SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW: PERAN PEMBELAJARAN KIMIA TERHADAP KEBERLANJUTAN DALAM KONTEKS *EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT* (ESD)

Systematic Literature Review: The Role of Chemistry Learning on Sustainability in The Context of Education for Sustainable Development (ESD)

Febrizal*, Hernani, Ahmad Mudzakir
Program Studi Pendidikan Kimia, FMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setabudhi Nomor 229 Bandung 40154, Jawa Barat, Indonesia
*email: febrizal.ical@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini dilatarbelakangi perlunya studi literatur mengenai bagaimana keberlanjutan penting untuk didukung dalam sebuah pembelajaran di tingkat formal. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah mengkaji upaya-upaya yang dilakukan untuk mewujudkan keberlanjutan melalui pembelajaran kimia. Peran ini difokuskan dalam dua hal yaitu Melalui pembelajaran kimia ramah lingkungan yang kemudian dapat diterapkan dalam dunia industri maupun kehidupan sehari-hari dan peningkatan kesadaran lingkungan dan kesadaran keberlanjutan. Metode yang digunakan yaitu systematic literature review, yang terdiri atas tiga tahap yaitu planning, conducting, dan reporting. Tahap planning berupa penetapan protokol meliputi penentuan topik dan penetapan kriteria pencarian artikel, Tahap conducting yaitu pelaksanaan meliputi pencarian artikel, pemilihan artikel, dan sintesis data. Tahap reporting yaitu tahapan akhir yang meliputi penulisan hasil systematic literature review sesuai dengan format yang telah ditentukan. Hasil yang diperoleh dari 10 artikel yang dikaji menunjukkan bahwa beberapa peran kimia dalam menjaga keberlanjutan melalui pembelajaran kimia berorientasi praktik yang ramah lingkungan dan dari 15 artikel yang dikaji menunjukkan hubungan pembelajaran dalam konteks ESD dengan kesadaran lingkungan (*Evironmental awareness*) kesadaran keberlanjutan (*Sustainability awareness*).

Kata kunci: keberlanjutan, ESD, pembelajaran kimia, *environmental awareness, sustainability awareness*

Abstract. *This research was motivated by the need for a literature study on how sustainability is important to be supported in formal learning. The main objective in this research was to examine the efforts made to realize sustainability through learning chemistry. This role was focused on two things, namely through learning environmentally friendly chemistry which could then be applied in the industrial world and everyday life and increasing environmental awareness and awareness of sustainability. The method used was systematic literature review, which consists of three stages, namely planning, conducting, and reporting. The planning stage was in the form of setting the protocol including determining the topic and setting the criteria for finding articles. The conducting stage was the implementation which includes searching for articles, selecting articles, and synthesizing data. The reporting stage was the final stage which includes writing the results of a systematic literature review in accordance with a predetermined format. The results obtained from the 10 articles reviewed show that some of the roles of chemistry in maintaining sustainability through environmentally friendly practice-oriented chemistry learning and from the 15 articles reviewed show the relationship of learning in the context of ESD with environmental*

Diterbitkan oleh Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Lambung Mangkurat
pISSN: 2086-7328, eISSN: 2550-0716. Terindeks di SINTA (Peringkat 3), IPI, IOS, Google Scholar, MORAREF, BASE, Research Bib, SIS, TEI, ROAD, Garuda dan Scilit.

Received : 28-03-2023, *Accepted* : 24-08-2023, *Published* : 28-10-2023

awareness (sustainability awareness).

Keywords: *sustainability, ESD, chemistry learning, environmental awareness, sustainability awareness*

PENDAHULUAN

Konsep keberlanjutan sering dikaitkan dengan konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) sehingga kedua istilah tersebut digunakan sebagai sinonim termasuk di bidang akademik dan ilmiah, seperti yang diamati dalam banyak literatur (Olawumi & Chan, 2018). Merujuk kepada konsep pembangunan berkelanjutan yang diperkenalkan oleh *World Commission on Environment and Development* (WCED) sebagaimana tertuang dalam laporan Brundtland yang menyatakan bahwa pembangunan berkelanjutan berkonsep pada pemenuhan kebutuhan generasi saat ini tanpa mengorbankan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhannya. Eksploitasi terhadap sumber daya alam untuk pemenuhan kebutuhan dan peningkatan ekonomi seharusnya tidak mengorbankan kehidupan sosial dan budaya serta memperhatikan kelestarian lingkungan hidup. Hal ini berguna untuk kelangsungan sumberdaya alam itu sendiri agar dapat dinikmati oleh generasi selanjutnya.

Agenda 2030 yang digagas *United Nations Educational, Scientific and Cultural* (UNESCO) untuk keberlanjutan dengan jelas mencerminkan visi tentang pentingnya keterlibatan pendidikan secara tepat. Pendeklarasian Dekade Pendidikan untuk Pembangunan Berkelanjutan (*Decade Education for Sustainable Development/*DESD) oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) melalui UNESCO pada tahun 2005-2014 ditujukan untuk menghadapi situasi darurat global yang sedang berlangsung. Deklarasi ini merupakan upaya terbesar dan terbaru untuk mengarahkan pendidikan menuju keberlanjutan. Menurut PBB, pendidikan saja tidak akan cukup untuk mencapai masa depan yang lebih berkelanjutan. Namun, keberlanjutan tidak dapat dicapai tanpa pendidikan. Oleh karena itu, PBB berupaya mengintegrasikan prinsip, nilai, dan praktik pembangunan berkelanjutan dalam setiap aspek pendidikan.

Berdasrkan kerangka DESD yang digagas oleh UNESCO tersebut diketahui bahwa pengetahuan, keterampilan, dan motivasi yang kuat untuk melakukan perubahan dalam sistem pendidikan (pengajaran, pembelajaran, dan pengelolaan lembaga) dibutuhkan untuk mengubah masyarakat menjadi lebih peduli terhadap berkelanjutan. Fakta di lapangan masih banyak kita jumpai sebagian dari masayarakat ataupun pelaku industri yang belum sepenuhnya atau sama sekali tidak mengindahkan faktor lingkungan sebagai pertimbangan dalam kegiatan sehari-hari maupun kegiatan industri. Salah satu penelitian yang menunjukkan prilaku tidak ramah lingkungan, seperti pengkajian oleh (Fajar Wibisono & Dewi, 2014) terhadap perilaku Masyarakat Indonesia menunjukkan bahwa, masyarakat di Indonesia memiliki karakter dan perilaku yang buruk tentang lingkungan. Sikap dan karakter ini tidak mengenal status sosial ataupun tingkat pendidikan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu menciptakan sikap yang peduli terhadap lingkungan. Adapun kunci utama untuk mewujudkan hal tersebut adalah transformasi yang dapat diwujudkan melalui pendidikan. Memodifikasi pola perilaku masyarakat dalam kesadaran keberlanjutan (*sustainability awareness*) dimulai dengan mendidik generasi muda (Alkhayyal et al., 2019). Hal pokok dalam proses transformasi adalah dengan mengenal lebih dalam konsep *Education for Sustainability Development* (ESD) dan menganalisis potensi-potensi dalam pendidikan yang dapat dikembangkan mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable*

Development Goals/SDGs). Pentingnya ESD dipertimbangkan sebagai basis pendidikan yang diterapkan di masa sekarang dan akan datang juga disebabkan struktur sosial dan kondisi ekonomi dunia saat ini di samping mengenai isu kerusakan lingkungan (UNESCO, 2017). Dalam penelitiannya Hassan et al. (2010) mengatakan bahwa untuk menunjang proses pembelajaran ESD perlu sikap kesadaran berkelanjutan yang tinggi. kesadaran keberlanjutan merupakan salah satu penunjang keterlaksanaan konsep pembangunan berkelanjutan dan menjadi salah satu inovasi baru dari ESD. Namun dari berbagai literatur yang ada, belum ditemukan literatur yang secara konfrehensif membahas bagaimana keterhubungan praktik/pembelajaran bidang studi di pendidikan formal dengan sikap kesadaran keberlanjutan termasuk kimia. Bagaimana kimia dapat mengambil peran terhadap keberlanjutan, terutama keberlanjutan lingkungan perlu dijelaskan lebih fokus dan terperinci.

Untuk mewujudkan terlaksanaan ESD perlu pengintegrasian misi pendidikan keberlanjutan dalam kurikulum di universitas. Dibutuhkan motivasi dan dukungan untuk meningkatkan kesadaran keberlanjutan sesuai dengan propesi lulusan (Lidgren et al., 2006). Pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan merupakan konsep dinamis yang memanfaatkan semua aspek yang ditumpukan pada kesadaran masyarakat, pendidikan, dan pelatihan untuk menciptakan atau meningkatkan pemahaman tentang hubungan antara isu-isu keberlanjutan dan untuk mengembangkan pengetahuan, keterampilan, perspektif, dan nilai-nilai yang akan memberdayakan orang-orang dari segala usia untuk memikul tanggung jawab dalam menciptakan dan menikmati masa depan yang berkelanjutan (Alkhayyal et al., 2019).

Burmeister & Eilks (2012) mengatakan bahwa Semua tingkat dan domain pendidikan harus terlibat dalam berkontribusi pada ESD, termasuk kimia. Ketika kita mempertimbangkan konsep pendidikan modern dalam bidang kimia di sekolah, kita menyadari bahwa pembelajaran teori dan fakta kimia saja tidak cukup untuk meningkatkan kemampuan siswa untuk mengatasi masalah pembangunan berkelanjutan ke tingkat yang diinginkan. Earth Day 2021, dengan tema "Restore Our Earth", bersama *Chemist Celebrate Earth Week* 2021 dari *American Chemical Society* (ACS) dengan tema "Reducing Our Footprint with Chemistry", memberikan banyak kesempatan untuk merefleksikan sejauh mana kita mengintegrasikan keberlanjutan ke dalam kimia. Pendidikan Kimia memainkan peran interdisipliner sentral di antara semua ilmu. Ini memberikan kunci penting untuk memahami proses dan produk kimia yang beroperasi di dalam dan di antara sistem fisik, biologi, ekologi, dan rekayasa dengan dampak luas terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia dan planet kita (Wissinger et al., 2021). Sejalan dengan itu perguruan tinggi memainkan peran penting dalam menciptakan dan menyebarkan pengetahuan melalui pendidikan dan komunikasi. Berkenaan dengan itu, pengalaman yang didapatkan calon guru lebih mungkin untuk menghasilkan kesadaran akan keberlanjutan (Alkhayyal et al., 2019).

Mewujudkan kesadaran berkelanjutan perlu langkah-langkah yang efektif yang dimulai dari sosialisasi dan pemberian informasi yang benar kepada seluruh lapisan masyarakat, termasuk seluruh masyarakat dalam dunia pendidikan. Riset dan penulisan artikel yang dapat mendukung perlu di perbanyak dan dipermudah aksesnya. Bagaimana seharusnya kegiatan laboratorium juga sangat diperlukan untuk menjadikan kimia sebagai bidang ilmu yang dapat memberikan kontribusi fositif terhadap usaha menjaga keberlanjutan. Burmeister & Eilks (2012) mengatakan bahwa sebagai salah satu pelajaran yang di pelajari oleh peserta didik di sekolah, kimia memiliki peran penting di dalam menunjang ESD ini. Ada beberapa

model yang dapat dilakukan dalam menerapkan kimia untuk ESD seperti: 1) Mengadopsi prinsip-prinsip green chemistry untuk praktik pekerjaan laboratorium pendidikan sains; 2) Menambahkan strategi keberlanjutan sebagai konten dalam pendidikan kimia; 3) Menggunakan isu-isu keberlanjutan yang kontroversial untuk isu-isu sosio-ilmiah yang mendorong pendidikan kimia; dan 4) Pendidikan kimia sebagai bagian dari pengembangan sekolah berbasis ESD.

Dari latar belakang yang telah diuraikan maka perlu artikel yang merangkum hasil penelitian yang terkait dengan peran kimia dalam menjaga keberlanjutan sehingga nantinya dapat dimanfaatkan dalam menyusun pembelajaran kimia yang berbasis ESD di pendidikan formal. Riset berupa literatur review ini memiliki tujuan yaitu bagaimana artikel yang disusun menampilkan beberapa literatur yang menunjukkan peran kimia terhadap keberlanjutan. Peran tersebut di kerucutkan menjadi dua hal pokok yaitu bagaimana kimia sebagai bidang ilmu yang secara fakta memberikan kontribusi terhadap terancamnya keberlanjutan dengan rusaknya lingkungan akibat proses dalam industri maupun laboratorium yang kurang bertanggung jawab dan terkesan hanya mengutamakan produksi dan bagaimana pembelajaran kimia dapat meningkatkan kesadaran berkelanjutan (*sustainability awarenes*) yang dalam fakta sangat diperlukan dalam mewujudkan tujuan pembangunan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *systematic literature review* yaitu metode penelitian yang mengidentifikasi, menginterpretasi, dan mengevaluasi temuan pada suatu topik penelitian untuk menjawab pertanyaan yang telah ditetapkan sebelumnya (Kitchenham, 2007). *Systematic literature review* meliputi tiga tahap yaitu *planning, conducting, dan reporting*.

Planning

Tahap ini meliputi penyusunan protokol *systematic literature review*. Pada tahap ini peneliti menentukan topik penelitian dan dilanjutkan dengan menetapkan kriteria pencarian artikel. Kriteria pencarian artikel yaitu berdasarkan sumber yang bereputasi, terindeks scopus untuk jurnal internasional dan sinta untuk jurnal nasional. Artikel yang dikumpulkan dari rentang waktu 2012 sampai 2022 Melalui kata kunci yang telah ditentukan.

Conducting

Tahap ini merupakan pelaksanaan dari *systematic literature review*, dimulai dengan pencarian berdasarkan kriteria yang sudah ditetapkan pada tahap *planning* yaitu artikel dalam rentang waktu 2012 sampai 2022 dengan tema peran kimia terhadap keberlanjutan dan secara rinci mengandung isi mengenai praktik laboratorium ramah lingkungan dan kesadaran keberlanjutan (*sustainability awareness*) yang diterapkan dalam pembelajaran kimia yang berbasiskan ESD dalam mendukung terwujudnya tujuan pembangunan berkelanjutan. Penelusuran dilakukan melalui beberapa platform pencarian seperti *Sience Direct, X-Mol, ACS, ERIC* ataupun *google scholar*. Selanjutnya yaitu pemilihan artikel. Artikel yang dipilih yaitu artikel yang sesuai dengan tema yaitu peran kimia terhadap keberlanjutan. Berdasarkan hasil pencarian artikel, dipilih 30 artikel dari jurnal bereputasi sebagai berikut:

Tabel 1. Artikel peran pembelajaran praktik kimia ramah lingkungan terhadap keberlanjutan

No	Judul Artikel	Penulis	Sumber Artikel
1	The United Nations Sustainability Goals: How Can Sustainable Chemistry Contribute?	Paul T. Anastas, Julie B. Zimmerman (2018)	Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry
2	Chemistry Teaching for the Future:A model for secondary chemistry education for sustainable development	Kirsti Marie Jegstad & Astrid Tonette Sinnes (2015)	international journal of science of education
3	Teaching chemistry with sustainability	Rojas-Fernández, Antonia G., Aguilar-Santelises, Leo-nor, Cruz M., Margarita, Mi-guel and García-del V., Araceli	Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences
4	Impact of student-initiated green chemistry experiments on their knowledge, awareness and practices of environmental sustainability	Taha H, Suppiah V, Khoo Y Y, Yahaya A, Lee T T and Muhamad Damanhuri M I	journal of physics: conference series
5	Students' Engagement in Education as Sustainability: Implementing an Ethical Dilemma-STEAM Teaching Model in Chemistry Learning	Yuli Rahmawati, Elisabeth Taylor, Peter Charles Taylor, Achmad Ridwan and Alin Mardiah	sustainability
6	Toward a Green and Sustainable Chemistry Education Road Map	Jennifer J. MacKellar, David J. C. Constable, Mary M. Kirchhoff, James E. Hutchison, and Eric Beckman (2020)	Journal of Chemical Education
7	Integrating Sustainability into Learning in Chemistry	Jane E. Wissinger, Aurelia Visa, Bipul B. Saha, Stephen A. Matlin, Peter G. Mahaffy (2022)	Journal of Chemical Education
8	Chemistry and the Challenge of Sustainability	Matthew A. Fisher (2022)	Journal of Chemical Education
9	Pemanfaatan Indikator Alam Dalam Mewujudkan Pembelajaran Kimia Berwawasan Green Chemistry	Mitarlis, U. Azizah, B. Yonatha	Jurnal Penelitian Pendidikan IPA
10	Sustainable Chemistry Oriented on Chemistry Learning to Increase Student Awareness to the Environment	Magfirah Perkasa, Agrippina, Wiraningtyas	Jurnal Sainsmat
11	Green Extraction of Natural Products: Concept and Principles	Farid Chemat, Maryline Abert Vian, Giancarlo Cravotto	International Journal of Molecular Sciences
12	Deep eutectic solvents vs ionic liquids: Similarities and differences	Justyna Płotka-Wasylka, Miguel de la Guardia, Vasil Andruch, Maria Vilkov´	Microchemical Journal

No	Judul Artikel	Penulis	Sumber Artikel
13	Ionic-Liquid-Mediated Extraction and Separation Processes for Bioactive Compounds: Past, Present, and Future Trends	Soniá P. M. Ventura, Francisca A. e Silva, Maria V. Quental, Dibyendu Mondal, Mara G. Freire, and Joaõ A. P. Coutinho	Chemical Reviews
14	Green solvents from ionic liquids and deep eutectic solvents to natural deep eutectic solvents	Henni Vanda, Yuntao Dai, Erica G. Wilson, Robert Verpoorte, Young Hae Choi	Comptes Rendus Chimie
15	Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity	Kristina Radosevic, Natka Curko, Visnja Gaurina Srcek, Marina Cvjetko Bubalo, Marina Tomasevic, Karin Kovacevic Ganic, Ivana Radojcic, Redovnikovic	LWT-Food Science and Technology

Tabel 2. Artikel peran pembelajaran kimia dalam meningkatkan kesadaran lingkungan dan kesadaran berkelanjutan

No.	Judul Artikel	Penulis	Sumber Artikel
1	Sustainability Awareness in Industrial Organizations	Ibrahim H. Garbie	Procedia CIRP
2	The effectiveness of education for sustainable development	Pauw, Jelle Boeve de Gericke, Niklas Olsson, Daniel Berglund, Teresa	Sustainability
3	Social Media for Environmental Sustainability Awareness in Higher Education	Suraya Hamid Mohamad Taha Ijab Hidayah Sulaiman Rina Md. Anwar Azah Anir Norman	International Journal of Sustainability in Higher Education
4	Analyzing Sustainability Awareness among Higher Education Faculty Members: A Case Study in Saudi Arabia	Bandar Alkhayyal, Wafa Labib , Talal Alsulaiman and Abdelhakim Abdelhadi	Sustainability
5	Assessing awareness of green chemistry as a tool for advancing sustainability	Natalia Loste , David Chinarro , Manuel Gomez , Esther Roldan , Beatriz Giner	Journal of Cleaner Production
6	Level of sustainability awareness: where are the students' positions?	M Ridwan, I Kaniawati, A Suhandi, A Samsudin, and R Rizal	Journal of Physics: Conference Series
7	Improving students' argumen-tation skills through a product life-cycle analysis project inchemistry education	M. K. Juntunen and M. K. Aksela	Chemistry Education Research and Practice
8	Level of Sustainability	Tasneem Alsaati, Samir El-	Sustainability

No.	Judul Artikel	Penulis	Sumber Artikel
	Aware-ness among University Students in the Eastern Province of Saudi Arabia	Nakla and Darin El-Nakla	
9	The Inclusion of a Sustainability Awareness Indicator in Assessment Tools for High School Buildings	Tatiana Santos Saraiva , Manuela Almeida , Luís Bragança and Maria Teresa Barbosa	Sustainability
10	Teacher Education for Sustainability: The Awareness and Responsibility for Sustainability Problems	Dunja Andñi and Sanja Tatalovi Vorkapi	Journal of Teacher Education for Sustainability
11	Computational chemistry for green design in chemistry and pharmacy: Building awareness in the classroom	Liliana Mammino	Sustainable Chemistry and Pharmacy
12	The Status of Environmental Awareness in Islamic Boarding School Students to the Concept of Sustainable Development	Fachruddin M. Mangunjaya, Hadi Sukadi Alikodra, Akhmad Arif Amin, Dan Ahmad Sudirman Abbas	Media Konservasi
13	Ensuring sustainability of tomor-row through green chemistry integrated with sustainable development concepts (SDCs)	Karpudewan, Mageswary Ismail, Zurida Roth, Wolff Michael	Chemistry Education Research and Practice
14	Improving Students' Sustainability Awareness through Argument-driven Inquiry	Erning Rahmadini Salsabila, Agus Fany Chandra Wijaya, Nanang Winarno	Journal of Science Learning
15	The Effect Of Green Chemistry Laboratory Learning On Pre-Service Chemistry Teachers' Environmental Value Orientations And Creative Thinking Skill	Arini Siti Wahyuningsih, Sri Poedjiastoeti, Suyono	Advanced Science Letters

Reporting

Tahap reporting merupakan tahap terakhir dalam penelitian *systematic literature review*. Tahap ini meliputi penulisan hasil *systematic literature review* dalam bentuk tulisan sesuai format yang telah ditentukan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam beberapa tahun terakhir, ada minat yang luar biasa dan peningkatan kesadaran tentang keberlanjutan. Istilah ini muncul dari kebutuhan untuk menangkal ketidakberlanjutan yang saat ini mendominasi prosedur teknologi, industri dan pertanian dan berbagai bidang lainnya. Keberlanjutan juga bisa dimaknai sebagai bertahannya suatu keadaan tanpa mengalami degradasi maupun kepunahan. Dalam konteks lingkungan, keberlanjutandalam pembangunan berkelanjutan dapat diartikan sebagai pembangunan dan pemanfaatan sumber daya yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan sekarang tidak mengorbankan kebutuhan generasi yang akan datang. Proses berkelanjutan menghindari tindakan mengkonsumsi atau mengeksploitasi sumber daya alam secara berlebihan untuk menjaga agar harmoni ekologi tetap berjalan seimbang. Memegang prinsip keberlanjutan sangat penting dilakukan dalam rangka menjaga kelestarian alam. Literatur yang ditinjau menyajikan peran positif pendidikan terhadap keberlanjutan dan bagaimana hal itu mempengaruhi tingkat kesadaran keberlanjutan dan prilaku siswa (Alkhayyal et al., 2019). Untuk itu perlunya memasukkan kesadaran keberlanjutan dalam menilai ataupun menunjang keberlanjutan di lembaga pendidikan (Saraiva et al., 2019). Kontribusi ini hanya akan terwujud ketika pendidikan kimia mempersiapkan siswa di semua tingkatan untuk mempraktekkan kimia dari perspektif kimia ramah lingkungan dan berkelanjutan (MacKellar et al., 2020). Mewujudkan keberlanjutan membutuhkan perubahan penting dalam sejumlah aspek, mulai dari mode produksi di industri hingga perilaku kehidupan sehari-hari, termasuk penggunaan bahan-bahan yang dapat dipertanggungjawabkan terhadap lingkungan. Karena setiap transformasi zat tertentu menjadi zat lain berkaitan dengan proses kimia, dan teridentifikasi bahwa sebagian besar kegiatan produksi mengandung komponen kimia yang relevan (Mammino, 2020).

Peran pembelajaran kimia terhadap keberlanjutan melalui praktik berbasis ramah lingkungan

Pentingnya menjaga keberlanjutan dalam kimia dan pendidikan kimia sudah jelas, hubungannya nyata dan signifikan, dan cukup banyak sumber informasi yang dapat diperoleh. Tantangannya sebagai pendidik adalah untuk menemukan cara bagaimana membawa hubungan dan konteks itu ke dalam latihan-latihan yang kita lakukan dalam pembelajaran kimia (Fisher, 2022). Pendekatan yang dikenal sebagai kimia yang ramah lingkungan telah dipraktikkan di dunia akademis dan industri di seluruh dunia dan telah menghasilkan pengetahuan yang menjadi landasan ilmiah penting untuk sebuah perubahan menuju keberlanjutan lingkungan hidup dan sumberdaya alam yang tentunya untuk memastikan generasi yang akan datang juga dapat menikmatinya. Keberlanjutan itu hanya dapat benar-benar ditingkatkan melalui kimia yang dirancang untuk memastikan kelestarian alam seperti yang digariskan dan dipraktekkan melalui kimia ramah lingkungan (Anastas & Zimmerman, 2018). Menurut *American Chemical Society* (ACS), kimia ramah lingkungan dan berkelanjutan adalah cara berpikir berdasarkan prinsip dalam melakukan desain, pengembangan, dan penerapan pada proses dan produk kimia untuk upaya meningkatkan ekonomi serta keselamatan manusia dan lingkungan. Kimia yang berbasis lingkungan merupakan salah satu bagian penting di bidang kimia dan bertujuan untuk menjamin proses-proses kimia yang sesuai dengan prinsip keberlanjutan. Peran penting kimia terhadap keberlanjutan terutama dalam menjaga kelestarian lingkungan hidup dapat dilakukan melalui beberapa cara yang cukup relevan terhadap tujuan keberlanjutan. Pertama yaitu melalui pembelajaran kimia yang berbasis praktikum yang ramah lingkungan. Penerapan berbagai prinsip

keberlanjutan dapat meminimalkan dampak negatif dari sebuah proses kimia maupun produk yang dihasilkan terhadap kelestarian lingkungan. Kimia dapat mendukung terjaganya keberlanjutan jika prosedur analisis yang dilakukan berkualitas tinggi (sensitif, tepat dan akurat) dan juga sejalan dengan prinsip-prinsip kelestarian lingkungan (Płotka-Wasylka J. et al, 2021).

Sejalan dengan itu, beberapa kendala muncul dengan sulitnya memasukkan pembelajaran dengan konsep keberlanjutan dalam kurikulum. menurut MacKellar et al. (2020) kurangnya pelatihan dan sumber daya pendidikan berada di daftar teratas hambatan yang dirasakan untuk mengintegrasikan konten kimia ramah lingkungan dan berkelanjutan ke dalam kurikulum kimia. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan usaha yang lebih keras untuk mengembangkan sumber daya pendidikan dan melatih pendidik untuk menerapkan prinsip dan praktik kimia ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam pembelajaran. Selanjutnya mereka mengatakan untuk mewujudkannya perlu pendekatan yang lebih sistematik dan komprehensif untuk mengintegrasikan konsep kimia hijau dan berkelanjutan melalui proses desain dengan pertimbangan hasil pembelajaran dalam perumusan kompetensi inti. Ada 3 kompetensi inti yang mereka rekomendasikan untuk mewujudkan pembelajaran kimia yang berbasis ramah lingkungan, yaitu; 1) Lulusan dapat merancang dan / atau memilih bahan kimia yang meningkatkan kinerja produk dan keberlanjutan. 2) Lulusan akan memahami bahwa bahan kimia dan bahan disiapkan melalui transformasi bahan baku melalui jalur sintetis dan mampu merancang dan/atau memilih bahan kimia sintetis yang sangat efisien, memanfaatkan bahan baku alternatif, dan menghasilkan limbah paling sedikit. 3) Lulusan memahami bagaimana bahan kimia dapat digunakan/diintegrasikan ke dalam produk untuk mencapai manfaat terbaik sambil meminimalkan dampak buruk terhadap keberlanjutan.

Pembelajaran kimia untuk keberlanjutan yang berbasis ESD bukanlah pembelajaran yang hanya mengacu pada pemahaman konsep semata namun percobaan/praktikum dalam pembelajaran kimia memegang peran penting. Salahsatunya bekerja dengan *Mikroscale* (skala mikro) yang berarti mengurangi jumlah dan pemanfaatan reagen kimia seefisien mungkin untuk melakukan percobaan dalam pembelajaran kimia. *Microscale* juga mewakili sekelompok metode yang aman bagi lingkungan untuk menyelesaikan proses kimia, menghindari polusi tanpa mengorbankan standar kualitas hasil (Rojas-Fernández et al., 2017). Mereka juga menyatakan bahwa *Microscale* dalam kimia memberikan manfaat antara lain sebagai berikut:

- Berkurangnya penggunaan bahan kimia yang digunakan.
  Penghematan terhadap reagen kimia tentunya secara langsung memberikan dampak fositif lingkungan. Pencemaran seringkali disebabkan oleh zat kimia yang bersifat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan.
- Ruang penyimpanan yang dibutuhkan lebih sedikit.
  Ruang penyimpanan yang sedikit dapat menghindari pemakaian properti yang berlebihan juga memberikan dampak penghematan terhadap sumberdaya alam.
- Berkurangnya waktu kerja di laboratorium.
- Penghematan energi yang dapat dilakukan dengan cara yang cukup sederhana salah satunya dengan mengefisienkan waktu kerja.
- Biaya yang dibutuhkan lebih rendah.
  Biaya yang rendah adalah salah satu indikator proses yang ramah lingkungan. Penghematan terhadap biaya berarti juga mengurangi kerusakan dampak kegiatan ekonomi yang seringkali berakibat buruk terhadap lingkungan.

- Teknik laboratorium yang lebih baik.
  Penggunaan teknik yang baik yang terkadang diperoleh dengan modifikasi memberikan keuntungan terhadap berkurangnya penggunaan energi.
- Paparan asap beracun lebih sedikit dan lingkungan lebih bersih dan aman.
  Penggunaan zat kimia dalam skala yang lebih kecil secara otomatis mengurangi dampak pencemaran lingkungan dari zat kimia yang sebagiannya beracun.
- Peningkatan kesadaran akan risiko bagi orang yang menggunakan bahan kimia.
  Efektif meningkatkan kesadaraan akan risiko dan dapat terhindar dari paparan zat yang berbahaya.
- Kesadaran yang lebih tinggi akan pentingnya lingkungan.
  Bekerja dalam *Microscale* tentunya merupakan praktik yang bertujuan menumbuhkan kesadaran terhadap kelestarian lingkungan
- Promosi prinsip tiga R (*Replacement, Reduction, Refinement*).
  Bekerja dengan *Microscale* juga dapat menjadi acuan bagaimana bekerja dengan prinsip menggantikan yang berbahaya dengan yang kurang/tidak berbahaya, mengurangi penggunaan zat yang berbahaya dan memperbaiki proses-proses yang tidak sesuai dalam mendukung praktik yang ramah lingkungan.

Microscale muncul sebagai alternatif untuk membuat pengajaran kimia tidak terlalu melelahkan dan lebih mudah diakses oleh lebih banyak siswa. Karena tujuan ini sejalan dengan keberlanjutan, *Microscale* adalah cara yang sesuai untuk memfasilitasi perubahan menuju metode yang lebih peduli terhadap keberlanjutan tanpa mengorbankan aspek muatan dari pendidikan kimia itu sendiri.

Kegiatan eksperimen yang lebih ramah lingkungan dimulai dengan pengurangan jumlah reagen ataupun pelarut yang digunakan. Ketika jumlah reagen yang digunakan lebih kecil dari 1 mL, residu, risiko, kerusakan lingkungan, dan biaya juga menjadi lebih kecil. Reagen kimia mahal yang biasanya diperoleh dari perusahaan khusus diganti dengan yang biayanya lebih rendah dan mudah didapatkan. Tindakan sederhana ini membawa pekerjaan eksperimental menjadi lebih sederhana dan cukup ramah lingkungan untuk sebuah perubahan menuju keberlanjutan. Evaluasi sebelum dan sesudah modifikasi membuktikan bahwa perubahan ini benar-benar membuat bahan kimia menjadi lebih ramah lingkungan (Rojas-Fernández et al., 2017). Dalam pembelajaran kimia beberapa konsep memiliki kaitan erat dengan lingkungan sehingga dapat memacu kreativitas siswa untuk dapat menyelesaikan permasalahan lingkungan di sekitar. Implementasi nilai-nilai keberlanjutan dapat diterapkan pada materi seperti Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit, Reaksi Oksidasi Reduksi, Hidrokarbon, Minyak Bumi, Koloid, Aplikasi Elektrokimia, Polimer (Perkasa et al., 2017).

Salahsatu studi Taha et al. (2019) mengungkapkan percobaan kimia ramah lingkungan yang diprakarsai siswa memiliki dampak positif pada pengetahuan, kesadaran, dan praktik kimia yang mengutamakan kelestrian lingkungan. Hal ini terbukti dari studi yang mendorong partisipasi siswa dalam merancang percobaan ramah lingkungan dan meningkatkan praktik-praktik yang berorientasi keberlanjutan. Pengintegrasian kimia ramah lingkungan dalam eksperimen kimia sekolah memicu rasa tanggung jawab siswa terhadap lingkungan. Alangkah baiknya jika setiap mata pelajaran sekolah melibatkan siswa sedemikian rupa sehingga mereka merasa bertanggung jawab terhadap lingkungan untuk setiap tindakan yang mereka lakukan. Melalui contoh-contoh yang relevan, siswa akan mendapatkan wawasan dan pengetahuan tentang berbagai isu keberlanjutan. Lebih jauh lagi,

konten pengetahuan dalam ilmu kimia menyangkut lebih dari sekedar isu-isu yang secara langsung berkaitan dengan keberlanjutan. latar belakang pengetahuan juga penting untuk memahami kimia di balik isu keberlanjutan. Misalnya, pemahaman tentang kelarutan, kesetimbangan, dan deret elektrokimia mungkin diperlukan untuk memahami bagaimana berbagai zat mempengaruhi alam (Jegstad & Sinnes, 2015). Dalam penelitian Rahmawati et al. (2022) melalui proyek pendidikan STEAM yang dirancang untuk melibatkan siswa dalam pembelajaran kimia berbasis nilai menunjukkan hasil bahwa siswa terlibat dalam pembelajaran kimia mendalam sekaligus mengembangkan pemikiran sosial reflektif kritis, keterampilan pengambilan keputusan kolaboratif, dan peningkatan kesadaran akan perlunya melindungi lingkungan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan.

Diantara berbagai kegiatan ekperimen kimia yang sering dilakukan adalah ekstraksi. Ekstraksi sedapat mungkin memakai bahan-bahan yang ramah lingkungan. Menurut Chemat et al. (2012) yang dikatakan sebagai ekstraksi ramah lingkungan adalah ekstraksi yang didasarkan pada desain proses yang dapat mengurangi konsumsi energi, memungkinkan penggunaan pelarut alternatif dari produk alami yang terbarukan, dan memastikan ekstrak /produk yang aman dan berkualitas tinggi. Jadi untuk merancang desain proses ekstraksi hijau pada skala laboratorium bahkan industri ada tiga hal yang perlu diperhatikan, yaitu: 1) peningkatan dan optimalisasi proses yang ada; 2) menggunakan peralatan hemat energi; dan 3) inovasi dalam proses dan prosedur serta memakai pelarut alternatif ramah lingkungan. Selanjutnya mereka mengatakan Pelarut ramah lingkungan ini akan menggantikan pelarut organik umum yang cenderung memiliki toksisitas dan volatilitas yang tinggi dan merusak lingkungan, sepert penggunaan kloroform, heksana, metanol, etanol, dan etil asetat.

Teknologi ekstraksi ramah lingkungan didukung oleh dua pelarut utama, yaitu *Ionic Liquid* (IL) dan *Deep Eutectic Solvent* (DES) (Vanda et al., 2018). IL merupakan pelarut ramah lingkungan pertama yang dikembangkan sebagai alternatif pengganti pelarut organik. Penggunaan IL sebagai pelarut dalam ekstraksi dan/atau pemurnian senyawa bioaktif efektif untuk senyawa organik kecil hingga molekul yang lebih kompleks. Penggunaan IL dapat menghasilkan hasil ekstraksi dan faktor pemurnian yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan pelarut organik (Ventura et al., 2017). Beberapa DES alami yang dikenal sebagai *Natural Deep Eutectic Solvent* (NADES) dalam Uji Sitotoksisitasnya menunjukkan tingkat sitotoksisitas yang rendah, membuktikan NADES baik untuk pelarut ekstraksi hijau dalam industri makanan, kosmetik, dan farmasi (Radošević et al., 2016).

Contoh lainnya adalah pemanfaatan bahan yang ramah lingkungan dalam praktik di sekolah seperti penelitian Azizah et al. (2018) yang dari hasil penelitiannya dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan produk alami terbarukan sebagai pendukung pembelajaran dapat memenuhi salahsatu prinsip green chemistry yaitu "penggunaan bahan baku terbarukan". Beberapa bunga berwarna diidentifikasi dan berpotensi dimanfaatkan sebagai indikator asam basa alami dalam pembelajaran kimia antara lain bunga pacar air dan Ruellia. Dengan menggunakan bahan alami dapat menjaga keberlanjutan proses pembelajaran kimia tanpa tergantung bahan kimia buatan industri.

Upaya pembelajaran dengan ESD untuk meningkatkan kesadaran lingkungan (*evironmental awareness*) dan kesadaran keberlanjutan (*Sustainability awareness*)

Dengan adanya pendidikan dalam konteks ESD diharapkan siswa akan memiliki *sustainability awareness* atau kesadaran akan keberlanjutan terutama

dalam menghadapi permasalahan global, dengan memperhatikan dampak yang akan ditimbulkan pada berbagai aspek kehidupan (Agusti et al., 2019). Dalam penelitiannya mengenai kesadaran berkelanjutan Mangunjaya et al. (2013) mengatakan bahwa pada umumnya, peserta didik mempunyai kesadaran untuk menjalankan praktek berkelanjutan dan kepedulian terhadap lingkungan pada tarap sedang. Kesadaran ini telah pula sebagian mereka wujudkan dengan peduli pada lingkungan sekitarnya. Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pembelajaran yang dirancang sesuai dengan kondisi yang disusun berdasarkan analisis. Hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa ESD dapat memberikan peningkatan pada siswa dalam hal kesadaran akan keberlanjutan (Pauw et al., 2015). Garbie (2015) dalam artikelnya yang bertujuan untuk mengukur kesadaran keberlanjutan yang dikumpulkan lewat kusioner yang telah dibagikan kepada kalangan akademisi, pemerintah, masyarakat dan industri di Oman membuktikan bahwa konsep keberlanjutan belum sepenuhnya dipahami dan masih memerlukan perhatian lebih dari seluruh pemangku kepentingan terutama masyarakat dan akademisi. Namun Ridwan et al. (2021) dalam Penelitian mereka yang berbertujuan untuk mengetahui sejauh mana kesadaran berkelanjutan dalam konsep ESD mahasiswa pada salah satu universitas di Tasikmalaya menemukan bahwa Kesadaran akan kelestarian lingkungan mereka cukup tinggi tetapi masih cukup rendah pada aspek praktik berkelanjutan.Pada penelitian yang lain Alsaati et al. (2020) mengukur tingkat kesadaran dan pengetahuan siswa saat ini tentang keberlanjutan, sebuah kuesioner dikembangkan dan dilakukan di tujuh universitas di Provinsi Timur Arab Saudi, Hasilnya menunjukkan bahwa persentase yang pernah mendengar istilah "keberlanjutan" cukup tinggi tetapi kurang memiliki pengetahuan tentang keberlanjutan. Mereka kemudian merekomendasikan perlunya pemangku kepentingan lain seperti universitas, sekolah, pemerintah, dan pemerintah daerah mengambil tindakan terhadap peningkatan kesadaran keberlanjutan siswa. Sejalan dengan itu di sekolah Brasil dan Portugal, tingkat kesadaran keberlanjutan siswa hampir seimbang, dan sama-sama cukup baik. Sekolah Portugal menunjukkan hasil yang sedikit lebih baik di sebagian besar itemnya. Hal ini dapat dikaitkan dengan fakta bahwa kepedulian terhadap motivasi siswa untuk keberlanjutan di negara-negara Eropa lebih kuat. Selalu memiliki kepedulian untuk membangun sekolah dengan lingkungan yang berkelanjutan dengan cara menggunakan peralatan yang mengurangi konsumsi energi dan air. Portugal juga memiliki insentif pendidikan lingkungan (Saraiva et al., 2019).

Taha et al. (2019) mengatakan bahwa mengintegrasikan praktik berkelanjutan dalam pelajaran secara aktif akan menjadi bagian integral untuk menumbuhkan kesadaran di kalangan siswa. Selain itu mereka juga merekomendasikan pelatihan yang tepat bagi para guru sehingga mereka dapat mengajar siswa mereka secara efektif. Guru perlu dibekali lebih banyak keterampilan, bukan hanya sekadar teori tetapi fakta untuk menyampaikan pelajaran kimia ramah lingkungan secara lebih efektif. Selanjutnya mereka menemukan bahwa jika guru tidak melek lingkungan, hampir tidak mungkin mereka menghasilkan siswa yang melek lingkungan. ESD di sekolah harus meminta partisipasi dan keterlibatan yang lebih kolaboratif dari semua staf sekolah, orang tua dan masyarakat setempat untuk menanamkan praktik pro-lingkungan kepada anak-anak dan masyarakat pada umumnya. Sekolah akan dapat mengelola limbah kimia dengan lebih efektif jika siswa dan guru lebih berpengetahuan dan berkomitmen terhadap praktik kimia ramah lingkungan. Limbah padat dan kimia dari laboratorium sekolah, harus memenuhi prinsip-prinsip pelestarian lingkungan. Oleh karena itu mengintegrasikan prinsip-prinsip kimia hijau di laboratorium kimia

sekolah memainkan peran penting untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman semua anggota komunitas sekolah dalam meningkatkan praktik kelestarian lingkungan. Oleh karena itu, untuk memainkan peran penting sebagai pendidik dalam hal kelestarian lingkungan, guru kimia perlu membekali diri dengan pengetahuan dan keterampilan yang cukup untuk menyebarluaskan praktik hijau yang efektif kepada siswanya (Taha et al., 2019). Selanjutnya mereka mengatakan bahwa karena sifat pelajaran kimia tidak cukup menarik bagi siswa, guru perlu mengembangkan dan menginvestigasi pendekatan yang sesuai melalui sebuah penelitian untuk dapat memicu dan meningkatkan kesadaran siswa terhadap lingkungan. Berbekal kimia hijau sebagai platform, guru kimia dapat melibatkan siswa dalam merancang eksperimen kimia hijau, mendorong mereka untuk memulai penelitian mereka sendiri dan mencari informasi tentang praktik kimia hijau. Ini pada gilirannya dapat meningkatkan pengetahuan siswa dan menumbuhkan kesadaran dan prilaku yang peduli terhadap kelestarian lingkungan.

Pendidikan lingkungan hidup merupakan cara bagi guru untuk memperluas ilmu pengetahuan ke dunia nyata. Pendidikan berbasis alam bebas melibatkan pembelajaran pengalaman dan kerja lapangan, dengan demikian dapat digunakan untuk mendorong peserta didik untuk berpartisipasi aktif ketika belajar tentang lingkungan (Spahiu & Lindemann-Matthies, 2015). Studi lain oleh Juntunen & Aksela (2014) menunjukkan bahwa proyek daur ulang secara positif mempengaruhi sikap siswa terhadap pembelajaran kimia dan literasi lingkungan. Namun, mereka juga mengakui bahwa mengubah perilaku memang masih sulit dilakukan, bahkan walaupun ketika kita sepenuhnya memahami pentingnya praktik berwawasan lingkungan yang berkelanjutan. Di penelitian yang lain, perguruan tinggi memiliki potensi untuk mendidik mahasiswa menuju pada kelestarian lingkungan melalui sistem pendidikan, kurikulum, silabus, praktik, dan visi Universitas Hijau. Untuk tujuan tersebut media sosial dapat digunakan sebagai alat untuk menyebarkan kesadaran keberlanjutan kepada mahasiswa dan staf di perguruan tinggi (Shields et al., 2014).

Karpudewan et al. (2012) mencoba melakukan percobaan kimia yang ramah lingkungan dengan merampingkan peralatan dan jumlah bahan kimia yang digunakan dalam percobaan. Studi mereka menemukan perubahan yang signifikan dalam kesadaran siswa terhadap lingkungan. Studi oleh Günter et al. (2017) menggunakan pembelajaran berbasis masalah untuk membantu siswa memahami kimia hijau dengan lebih baik. Mereka menemukan bahwa siswa menjadi lebih aktif dalam eksperimen yang terkait dengan kehidupan sehari-hari,. Dengan kata lain, hasil penelitian mereka menyimpulkan bahwa pembelajaran praktik yang berhubungan dengan masalah sehari-hari tampaknya dapat meningkatkan tingkat pemahaman siswa tentang prinsip-prinsip hijau dan membantu mereka menjadi lebih proaktif dalam kegiatan yang ramah lingkungan, dalam arti kesadaran mereka terhadap kelestarian lingkungan lebih baik atau meningkat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa dari Fakultas Pendidikan di Kroasia dan Slovenia dicirikan oleh kesadaran yang lebih jelas tentang masalah lingkungan/keberlanjutan dibandingkan mahasiswa dari Bosnia dan Herzegovina dan Serbia. Tanggung jawab untuk masalah lingkungan/keberlanjutan lebih tinggi di kalangan mahasiswa Fakultas Pendidikan Guru dari Kroasia dan Serbia dibandingkan mahasiswa dari Bosnia dan Herzegovina dan Slovenia. Nampaknya negara adalah penentu utama kesadaran dan tanggung jawab terhadap masalah lingkungan/ kelestarian. Secara umum, hasil penelitian ini memberikan pedoman yang signifikan untuk refleksi masa depan pendidikan calon guru untuk keberlanjutan dan kebutuhan untuk melakukan penelitian interdisipliner dan lintas

budaya tentang norma-norma pribadi dan perilaku berkelanjutan (Andić & Vorkapić, 2017)

Salsabila et al. (2019) dalam sebuah penelitian melihat Perbedaan yang terlihat bahwa dengan menggunakan pembelajaran *Argument-Driven Inquiry* dapat meningkatkan *sustainability practice awareness*. Dapat disimpulkan bahwa *Argument-Driven Inquiry* membantu siswa dalam memperoleh persentase kesadaran keberlanjutan yang lebih tinggi di semua aspek. *Argument-Driven Inquiry* dapat dianggap sebagai salah satu model pengajaran alternatif yang dapat memberikan dampak yang lebih baik pada kesadaran keberlanjutan siswa. penelitian lainnya, merekomendasikan pendekatan kimia yang ramah lingkungan melalui kegiatan laboratorium di perkuliahan Kimia Dasar sebagai salah satu upaya untuk mendidik dan menyiapkan mahasiswa calon guru kimia agar mempunyai kesadaran dan kepedulian yang lebih baik terhadap kondisi lingkungan menunjukkan hasil bahwa sebagian besar orientasi nilai lingkungan mahasiswa mengalami pergeseran secara signifikan menjadi kurang egosentris dan lebih homosentris dan ekosentris (Wahyuningsih et al., 2017). Selanjutnya mereka menyatakan bahwa perubahan positif ini diharapkan dapat mempengaruhi perilakunya terhadap lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian ini mereka menyimpulkan bahwa pendekatan kimia yang ramah lingkungan pada kegiatan di laboratorium merupakan konteks pendidikan lingkungan yang tepat untuk mengembangkan orientasi nilai lingkungan yang lebih positif.

Hasil survei Loste et al. (2020) menunjukkan bahwa kimia ramah lingkungan kurang dikenal, tetapi setelah melalui serangkaian pelatihan, siswa menilai positif terhadap kegunaan dari kimia yang ramah lingkungan dan menganggapnya efektif untuk pengembangan pekerjaan mereka. Dan mereka merekomendasikan Pendidikan (pelatihan, penyadaran dan diseminasi) untuk siswa sebagai tindakan utama untuk mempromosikan kimia ramah lingkungan. Sejalan dengan itu Pendidik harus menggerakkan kompetensi utama untuk program keberlanjutan dan pengembangan kegiatan pelatihan (Alkhayyal et al., 2019).

Kebaruan dari artikel *literature review* ini adalah menggabungkan dua komponen utama yang menyangkut peran kimia terhadap keberlanjutan dalam konteks ESD yakni mengenai pembelajaran kimia dalam kegiatan praktikum yang ramah lingkungan dan kesadaran berkelanjutan. Artikel ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam riset yang mendalam tentang bagaimana keterkaitan antara praktikum yang ramah lingkungan dengan pembentukan sikap kesadaran keberlanjutan atau sebaliknya mengkaji apakah tingkat kesadaran keberlanjutan berpengaruh terhadap keberhasilan pembelajaran kimia berupa praktikum yang ramah lingkungan.

SIMPULAN

Artikel ini memuat *review* hasil riset dari beberapa jurnal bereputasi. Masih relatif sedikitnya referensi yang dapat dijadikan sebagai sumber literatur mengenai pembelajaran kimia berbasis ESD, artikel ini diharap mampu menjadi salah satu referensi bagaimana peran kimia dalam mendukung ESD sebagai bagian dari upaya mencapai tujuan dari pembangunan berkelanjutan (SDGs). Sesuai dengan tujuan utama dalam *literature review* ini yaitu mengkaji upaya-upaya yang dilakukan untuk mewujudkan keberlanjutan melalui pembelajaran kimia. Peran ini difokuskan dalam dua hal yaitu Melalui pembelajaran kimia ramah lingkungan yang kemudian dapat diterapkan dalam dunia industri maupun kehidupan sehari-hari dan peningkatan kesadaran lingkungan dan kesadaran keberlanjutan. Pembelajaran kimia terhadap tujuan tersebut dua diantaranya yang pertama adalah melakukan pembelajaran

praktik yang ramah lingkungan yang diharapkan nantinya dapat diterapkan dalam ruang lingkup yang lebih luas. Kedua, melalui pembelajaran berbasis ESD ini dapat meningkatkan kesadaran lingkungan dan kesadaran keberlanjutan yang sangat dibutuhkan sebagai sikap yang menunjang tujuan pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

Agusti, K. A., Wijaya, A. F. C., & Tarigan, D. E. (2019). *Problem Based Learning Dengan Konteks Esd Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Dan Sustainability Awareness Siswa Sma Pada Materi Pemanasan Global*. *VIII*, SNF2019-PE-175–182. https://doi.org/10.21009/03.snf2019.01.pe.22

Alkhayyal, B., Labib, W., Alsulaiman, T., & Abdelhadi, A. (2019). Analyzing sustainability awareness among higher education faculty members: A case study in Saudi Arabia. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(23). https://doi.org/10.3390/su11236837

Alsaati, T., El-Nakla, S., & El-Nakla, D. (2020). Level of sustainability awareness among university students in the Eastern province of Saudi Arabia. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(8), 1–15. https://doi.org/10.3390/SU12083159

Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2018). The United Nations sustainability goals: How can sustainable chemistry contribute? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *13*, 150–153. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.017

Andić, D., & Vorkapić, S. T. (2017). Teacher Education for Sustainability: The Awareness and Responsibility for Sustainability Problems. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, *19*(2), 121–137. https://doi.org/10.1515/jtes-2017-0018

Azizah, U., Yonatha, B., Kimia, J., & Surabaya, U. N. (2018). Pemanfaatan Indikator Alam Dalam Mewujudkan Pembelajaran Kimia Berwawasan Green Chemistry. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *3*(1), 1–7.

Burmeister, M., & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, *13*(2), 59–68. https://doi.org/10.1039/c1rp90060a

Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(7), 8615–8627. https://doi.org/10.3390/ijms13078615

Fajar Wibisono, A., & Dewi, P. (2014). Sosialisasi Bahaya Membuang Sampah Sembarangan dan Menentukan Lokasi TPA di Dusun Deles Desa Jagonayan Kecamatan Ngablak. *Jurnal Inovasi Dan Kewirausahaan*, *3*(1), 21–27.

Fisher, M. A. (2022). Chemistry and the challenge of sustainability. *Journal of Chemical Education*, *89*(2), 179–180. https://doi.org/10.1021/ed2007923

Garbie, I. H. (2015). Sustainability awareness in industrial organizations. *Procedia CIRP*, *26*, 64–69. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.003

Günter, T., Akkuzu, N., & Alpat, Ş. (2017). Understanding 'green chemistry' and 'sustainability': an example of problem-based learning (PBL)*. *Research in Science and Technological Education*, *35*(4), 500–520. https://doi.org/10.1080/02635143.2017.1353964

Hassan, A., Noordin, T. A., & Sulaiman, S. (2010). The status on the level of environmental awareness in the concept of sustainable development amongst secondary school students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *2*(2), 1276–1280. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.187

Jegstad, K. M., & Sinnes, A. T. (2015). Chemistry Teaching for the Future: A model for secondary chemistry education for sustainable development. *International Journal of Science Education*, *37*(4), 655–683. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1003988

Juntunen, M. K., & Aksela, M. K. (2014). Improving students' argumentation skills through a product life-cycle analysis project in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, *15*(4), 639–649. https://doi.org/10.1039/c4rp00068d

Karpudewan, M., Ismail, Z., & Roth, W. M. (2012). Ensuring sustainability of tomorrow through green chemistry integrated with sustainable development concepts (SDCs). *Chemistry Education Research and Practice*, *13*(2), 120–127. https://doi.org/10.1039/c1rp90066h

Kitchenham, B. (2007). Kitchenham , B .: Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in software engineering . EBSE Technical Report EBSE-2007-01 Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Icse*, *July 2007*, 1–57.

Lidgren, A., Rodhe, H., & Huisingh, D. (2006). A systemic approach to incorporate sustainability into university courses and curricula. *Journal of Cleaner Production*, *14*(9–11), 797–809. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.12.011

Loste, N., Chinarro, D., Gomez, M., Roldán, E., & Giner, B. (2020). Assessing awareness of green chemistry as a tool for advancing sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *256*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120392

MacKellar, J. J., Constable, D. J. C., Kirchhoff, M. M., Hutchison, J. E., & Beckman, E. (2020). Toward a Green and Sustainable Chemistry Education Road Map. *Journal of Chemical Education*, *97*(8), 2104–2113. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00288

Mammino, L. (2020). Computational chemistry for green design in chemistry and pharmacy: Building awareness in the classroom. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *18*(December 2019), 100283. https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100283

Mangunjaya, F. M., Sukadi Alikodra, H., Amin, A. A., Ahmad, D., & Abbas, S. (2013). *Kesadaran Lingkungan Di Kalangan Santri Terhadap Pembangunan Berkelanjutan (The Status of Environmental Awareness in Islamic Boarding School Students to the Concept of Sustainable Development)*. *18*(3), 127–134.

Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2018). A scientometric review of global research on sustainability and sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, *183*, 231–250. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.162

Pauw, J. B. de, Gericke, N., Olsson, D., & Berglund, T. (2015). The effectiveness of education for sustainable development. *Sustainability (Switzerland)*, *7*(11), 15693–15717. https://doi.org/10.3390/su71115693

Perkasa, M., Agrippina, & Wiraningtyas. (2017). Pembelajaran Kimia Berorientasi Sustainable Development untuk Meningkatkan Kesadaran Siswa Terhadap Lingkungan. *Jurnal Sainsmat*, *6*(2), 63–72.

Płotka-Wasylka J. et al. (2021). Green analytical chemistry as an integral part of sustainable education development. *Journal Pre-Proof*. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100508

Radošević, K., Ćurko, N., Gaurina Srček, V., Cvjetko Bubalo, M., Tomašević, M., Kovačević Ganić, K., & Radojčić Redovniković, I. (2016). Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity. *Lwt*, *73*, 45–51. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.037

Rahmawati, Y., Taylor, E., Taylor, P. C., Ridwan, A., & Mardiah, A. (2022). Students' Engagement in Education as Sustainability: Implementing an Ethical Dilemma-STEAM Teaching Model in Chemistry Learning. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(6). https://doi.org/10.3390/su14063554

Ridwan, I. M., Kaniawati, I., Suhandi, A., Samsudin, A., & Rizal, R. (2021). Level of sustainability awareness: Where are the students' positions? *Journal of Physics: Conference Series*, *1806*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012135

Rojas-Fernández, A. G., Aguilar-Santelises, L., Cruz Millán, M., Aguilar-Santelises, M., & García -del Valle, A. (2017). Teaching chemistry with sustainability. *Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences*, *4*(1), 102. https://doi.org/10.4995/muse.2017.6462

Salsabila, E. R., Wijaya, A. F. C., & Winarno, N. (2019). Improving Students' Sustainability Awareness through Argument-driven Inquiry. *Journal of Science Learning*, *2*(2), 58. https://doi.org/10.17509/jsl.v2i2.13104

Saraiva, T. S., Almeida, M., Bragança, L., & Barbosa, M. T. (2019). The inclusion of a sustainability awareness indicator in assessment tools for high school buildings. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(2). https://doi.org/10.3390/su11020387

Shields, D., Verga, F., & Blengini, G. A. (2014). International Journal of Sustainability in Higher Education Article information : *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *15*(4), 390–403. https://doi.org/https://doi.org/10.1108/IJSHE-01-2015-0010

Spahiu, M. H., & Lindemann-Matthies, P. (2015). Effect of a toolkit and a one-day teacher education workshop on ESD teaching content and methods-A study from Kosovo. *Sustainability (Switzerland)*, *7*(7), 8051–8066. https://doi.org/10.3390/su7078051

Taha, H., Suppiah, V., Khoo, Y. Y., Yahaya, A., Lee, T. T., & Muhamad Damanhuri, M. I. (2019). Impact of student-initiated green chemistry experiments on their knowledge, awareness and practices of environmental sustainability. *Journal of Physics: Conference Series*, *1156*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1156/1/012022

UNESCO. (2017). *Education for Development Goals Learning Objectives*.

Vanda, H., Dai, Y., Wilson, E. G., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2018). Green solvents from ionic liquids and deep eutectic solvents to natural deep eutectic solvents. *Comptes Rendus Chimie*, *21*(6), 628–638. https://doi.org/10.1016/j.crci.2018.04.002

Ventura, S. P. M., E Silva, F. A., Quental, M. V., Mondal, D., Freire, M. G., & Coutinho, J. A. P. (2017). Ionic-Liquid-Mediated Extraction and Separation Processes for Bioactive Compounds: Past, Present, and Future Trends. *Chemical Reviews*, *117*(10), 6984–7052. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00550

Wahyuningsih, A. S., Poedjiastoeti, S., & Suyono, S. (2017). the Effect of Green Chemistry Laboratory Learning on Pre-Service Chemistry Teachers' Environmental Value Orientations and Creative Thinking Skill. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, *5*(1), 848. https://doi.org/10.26740/jpps.v5n1.p848-858

Wissinger, J. E., Visa, A., Saha, B. B., Matlin, S. A., Mahaffy, P. G., Kümmerer, K., & Cornell, S. (2021). Integrating Sustainability into Learning in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, *98*(4), 1061–1063. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00284