
Integrasi *Project-Based Learning*, STEM, dan *Green Chemistry* untuk Meningkatkan Pemahaman Konseptual Peserta Didik dalam Pembelajaran Kimia

Hayyu Hidayah¹, Sri Wardani², Nuni Widiarti³, Cepi Kurniawan⁴

Magister Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

E-mail: hayyuhidayah93@guru.sma.belajar.id

Article History:

Received: 01 Januari 2026

Revised: 20 Januari 2026

Accepted: 23 Januari 2026

Keywords: *Project-Based Learning; STEM; Green Chemistry; Student Worksheets (LKPD); 21st Century Skills; Chemistry Learning.*

Abstract: *Chemistry learning in the 21st century faces challenges in improving students' conceptual understanding and 21st-century skills, especially in abstract materials that require practical skills such as acid-base titration. An innovative learning approach that integrates Project-Based Learning (PjBL), Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM), and Green Chemistry principles is considered relevant to address these challenges. This article aims to systematically review the results of previous research related to the application of STEM-based PjBL and Green Chemistry in chemistry learning, as well as the role of Student Worksheets (LKPD) as supporting media in improving conceptual understanding and 21st-century skills. The method used is a literature study by reviewing relevant national and international journal articles from the last ten years. The results of the study indicate that the integration of PjBL–STEM can encourage active student involvement, improve critical and creative thinking skills, and link chemical concepts to real-world problems. The application of Green Chemistry principles in chemistry learning has been shown to strengthen environmental awareness, encourage safer laboratory practices, and support sustainable learning. The integrated PjBL–STEM-oriented Green Chemistry student worksheet acts as an effective learning scaffold in guiding students' thinking processes, developing creativity, collaboration, and communication. These findings confirm that the development and implementation of the PjBL–STEM-oriented Green Chemistry student worksheet has great potential to improve the quality of chemistry learning conceptually, contextually, and sustainably.*

Kata Kunci: *Project-Based Learning; STEM; Green Chemistry; Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD); Keterampilan Abad 21; Pembelajaran Kimia.*

Abstrak: Pembelajaran kimia di abad ke-21 menghadapi tantangan dalam meningkatkan pemahaman konsep sekaligus keterampilan abad 21 peserta didik, khususnya pada materi yang bersifat abstrak dan membutuhkan keterampilan praktis seperti titrasi asam–basa. Pendekatan pembelajaran inovatif yang mengintegrasikan *Project-Based Learning* (PjBL), Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM), serta prinsip Green Chemistry dipandang relevan untuk menjawab tantangan tersebut. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis hasil-hasil penelitian terdahulu terkait penerapan PjBL berbasis STEM dan Green Chemistry dalam pembelajaran kimia, serta peran Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai media pendukung dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan abad 21. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan menelaah artikel jurnal nasional dan internasional yang relevan dalam rentang sepuluh tahun terakhir. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi PjBL–STEM mampu mendorong keterlibatan aktif peserta didik, meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif, serta mengaitkan konsep kimia dengan permasalahan nyata. Penerapan prinsip Green Chemistry dalam pembelajaran kimia terbukti memperkuat kesadaran lingkungan, mendorong praktik laboratorium yang lebih aman, dan mendukung pembelajaran berkelanjutan. LKPD terintegrasi PjBL–STEM berorientasi Green Chemistry berperan sebagai scaffolding pembelajaran yang efektif dalam membimbing proses berpikir peserta didik, mengembangkan kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi. Temuan ini menegaskan bahwa pengembangan dan implementasi LKPD PjBL–STEM berorientasi Green Chemistry memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas pembelajaran kimia secara konseptual, kontekstual, dan berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Pendidikan sains pada abad ke-21 dituntut untuk tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga mengembangkan keterampilan abad 21 yang meliputi kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi. Keterampilan tersebut menjadi kompetensi esensial bagi peserta didik dalam menghadapi tantangan global yang semakin kompleks, seperti perkembangan teknologi, isu keberlanjutan lingkungan, dan perubahan sosial yang dinamis

.....

(Trilling & Fadel, 2009; Voogt & Roblin, 2020). Dalam konteks pembelajaran kimia, tuntutan ini semakin menguat karena karakteristik materi kimia yang bersifat abstrak, konseptual, serta membutuhkan keterampilan praktis yang terintegrasi antara teori dan eksperimen (Hakim et al., 2020).

Salah satu materi kimia yang kerap menimbulkan kesulitan bagi peserta didik adalah titrasi asam–basa. Materi ini menuntut pemahaman konseptual yang mendalam terkait reaksi asam–basa, stoikiometri, serta interpretasi data eksperimen, sekaligus keterampilan proses sains dalam kegiatan praktikum (Rumape et al., 2024). Namun, praktik pembelajaran di sekolah masih sering didominasi oleh metode konvensional dan praktikum yang bersifat prosedural, sehingga peserta didik kurang dilibatkan secara aktif dalam proses penemuan konsep dan pemecahan masalah kontekstual. Kondisi ini berdampak pada rendahnya keterkaitan antara konsep kimia dengan penerapannya dalam kehidupan nyata serta terbatasnya pengembangan keterampilan abad 21 (Priliyanti et al., 2021).

Pendekatan Project-Based Learning (PjBL) dipandang sebagai salah satu strategi pembelajaran yang relevan untuk menjawab permasalahan tersebut. PjBL menempatkan peserta didik sebagai pusat pembelajaran melalui keterlibatan dalam proyek nyata yang menuntut perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan refleksi (Markula & Aksela, 2022). Melalui proses tersebut, peserta didik didorong untuk mengintegrasikan pengetahuan konseptual dengan keterampilan berpikir tingkat tinggi, bekerja secara kolaboratif, serta menghasilkan solusi atau produk yang bermakna. Integrasi pendekatan Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) dalam PjBL semakin memperkuat pembelajaran kimia dengan mendorong peserta didik untuk berpikir lintas disiplin dan memecahkan masalah secara sistematis berbasis sains dan teknologi (Dewi et al., 2023; Lianti et al., 2023).

Selain penguasaan konsep dan keterampilan berpikir, pembelajaran kimia juga memiliki tanggung jawab untuk menumbuhkan kesadaran terhadap isu lingkungan dan keberlanjutan. Praktikum kimia di sekolah sering kali menghasilkan limbah bahan kimia yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (Sari & Atun, 2023). Oleh karena itu, penerapan prinsip Green Chemistry menjadi penting dalam konteks pendidikan kimia. Green Chemistry menekankan perancangan proses dan produk kimia yang lebih aman, efisien, serta ramah lingkungan, sehingga tidak hanya mendukung keselamatan kerja di laboratorium, tetapi juga membangun sikap peduli lingkungan pada peserta didik (Inayah et al., 2023; Mitarlis et al., 2023). Integrasi prinsip Green Chemistry dalam pembelajaran berbasis proyek memberikan ruang bagi peserta didik untuk berpikir kreatif dalam merancang eksperimen yang meminimalkan limbah, menggunakan bahan alternatif yang lebih aman, dan mempertimbangkan aspek keberlanjutan (Rahma et al., 2023).

Dalam implementasinya, keberhasilan pembelajaran PjBL berbasis STEM dan berorientasi Green Chemistry sangat dipengaruhi oleh ketersediaan perangkat pembelajaran yang mampu membimbing proses belajar peserta didik secara sistematis. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berperan sebagai media pembelajaran yang dapat mengarahkan aktivitas proyek, memfasilitasi proses inkuiri, serta menstimulasi keterampilan berpikir kritis dan kreatif (Setiawan, 2021; Suyanto, 2020). LKPD yang dirancang secara terintegrasi dengan PjBL–STEM dan prinsip Green Chemistry berpotensi menjadi scaffolding pembelajaran yang efektif, khususnya dalam materi titrasi asam–basa yang membutuhkan keseimbangan antara pemahaman konsep, keterampilan praktikum, dan kesadaran lingkungan (Zulfa et al., 2023; Rumape et al., 2024).

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan manfaat penerapan PjBL, STEM, dan Green Chemistry dalam pembelajaran kimia, kajian yang secara khusus mensintesis temuan-temuan tersebut dalam konteks pengembangan dan pemanfaatan LKPD masih terbatas. Oleh

.....

karena itu, artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif hasil penelitian terdahulu terkait integrasi PjBL berbasis STEM dan berorientasi Green Chemistry dalam pembelajaran kimia, serta menganalisis peran LKPD dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan abad 21 peserta didik. Kajian ini diharapkan dapat memberikan landasan konseptual bagi pengembangan perangkat pembelajaran kimia yang inovatif, kontekstual, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **studi literatur** dengan tujuan untuk mengkaji dan mensintesis temuan-temuan penelitian terdahulu yang relevan dengan penerapan Project-Based Learning (PjBL) berbasis Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) serta prinsip Green Chemistry dalam pembelajaran kimia. Studi literatur dipilih untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai efektivitas integrasi ketiga pendekatan tersebut, khususnya dalam mendukung peningkatan pemahaman konsep dan pengembangan keterampilan abad 21 melalui penggunaan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) (**Trilling & Fadel, 2009; Voogt & Roblin, 2020**).

Penelusuran literatur dilakukan terhadap artikel jurnal nasional dan internasional yang dipublikasikan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir. Basis data yang digunakan meliputi jurnal pendidikan sains dan kimia yang dapat diakses melalui mesin pencari akademik seperti Google Scholar serta portal jurnal bereputasi. Kata kunci yang digunakan dalam proses penelusuran antara lain *Project-Based Learning, STEM education, Green Chemistry, student worksheets, chemistry education, dan 21st-century skills*. Kata kunci tersebut dikombinasikan secara sistematis untuk memperoleh artikel yang relevan dengan fokus kajian (**Dewi et al., 2023; Lianti et al., 2023**).

Artikel yang disertakan dalam kajian ini memenuhi beberapa kriteria inklusi, yaitu: (1) membahas penerapan PjBL, pendekatan STEM, dan/atau prinsip Green Chemistry dalam pembelajaran kimia atau sains; (2) menyoroti penggunaan perangkat pembelajaran, khususnya LKPD atau bahan ajar sejenis; (3) memuat pembahasan terkait pemahaman konsep, keterampilan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, atau keterampilan abad 21; serta (4) diterbitkan dalam jurnal yang telah melalui proses penelaahan sejawat (*peer-reviewed*). Sementara itu, artikel yang tidak relevan dengan konteks pendidikan kimia, tidak tersedia dalam teks lengkap, atau hanya berupa opini tanpa dukungan data empiris dikeluarkan dari kajian (**Priliyanti et al., 2021**).

Analisis literatur dilakukan secara **kualitatif deskriptif** dengan pendekatan **sintesis tematik**. Setiap artikel yang terpilih dianalisis untuk mengidentifikasi fokus penelitian, pendekatan pembelajaran yang digunakan, peran LKPD atau perangkat pembelajaran, serta temuan utama terkait pemahaman konsep dan keterampilan abad 21 peserta didik. Hasil analisis kemudian dikelompokkan ke dalam tema-tema utama, seperti implementasi PjBL dalam pembelajaran kimia, integrasi STEM, penerapan prinsip Green Chemistry, dan kontribusi LKPD sebagai media pembelajaran (**Dewi et al., 2023; Sari & Atun, 2023; Rahma et al., 2023**). Proses sintesis ini bertujuan untuk menemukan pola, kecenderungan, serta kesenjangan penelitian yang dapat dijadikan dasar pengembangan kerangka konseptual pembelajaran kimia yang terintegrasi dan berkelanjutan (**Rumape et al., 2024**).

Untuk menjaga keabsahan kajian, penulis membandingkan temuan dari berbagai sumber literatur dan memastikan konsistensi hasil antar penelitian. Artikel yang digunakan berasal dari jurnal yang memiliki reputasi akademik dan relevansi dengan topik kajian. Selain itu, proses analisis dilakukan secara cermat dengan menelusuri keterkaitan antara tujuan penelitian, metode yang digunakan, dan hasil yang dilaporkan, sehingga sintesis yang dihasilkan mencerminkan kondisi aktual penelitian di bidang pendidikan kimia (**Voogt & Roblin, 2020**).

.....

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis terhadap sejumlah artikel yang direview menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian melaporkan dampak positif penerapan Project-Based Learning (PjBL) dalam pembelajaran kimia. PjBL dilaporkan mampu meningkatkan keterlibatan aktif peserta didik dalam proses pembelajaran, terutama pada materi yang memerlukan pemahaman konseptual dan keterampilan praktikum, seperti titrasi asam-basa. Melalui keterlibatan langsung dalam perencanaan kegiatan, pelaksanaan proyek, serta penyajian hasil belajar, peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang lebih bermakna dan kontekstual dibandingkan dengan pembelajaran konvensional (Markula & Aksela, 2022; Dewi et al., 2023). Temuan ini sejalan dengan pandangan konstruktivistik yang menekankan bahwa pemahaman konsep terbentuk secara optimal ketika peserta didik secara aktif membangun pengetahuan melalui pengalaman nyata (Setiawan, 2021).

Selain itu, hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi pendekatan Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) dalam pembelajaran kimia berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah peserta didik. Beberapa penelitian melaporkan bahwa peserta didik yang belajar dengan pendekatan STEM menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menganalisis data eksperimen, mengaitkan konsep kimia dengan perhitungan matematis, serta merancang solusi berbasis rekayasa sederhana (Lianti et al., 2023; Timurkyzy, 2025). Integrasi STEM dalam PjBL memungkinkan peserta didik memandang konsep kimia secara lintas disiplin, sehingga membantu mereka memahami hubungan antara teori dan aplikasi dalam kehidupan nyata (Astuti et al., 2023).

Hasil kajian juga mengungkapkan bahwa penerapan prinsip Green Chemistry dalam pembelajaran kimia mampu meningkatkan kesadaran peserta didik terhadap isu lingkungan dan keberlanjutan. Penelitian-penelitian yang mengintegrasikan Green Chemistry melaporkan penggunaan bahan kimia yang lebih aman, pengurangan limbah praktikum, serta keterlibatan peserta didik dalam kegiatan yang berorientasi pada keberlanjutan, seperti penggunaan indikator alami dan pengolahan limbah sederhana (Sari & Atun, 2023; Rahma et al., 2023). Penerapan prinsip Green Chemistry tidak hanya mendukung keselamatan kerja di laboratorium, tetapi juga memperluas makna pembelajaran kimia sebagai sarana pembentukan sikap ilmiah dan tanggung jawab sosial peserta didik (Inayah et al., 2023; Mitarlis et al., 2023).

Terkait perangkat pembelajaran, hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang terintegrasi dengan PjBL, STEM, dan Green Chemistry berperan penting dalam membantu peserta didik memahami alur pembelajaran berbasis proyek. LKPD berfungsi sebagai scaffolding pembelajaran yang membimbing aktivitas belajar, memfasilitasi diskusi kelompok, serta mendorong proses inkuiri secara sistematis (Suyanto, 2020; Setiawan, 2021). Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa LKPD terintegrasi mampu mendukung pengembangan keterampilan abad 21, termasuk berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi, karena peserta didik diarahkan untuk menganalisis masalah, bekerja sama dalam tim, serta mengkomunikasikan hasil proyek secara reflektif (Zulfa et al., 2023; Rumape et al., 2024).

Pembahasan

Temuan bahwa Project-Based Learning (PjBL) mampu meningkatkan keterlibatan aktif peserta didik menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dibandingkan pendekatan konvensional. Keterlibatan peserta didik dalam

seluruh tahapan proyek—mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga refleksi—memungkinkan terjadinya proses konstruksi pengetahuan secara aktif. Dengan demikian, pemahaman konsep kimia tidak hanya diperoleh melalui hafalan, tetapi melalui pengalaman langsung yang mengaitkan teori dengan praktik nyata (Markula & Aksela, 2022; Dewi et al., 2023). Hal ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui interaksi aktif dengan lingkungan belajar (Setiawan, 2021).

Integrasi pendekatan STEM dalam PjBL memperkuat hasil tersebut dengan mendorong peserta didik untuk berpikir lintas disiplin. Kemampuan peserta didik dalam menganalisis data eksperimen, merancang solusi, serta mengaitkan konsep kimia dengan matematika dan rekayasa menunjukkan bahwa pendekatan STEM mendukung pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pembelajaran kimia tidak hanya berfokus pada hasil akhir, tetapi juga pada proses pemecahan masalah yang sistematis dan berbasis evidensi (Lianti et al., 2023; Timurkyzy, 2025). Pendekatan ini relevan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah kompleks (Trilling & Fadel, 2009; Voogt & Roblin, 2020).

Penerapan prinsip Green Chemistry yang dilaporkan dalam berbagai penelitian dapat dimaknai sebagai upaya pembelajaran kimia yang lebih kontekstual dan berorientasi pada keberlanjutan. Keterlibatan peserta didik dalam penggunaan bahan yang lebih aman serta pengurangan limbah praktikum menunjukkan bahwa pembelajaran kimia dapat berperan dalam menanamkan kesadaran lingkungan sejak dini (Sari & Atun, 2023; Rahma et al., 2023). Kondisi ini memperluas tujuan pembelajaran kimia, tidak hanya pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pembentukan sikap ilmiah, kepedulian lingkungan, dan tanggung jawab sosial peserta didik (Inayah et al., 2023; Mitarlis et al., 2023).

Peran Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai perangkat pembelajaran yang terintegrasi menjadi faktor penting dalam mendukung keberhasilan implementasi PjBL berbasis STEM dan berorientasi Green Chemistry. LKPD berfungsi sebagai *scaffolding* pembelajaran yang membantu peserta didik menavigasi pembelajaran berbasis proyek yang kompleks dan menantang (Suyanto, 2020). Dengan adanya LKPD yang sistematis dan kontekstual, peserta didik memperoleh panduan yang jelas untuk mengembangkan ide, merefleksikan proses belajar, serta mengasah keterampilan abad 21, seperti berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi (Setiawan, 2021; Zulfa et al., 2023; Rumape et al., 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian literatur, integrasi Project-Based Learning (PjBL) dengan pendekatan Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) serta prinsip Green Chemistry menunjukkan potensi yang kuat dalam meningkatkan kualitas pembelajaran kimia. Pembelajaran berbasis proyek mendorong keterlibatan aktif peserta didik dan membantu pemahaman konsep kimia yang bersifat abstrak melalui pengalaman belajar yang kontekstual, khususnya pada materi yang memerlukan keterampilan praktikum seperti titrasi asam-basa. Integrasi pendekatan STEM dan Green Chemistry memperkaya proses pembelajaran dengan mendorong pemecahan masalah lintas disiplin dan kesadaran terhadap isu keberlanjutan lingkungan.

Kajian ini juga menegaskan peran penting Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sebagai perangkat pembelajaran yang mendukung implementasi PjBL terintegrasi STEM dan berorientasi Green Chemistry. LKPD yang dirancang secara sistematis berfungsi sebagai panduan aktivitas dan scaffolding berpikir yang membantu peserta didik mengaitkan konsep teoretis dengan praktik nyata serta mengembangkan keterampilan abad 21, seperti berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi. Dengan demikian, LKPD berbasis PjBL–STEM–Green Chemistry dapat

.....

dijadikan landasan konseptual bagi pengembangan pembelajaran kimia yang inovatif, kontekstual, dan berkelanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Astuti, R., Prasetyo, Z. K., & Wilujeng, I. (2023). STEM-based learning to enhance students' problem-solving skills in science education. *Journal of Science Education Research*, 7(2), 85–94.
- Dewi, N. N. S. K., Arnyana, I. B. P., & Margunayasa, I. G. (2023). Project Based Learning berbasis STEM: Meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan hasil belajar siswa. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 6(1), 133–143.
- Hakim, A., Liliyasi, & Kadarohman, A. (2020). Analisis kesulitan belajar kimia pada materi konseptual dan aplikatif. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 12(3), 145–153.
- Inayah, N., Fadilah, N., & Wulandari, S. (2023). Integrasi green chemistry dalam pembelajaran kimia sekolah menengah. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 17(1), 78–88.
- Inayah, S. (2023). Tinjauan Penelitian Peluang Green Chemistry dalam Pembelajaran Kimia. *Jurnal Sang Guru*, 2(3), 38–43.
- Lianti, D., Nurhayati, S., & Haryani, S. (2023). STEM-integrated learning in chemistry education: Its impact on critical thinking skills. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 1–12.
- Markula, A., & Aksela, M. (2022). Project-based learning in chemistry education: Enhancing students' engagement and understanding. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(2), 320–332.
- Pearson, K. (1895). *Notes on regression and inheritance in the case of two parents*. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240–242.
- Priilyanti, A., Muderawan, I. W., & Maryam, S. (2021). Analisis kesulitan belajar siswa dalam mempelajari kimia kelas XI. *Jurnal Pendidikan Kimia Undiksha*, 5(1), 11–20.
- Rahma, A., Atun, S., & Sari, D. P. (2023). Implementasi prinsip green chemistry pada praktikum kimia SMA. *Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia*, 7(2), 89–98.
- Rumape, M. J., Hadi, L., & Talan, Y. (2024). Pengembangan LKPD berbasis PjBL untuk meningkatkan pemahaman konsep titrasi asam–basa. *Jurnal Penelitian Pendidikan Kimia*, 11(1), 15–27.
- Sari, D. P., & Atun, S. (2023). Penerapan green chemistry dalam pembelajaran kimia berkelanjutan. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 9(1), 23–34.
- Setiawan, D. (2021). Peran LKPD dalam pembelajaran berbasis proyek di sekolah menengah. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 28(2), 112–120.
- Suyanto, S. (2020). *Pendidikan Sains dan Teknologi untuk Abad 21*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Voogt, J., & Roblin, N. P. (2020). 21st century skills. In J. Voogt et al. (Eds.), *Second handbook of information technology in primary and secondary education* (pp. 1–14).
- Zulfa, A., Nurhayati, S., & Susilaningih, E. (2023). LKPD berbasis STEM untuk meningkatkan keterampilan kolaborasi dan komunikasi siswa. *Jurnal Pendidikan Sains*, 11(2), 134–145.
-