menggunakan Buku Digital Kimia Dasar Berbasis Sustainable Chemistry. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(4), 1108–1116. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i4.753>
- Celestino, T. (2023). High School Sustainable and Green Chemistry: Historical–Epistemological and Pedagogical Considerations. *Sustainable Chemistry*, 4(3), 304–320. <https://doi.org/10.3390/suschem4030022>
- Hurst, G. A., Sloopweg, J. C., Balu, A. M., Climent-Bellido, M. S., Gomera, A., Gomez, P., Luque, R., Mammino, L., Spanevello, R. A., & Saito, K. (2019). International perspectives on green and sustainable chemistry education via systems thinking. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2794–2804. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00341>
- Kamilah, I., & Aliyatul Fikroh, R. (2022). Pengembangan Modul Pembelajaran Kimia SMA/MA Materi Hidrokarbon Dan Minyak Bumi Berwawasan Lingkungan Hidup. *Journal of Tropical Chemistry Research and Education*, 4(1), 45–54. <https://doi.org/10.14421/jtcre.2022.41-05>
- Masruroh, M., Purwanto, B. E., & Kusrina, T. (2024). Implementasi Pembelajaran Kimia Berbasis Project untuk

- Meningkatkan Kreativitas Berpikir dan Literasi Sains. *Journal of Education Research*, 5(3), 2864–2867. <https://doi.org/10.37985/jer.v5i3.1361>
- Miranto, S. (2017). Integrasi Konsep-Konsep Pendidikan Lingkungan Hidup Dalam Pembelajaran Di Sekolah Menengah. *Edusains*, 9(1), 81–88. <https://doi.org/10.15408/es.v9i1.5364>
- OECD. (2021). *STEM Education for Sustainability*. Paris : OECD Publishing.
- Ramadhana, S. D., Norra, B. I., & Rasyida, N. (2022). KEEFEKTIFAN PERANGKAT PEMBELAJARAN DARING DENGAN MODEL PjBL-STEAM PADA MATERI LINGKUNGAN UNTUK MENINGKATKAN LITERASI LINGKUNGAN Shela Delfia Ramadhana Bunga Ihda Norra Nisa Rasyida Program Studi Pendidikan Bio. *Jurnal Pendidikan*, 6(2), 75–81. <https://doi.org/10.26740/jp.v6n1.p75-81>
- Sari, M., Dafrita, I. E., Trisianawati, E., Nawawi, N., Herditiya, H., Manisa, T., & Nurmayanti, N. (2023). Pelatihan Pemanfaatan Lingkungan Sekolah Dalam Pembuatan Bioplastik Resin Sebagai Wujud Kreativitas Berwawasan Lingkungan Pada Siswa Sma. *SWARNA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(10), 1001–1008. <https://doi.org/10.55681/swarna.v2i10.869>
- Sihombing, R., Rochintaniawati, D., Agustin, R., Muslim, M., & Rahman, T. (2025). STEM-based Teaching Materials to Support Scientific Literacy and Sustainability Awareness: A Critical Review. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 13(3), 597–622. <https://doi.org/10.46328/ijemst.4790>
- Suci, D. H., Zainul, R., Kimia, J., Matematika, F., & Alam, I. P. (2023). Pengembangan Modul Berbasis Think, Pair and Share (TPS) Pada Materi Kimia Hijau (Green Chemistry) dalam Kehidupan Sehari-Hari. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(2), 14224–14234. <https://doi.org/10.31004/jptam.v7i2.8655>
- Susanti, L. Y. (2022). Pengembangan Modul Praktikum berbasis Green Chemistry untuk Menanamkan Karakter Peduli Lingkungan pada Calon Guru IPA. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i3.657>
- Tareze, M. A. H., Astuti, I., & Afandi. (2022). Model Pembelajaran Kolaborasi SDGs dalam Pendidikan Formal Sebagai Pengenalan Isu Global untuk Meningkatkan Kesadaran Sosial Peserta Didik. *Journal Visipena*, 13(1), 42–53. <https://doi.org/10.46244/visipena.v13i1.1978>
- UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development: A Roadmap*. Paris : UNESCO Publishing.
- Witri, R. E., Hardeli, Kurniawati, D., & Yerimadesi. (2023). Integrated Green Chemistry Problem-Based Learning Module Development to Improve Science Process Skills Senior High School Students on Basic Chemicals Law. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(8), 6188–6196. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i8.4380>