

A scoping review pembelajaran kimia berwawasan *green chemistry*: Strategi dan lingkup materi

Aqilatun Ni'mah

MAS YSPIS Gandirojo, Rembang, Jawa Tengah 59264

aqilatunnikmah123@gmail.com*

*korespondensi penulis

ARTICLE HISTORY

Received: 8 Januari 2025

Revised: 16 Februari 2025

Accepted: 25 Februari 2025

ABSTRAK

Green chemistry telah menjadi pendekatan penting dalam pengembangan pendidikan kimia yang berkelanjutan dan beretika lingkungan. Kajian ini bertujuan untuk memetakan strategi pembelajaran kimia berwawasan green chemistry serta lingkup materi kimia yang diintegrasikan dalam pendekatan tersebut. Metode yang digunakan adalah *scoping review* dengan tahapan penentuan topik, pencarian dan seleksi artikel, analisis dan sintesis artikel, serta penarikan simpulan. Scoping review difokuskan pada 15 artikel ilmiah terpilih yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2014–2024. Hasil kajian menunjukkan bahwa strategi yang paling dominan adalah project-based learning, problem-based learning dan inquiry-based learning. Lebih lanjut, strategi implementasi green chemistry dalam pembelajaran kimia juga diterapkan pada pelaksanaan praktikum kimia. Adapun materi kimia yang paling sering dikaitkan dengan prinsip-prinsip green chemistry meliputi topik stoikiometri, reaksi redoks, kimia lingkungan, serta senyawa karbon. Temuan ini menegaskan perlunya integrasi prinsip green chemistry dalam kurikulum dan praktik pembelajaran kimia guna mendorong kesadaran ekologis peserta didik sejak dini.

Kata kunci : green chemistry, pembelajaran kimia

ABSTRACT

A Scoping Review of Green Chemistry-Oriented Chemistry Learning: Strategies and Content Scope. Green chemistry has become an important approach in the development of sustainable and environmentally ethical chemistry education. This study aims to map chemistry learning strategies that incorporate green chemistry perspectives, as well as the scope of chemistry content integrated within this approach. The method used is a scoping review involving several stages: topic determination, article search and selection, article analysis and synthesis, and conclusion drawing. The scoping review focuses on 15 selected scientific articles published between 2014 and 2024. The results show that the most dominant strategies are project-based learning, problem-based learning, and inquiry-based learning. Furthermore, the implementation of green chemistry principles is also reflected in chemistry laboratory practices. The chemistry topics most frequently associated with green chemistry principles include stoichiometry, redox reactions, environmental chemistry, and carbon compounds. These findings highlight the need to integrate green chemistry principles into the curriculum and teaching practices in order to foster students' ecological awareness from an early stage.

Key word: green chemistry, chemistry learning

Pendahuluan

Ilmu kimia dalam kehidupan memiliki peran yang sangat penting bagi manusia dan aspek kehidupan lain, mulai dari pengembangan material, energi, sampai perkembangan teknologi (Witzany, 2015). Namun demikian selain memberikan kontribusi positif terhadap kemajuan peradaban, aktivitas kimia juga menjadi salah satu penyumbang terbesar terhadap permasalahan lingkungan global (Singh et al, 2016; Juniarsa et al, 2023), seperti pencemaran air dan udara, limbah berbahaya, serta konsumsi sumber daya yang tidak berkelanjutan. Dalam konteks ini, munculnya *Green Chemistry* atau kimia hijau menjadi sebuah respons ilmiah dan etis untuk menjawab tantangan zaman yang menekankan pada praktik kimia yang aman, efisien, dan ramah lingkungan melalui dua belas prinsip utamanya (Zuin et al, 2021; Mammino, 2024).

Dalam dunia pendidikan, khususnya pendidikan kimia, integrasi *Green Chemistry* menjadi semakin relevan pada konteks pembelajaran kimia (Aubrecht et al, 2019). Pembelajaran kimia tidak lagi hanya berfokus pada penguasaan konsep-konsep teoritis dan keterampilan laboratorium semata, melainkan juga perlu menanamkan kesadaran akan dampak ekologis dari praktik kimia. Hal ini selaras dengan tujuan pendidikan abad ke-21 (Kusuma et al, 2025). Pembelajaran tersebut menekankan pada

pengembangan *scientific literacy*, *environmental awareness*, dan pembentukan karakter peserta didik yang bertanggung jawab terhadap keberlanjutan lingkungan.

Namun, implementasi pembelajaran kimia yang berwawasan *Green Chemistry* di tingkat pendidikan menengah dan tinggi masih menghadapi berbagai hambatan (Sinuraya et al, 2024). Secara umum, terdapat beberapa gap dalam literatur yang mengindikasikan perlunya telaah lebih mendalam: (1) belum adanya pemetaan komprehensif mengenai strategi pembelajaran yang digunakan untuk mengintegrasikan prinsip kimia hijau; (2) belum jelasnya cakupan atau lingkup materi kimia yang paling sering atau paling relevan dikaitkan dengan pendekatan *Green Chemistry*; serta (3) belum teridentifikasinya kecenderungan pendekatan pedagogis yang paling efektif dalam membentuk kesadaran lingkungan melalui pembelajaran kimia.

Sejumlah studi sebelumnya memang telah mencoba mengembangkan model atau perangkat pembelajaran berbasis *Green Chemistry*, namun studi-studi tersebut cenderung bersifat parsial dan belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai implementasi *Green Chemistry* dalam pembelajaran kimia. Di sinilah letak urgensi dari kajian ini yaitu sebuah scoping review yang secara sistematis memetakan dan menganalisis strategi pembelajaran kimia berwawasan *Green Chemistry* dan lingkup materi kimia yang dikaitkan dengannya.

Scoping review ini dilakukan dengan menganalisis 15 artikel ilmiah terpilih yang diterbitkan dalam kurun waktu tertentu dan relevan dengan topik. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai jenis strategi pembelajaran yang digunakan, baik berbasis pendekatan kontekstual, inkuiri, proyek, maupun berbasis laboratorium ramah lingkungan. Lebih lanjut, kajian ini dilakukan untuk memetakan konsep-konsep kimia (misalnya reaksi redoks, stoikiometri, asam-basa, dan lain-lain) yang telah dikaitkan dengan prinsip-prinsip *Green Chemistry*. Hasil dari scoping review ini diharapkan dapat memberikan arah bagi pengembangan kurikulum, desain instruksional, serta penelitian lanjutan di bidang pendidikan kimia yang berwawasan lingkungan. Dengan menyediakan pemetaan menyeluruh mengenai pendekatan dan lingkup materi, kajian ini juga bertujuan untuk menjadi acuan bagi para pendidik, pengembang kurikulum, dan peneliti dalam mengimplementasikan pembelajaran kimia yang tidak hanya bermuatan akademik, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan.

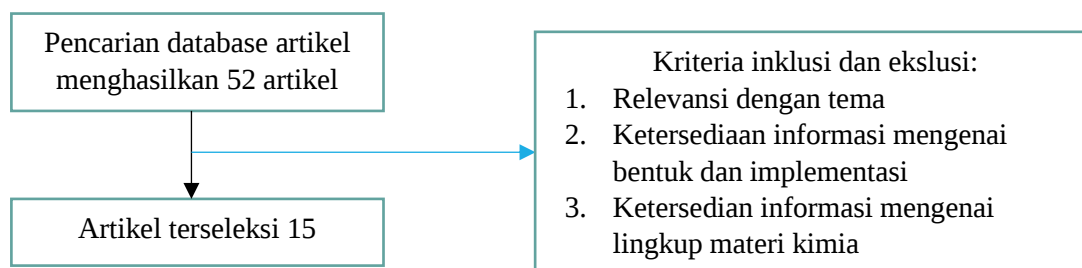
Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan *scoping review* untuk memetakan secara sistematis strategi pembelajaran kimia yang berwawasan *Green Chemistry* serta lingkup konsep kimia yang dikaitkan dengan prinsip-prinsip kimia hijau dalam praktik pendidikan. Kajian ini mengacu pada kerangka metodologis yang dikembangkan oleh Munn et al (2018) yang terdiri atas lima tahap utama, yaitu: identifikasi pertanyaan penelitian, identifikasi studi yang relevan, seleksi studi, ekstraksi dan pemetaan data, serta pelaporan hasil.

Pertanyaan penelitian dalam kajian ini difokuskan pada dua aspek utama, yaitu (1) jenis-jenis strategi pembelajaran yang telah digunakan dalam mengimplementasikan prinsip *Green Chemistry* dalam pembelajaran kimia, dan (2) konsep-konsep kimia yang paling sering dikaitkan dengan pendekatan tersebut. Untuk menjawab pertanyaan tersebut, penelusuran literatur dilakukan secara sistematis pada beberapa basis data ilmiah, antara lain Google Scholar, ScienceDirect, dan SpringerLink. Pencarian dilakukan dengan menggunakan kombinasi kata kunci seperti “*green chemistry education*,” “*chemistry learning strategy*,” “*green chemistry integration*,” dan “*instructional strategy in green chemistry*.”

Dari proses pencarian awal, diperoleh sebanyak 52 artikel yang relevan. Selanjutnya, dilakukan proses seleksi dengan membaca abstrak dan isi artikel secara menyeluruh berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Artikel yang tidak relevan, duplikat, atau tidak menyediakan

informasi yang memadai mengenai strategi pembelajaran dan lingkup materi kimia dieliminasi. Setelah proses seleksi, terpilih 15 artikel yang memenuhi kriteria dan dijadikan sumber utama dalam kajian ini.



Gambar. 1. Proses Pencarian dan Seleksi Artikel

Data dari artikel-artikel yang terpilih kemudian diekstraksi dan dianalisis secara tematik. Informasi yang dikumpulkan meliputi identitas artikel, jenis strategi pembelajaran yang diterapkan, konsep-konsep kimia yang diajarkan, serta prinsip *Green Chemistry* yang digunakan. Seluruh data tersebut dikategorikan dalam bentuk tabel matriks untuk memudahkan proses analisis dan interpretasi. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan pendekatan sintesis naratif, sehingga memungkinkan identifikasi pola-pola umum, kecenderungan, dan celah yang masih ada dalam penelitian terkait pembelajaran kimia berwawasan *Green Chemistry*. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi pembelajaran dan penyusunan kurikulum kimia yang lebih ramah lingkungan dan berorientasi pada keberlanjutan.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisis terhadap 15 artikel yang dikaji dalam scoping review ini, ditemukan beragam strategi pembelajaran yang digunakan dalam mengintegrasikan prinsip *Green Chemistry* ke dalam pembelajaran kimia. Secara umum, strategi yang digunakan dapat dikategorikan ke dalam empat pendekatan utama, yaitu: pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*), pembelajaran berbasis inkuiri (*inquiry-based learning*), pembelajaran kontekstual, dan pendekatan laboratorium hijau (*green laboratory*). Keempat pendekatan ini menunjukkan kecenderungan yang kuat dalam menekankan pada pengalaman belajar aktif, kontekstualisasi konsep kimia dengan isu lingkungan, serta keterlibatan siswa dalam proses berpikir kritis dan pemecahan masalah berbasis keberlanjutan. Pemetaan dari 15 artikel yang telah dikaji disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pemetaan Strategi Pembelajaran dan Lingkup Materi Kimia Berwawasan Green Chemistry

No.	Strategi Pembelajaran	Jumlah Artikel	Lingkup Materi Kimia yang Dikaitkan	Prinsip Green Chemistry yang Dikaitkan
1	Project-Based Learning (PjBL)	4	Asam Basa (Najih, 2019), Materi kimia secara umum (Saptorini et al, 2024), Elektrokimia (Liu et al, 2023), kimia umum (Yonata & Hidayah, 2017)	Pencegahan limbah, desain untuk efisiensi energi, penggunaan bahan terbarukan
2	Inquiry-Based Learning	3	Koloid (Putra et al, 2018), Katalis (Duangpummet et al, 2019), Biodesel (Listyarini et al, 2020)	Pengurangan zat berbahaya, katalisis, desain proses yang aman
3	Laboratorium Hijau (Green Lab)	5	Praktikum kimia dasar (Armstrong et al, 2019), Praktikum kimia organik (Graham et al, 2014), Praktikum asam basa (Karpudewan et al, 2015), Praktikum katalis dan energi (Albright et al, 2021), Praktikum bioderagdeble material (Sholahudin et al, 2024)	Reduksi zat berbahaya, efisiensi atom, reagen aman dan ramah lingkungan
4	Model Pembelajaran Berbasis Masalah (PBL)	3	Kimia dalam kehidupan sehari-hari (Gunter et al, 2017), kimia analitik (Nuswowati et al, 2017), Hukum dasar kimia (Witri & Kurniawati, 2023)	Pencegahan limbah, desain untuk degradasi, pengurangan jejak karbon

Pendekatan berbasis proyek menjadi strategi yang paling banyak ditemukan dalam artikel yang dikaji (Yonata & Hidayah, 2017; Najih, 2019; Liu et al, 2023; Saptorini et al, 2024). Pendekatan ini

memungkinkan peserta didik untuk merancang solusi terhadap permasalahan lingkungan nyata dengan menerapkan prinsip *Green Chemistry*. Proyek yang dikembangkan bervariasi, mulai dari pembuatan produk ramah lingkungan, analisis dampak limbah kimia, hingga rekayasa ulang proses sintesis agar lebih efisien dan tidak beracun.

Strategi berbasis inkuiri dan pembelajaran kontekstual juga banyak digunakan untuk mendorong eksplorasi siswa terhadap keterkaitan antara konsep kimia dan isu-isu lingkungan (Putra et al, 2018; Duangpummet et al, 2019; Listyarini et al, 2020). Misalnya, siswa diajak menyelidiki proses-proses kimia dalam kehidupan sehari-hari yang menghasilkan limbah, serta mengusulkan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Pendekatan ini menekankan pada pentingnya kemampuan berpikir ilmiah dan pengambilan keputusan berbasis data.

Sementara itu, pendekatan laboratorium hijau menjadi ciri khas dari pembelajaran kimia berwawasan *Green Chemistry* (Graham et al, 2014; Karpudewan et al, 2015; Armstrong et al, 2019; Albright et al, 2021; Sholahudin et al, 2024). Dalam strategi ini, kegiatan praktikum dirancang untuk meminimalkan penggunaan zat berbahaya, mengurangi limbah, serta memanfaatkan bahan yang lebih aman dan terbarukan. Beberapa artikel melaporkan keberhasilan implementasi laboratorium hijau dalam meningkatkan kesadaran peserta didik terhadap keamanan dan keberlanjutan dalam praktik kimia.

Dari sisi lingkup materi, konsep-konsep kimia yang paling sering dikaitkan dengan prinsip *Green Chemistry* antara lain adalah reaksi kimia (terutama sintesis organik dan reaksi redoks), stoikiometri, asam-basa, senyawa karbon, dan materi kimia lingkungan. Materi-materi ini dinilai memiliki keterkaitan langsung dengan aktivitas kimia yang berdampak terhadap lingkungan dan memungkinkan diterapkannya prinsip-prinsip *Green Chemistry*, seperti pencegahan limbah, penggunaan reagen yang aman, efisiensi atom, dan desain untuk degradasi.

Hasil kajian ini menunjukkan bahwa integrasi prinsip *Green Chemistry* dalam pembelajaran kimia tidak hanya memperkaya pendekatan pedagogis, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap pembentukan karakter ilmiah yang peduli terhadap keberlanjutan. Namun demikian, sebagian besar penelitian yang dianalisis masih bersifat studi kasus atau implementasi terbatas di skala kelas tertentu. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian lebih lanjut dalam pengembangan instrumen evaluasi yang mengukur efektivitas integrasi *Green Chemistry* dalam berbagai strategi pembelajaran, serta perlunya studi komparatif pada jenjang pendidikan yang berbeda.

Temuan ini memperkuat urgensi pentingnya penyusunan panduan atau model pembelajaran kimia berbasis *Green Chemistry* yang komprehensif dan sistematis. Selain itu, perlu adanya dukungan dari kebijakan pendidikan, pengembangan kurikulum, serta pelatihan guru agar pendekatan ini dapat diimplementasikan secara lebih luas dan berkelanjutan di berbagai konteks pendidikan.

Simpulan

Berdasarkan hasil pemetaan terhadap 15 artikel dapat disimpulkan bahwa pembelajaran kimia berwawasan *green chemistry* telah diterapkan dengan berbagai strategi, terutama berbasis proyek dan pemecahan masalah. Strategi ini mendukung keterlibatan aktif siswa dan penguatan kesadaran lingkungan. Selain itu, lingkup materi kimia yang dikaitkan dengan prinsip *green chemistry* cukup beragam, dengan dominasi pada topik stoikiometri, reaksi redoks, dan kimia lingkungan. Temuan ini menunjukkan adanya peluang besar untuk memperluas integrasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia di berbagai jenjang pendidikan, khususnya dalam rangka mewujudkan pendidikan kimia yang berkelanjutan dan kontekstual. Kajian ini juga menjadi pijakan awal bagi pengembangan kurikulum dan riset lebih lanjut terkait efektivitas strategi dan capaian pembelajaran berbasis *green chemistry*. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah artikel yang dikaji belum memiliki keterwakilan untuk beberapa aspek, seperti cakupan negara, peringkat *indexing*, dan jumlah sitasi artikel. Dengan demikian sebagai tindak lanjut penelitian ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan *systematic literatur review* untuk mengkaji lebih mendalam bentuk dan implementasi *green chemistry* dalam pembelajaran kimia.

Referensi

- Albright, H., Stephenson, C. R., & Schindler, C. S. (2021). Design of a Two-Week Organic Chemistry Course for High School Students: "Catalysis, Solar Energy, and Green Chemical Synthesis". *Journal of Chemical Education*, 98(7), 2449-2456. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.1c00068>
- Armstrong, L. B., Rivas, M. C., Zhou, Z., Irie, L. M., Kerstiens, G. A., Robak, M. T., ... & Baranger, A. M. (2019). Developing a green chemistry focused general chemistry laboratory curriculum: What do students understand and value about green chemistry?. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2410-2419. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.9b00277>
- Aubrecht, K. B., Bourgeois, M., Brush, E. J., MacKellar, J., & Wissinger, J. E. (2019). Integrating green chemistry in the curriculum: Building student skills in systems thinking, safety, and sustainability. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2872-2880. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.9b00354>
- Duangpummet, P., Chaiken, P., & Chenprakhon, P. (2019). Lipase-catalyzed esterification: An inquiry-based laboratory activity to promote high school students' understanding and positive perceptions of green chemistry. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 1205-1211. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.8b00855>
- Graham, K. J., Jones, T. N., Schaller, C. P., & McIntee, E. J. (2014). Implementing a student-designed green chemistry laboratory project in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1895-1900. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed5000394>
- Günter, T., Akkuzu, N., & Alpat, Ş. (2017). Understanding 'green chemistry' and 'sustainability': an example of problem-based learning (PBL). *Research in science & Technological Education*, 35(4), 500-520. <https://doi.org/10.1080/02635143.2017.1353964>
- Juniarsa, N., Rofiudin, M., & Martono, M. (2023). Sosialisasi Dan Pendampingan Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Pada Desa Sanankerto Kabupaten Malang. *Jurnal Edukasi Pengabdian Masyarakat*, 2(1), 23-28. <https://doi.org/10.36636/eduabdimas.v2i1.2111>
- Karpudewan, M., Roth, W. M., & Ismail, Z. (2015). The effects of "Green Chemistry" on secondary school students' understanding and motivation. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 24, 35-43. <https://doi.org/10.1007/s40299-013-0156-z>
- Mammino, L. (2024). Ethics within chemistry education: Options, challenges and perspectives. *Chemistry Teacher International*, 6(4), 419-429. Retrieved from <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/cti-2024-0027/html>
- Munn, Z., Peters, M. D., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC medical research methodology*, 18, 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- Najih, S. K. (2019). Penggunaan Pigmen Alami Pada Tenun Trosos dengan Fiksasi Asam-Basa: Pendekatan Green Chemistry Melalui Project Based Learning. *Orbital: Jurnal Pendidikan Kimia*, 3(1), 54-64. <https://doi.org/10.19109/ojpk.v3i1.3368>
- Nuswawati, M. S. E. R., Susilaningih, E., Ramlawati, R., & Kadarwati, S. (2017). Implementation of problem-based learning with green chemistry vision to improve creative thinking skill and

- students' creative actions. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 6(2), 221-228. <https://doi.org/10.15294/jpii.v6i2.9467>
- Kusuma et al. (2025). *Best Pracice Pembelajaran Abad 21*. Bandung: Naba Edukasi Indonesia.
- Listyarini, R. V., Pamenang, F. D. N., & Dewi, N. K. (2020). Guided-inquiry of green chemistry-based experiments in biodiesel synthesis. *Scientiae Educatia: Jurnal Pendidikan Sains*, 9(1), 14-29. DOI: 10.24235/sc.educatia.v9i1.6283
- Liu, R. X., Xiong, F., Chen, C., Ding, T. M., & Zhang, S. Y. (2023). Project-based learning in green electrochemistry for undergraduates: an efficient synthesis route of a natural product. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 689-696. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.2c00902>
- Putra, I. S., Susilaningsih, E., & Wardani, S. (2018). Development of inquiry-based chemistry laboratory sheet oriented to green chemistry for improving the science process skills. *Journal of Innovative Science Education*, 7(1), 87-94. Retrieved from <https://journal.unnes.ac.id/sju/jise/article/view/24170/11121>
- Saptorini, S., Widodo, A. T., & Susatyo, E. B. (2014). Green Chemistry Dalam Desain Pembelajaran Project-Based Learning Berbasis Karakter Di Madrasah Aliyah Se-Kabupaten Demak. *Rekayasa: Jurnal Penerapan Teknologi Dan Pembelajaran*, 12(1), 57-69. <https://doi.org/10.15294/rekayasa.v12i1.5588>
- Sholahudin, N. P., Riandi, R., & Prima, E. C. (2024). GREEN CHEMISTRY IN ACTION: DEVELOPING AND IMPLEMENTING A BIODEGRADABLE MATERIAL EXPERIMENT IN SENIOR HIGH SCHOOL SETTINGS. *INSECTA: Integrative Science Education and Teaching Activity Journal*, 5(2), 201-211. <https://doi.org/10.21154/insecta.v5i2.8725>
- Singh, R. L., & Singh, P. K. (2016). Global envonmental problems. In *Principles and applications of environmental biotechnology for a sustainable future* (pp. 13-41). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1866-4_2
- Sinuraya, M. L., Dzaki, D. A., Agustin, A., & Nurhildayanti, H. (2024). Application of Green Chemistry in the Context of Industrial Chemistry: Student Perspective and Importance for Continuing Study. *Amandemen: Journal of Learning, Teaching and Educational Studies*, 2(1), 42-53. <https://doi.org/10.61166/amd.v2i1.39>
- Witri, R. E., & Kurniawati, D. (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. DOI: 10.29303/jppipa.v9i8.4380
- Witzany, G. (2015). Life is physics and chemistry and communication. *Annals of the new York Academy of Sciences*, 1341(1), 1-9. <https://doi.org/10.1111/nyas.12570>
- Yonata, B., & Hidayah, R. (2017). Implementation of Science Character Values with Green Chemistry Insight Integrated on Basic Chemistry Course by Using Project Based Learning. *Advanced Science Letters*, 23(12), 11943-11947. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.10549>
- Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., & Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23(4), 1594-1608. DOI: 10.1039/D0GC03313H