



## PENDEKATAN E-STEM PADA PEMBELAJARAN BIOLOGI DI ERA METAVERSE

Wiwit Artika<sup>1)</sup>, Lina Ratna<sup>2)</sup>, Fitrah Asma Uhusna<sup>3)</sup>, Maulida<sup>4)</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Pendidikan Biologi, FKIP USK, Aceh, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Riset STEM USK, Aceh, Indonesia

<sup>3&4</sup>Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP Universitas Abulyatama, Aceh, Indonesia

E-Mail: wartika@usk.ac.id

### ABSTRAK

Setiap peserta didik dan pendidik memiliki latar belakang yang berbeda, terutama pada pengalaman dan akses mereka terhadap alam dan teknologi. Sebagai pendidik, guru harus mampu menjembatani perbedaan ini untuk membentuk peserta didik yang memiliki kedua kemampuan literasi lingkungan dan literasi teknologi. Literasi lingkungan pada seseorang ditunjukkan oleh kemampuan individu tersebut dalam memahami konsep ekologi, keadaan sosial dan isu-isu tentang lingkungan, serta mempunyai kemampuan berfikir kritis untuk memecahkan masalah lingkungan baik secara individu atau kelompok. Proses terbentuknya literasi lingkungan dipengaruhi oleh berbagai tipe pengetahuan lingkungan, sistem, dan kemampuan berfikir kritis. Environmental-STEM (E-STEM) merupakan salah satu pendekatan pembelajaran yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan literasi lingkungan dan berfikir kritis. Pelaksanaan pembelajaran E-STEM dapat dilakukan melalui penerapan model PjBL, PBL, pembelajaran inkuiri, pembelajaran *Place-based*, dan pembelajaran berbasis pengalaman (*experiential learning*). Melalui teknologi sebagai alat bantu, solusi kritis terhadap permasalahan lingkungan akan semakin baik.

### A. PENDAHULUAN

The Partnership for 21st Century Skills (2019) mencantumkan tiga jenis keterampilan abad ke-21 yang dijadikan sebagai pusat pembelajaran yaitu: (1) keterampilan belajar (kreativitas dan inovasi, pemikiran kritis, dan pemecahan masalah; komunikasi dan kolaborasi); (2) keterampilan literasi (literasi informasi; literasi media; literasi TIK), dan (3) keterampilan hidup (fleksibilitas dan kemampuan beradaptasi; inisiatif dan pengarahannya sendiri; keterampilan sosial dan antar budaya; produktivitas dan akuntabilitas; kepemimpinan dan tanggung jawab). Salah satu faktor berhasilnya proses pembelajaran adalah guru.

Dalam menyiapkan perangkat pembelajaran, guru perlu merencanakan pemilihan strategi, metode, dan model pembelajaran yang inovatif agar peserta didik dapat memahami materi dengan lebih mudah, merasakan pembelajaran yang menyenangkan, sesuai dengan kebutuhan peserta didik, dan terciptanya kondisi kelas yang aktif serta interaktif (Sari, 2021). Menurut Purwitha (2020), ada empat karakteristik pembelajaran

Wiwit Artika, dkk

Pendekatan e-STEM ....

<https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/PBiotik/index>

yang inovatif yaitu: memberikan peserta didik kesempatan untuk membangun dan mengembangkan gagasan secara bebas, pembelajaran dapat mendorong peserta didik untuk mandiri, berdiskusi, memecahkan masalah, dan menarik kesimpulan sendiri, pembelajaran dapat mendorong peserta didik untuk berkolaborasi, dan pembelajaran berpusat pada peserta didik dan menilai hasil berpikir peserta didik.

Pendidikan di abad 21 menuntut peserta didik untuk memiliki pengetahuan yang kompleks dan berbagai keterampilan seperti keterampilan berpikir tingkat tinggi, keterampilan dalam dunia kerja, dan keterampilan dalam menggunakan informasi, media, dan teknologi (Muhali, 2019). Beberapa proses pembelajaran yang inovatif yang diterapkan di Indonesia yaitu: *Discovery Learning* (Puspitasari & Nurhayati, 2019), *Flipped Classroom* (Purwitha, 2020), *Problem-based Learning* (PBL), *Project Based Learning* (PjBL) dan *Inquiry, Contextual Learning* (CtL), *Collaborative Learning* (CbL), *Cooperative Learning* (CL), *Self-Directed Learning* (SDL), *Role-Play and Simulation Learning* (RPL), *Small Group Discussion* (SGD) (Muhali, 2019), dan STEM (Diana dkk., 2020).

Pendidikan STEM pada dasarnya menggunakan pendekatan interdisipliner di mana konsep-konsep akademik diintegrasikan bersama berdasarkan konteks kehidupan nyata dengan menerapkan *science, technology, engineering, dan mathematics* (Permanasari dkk, 2021). Hal ini dapat meningkatkan kualitas proses pembelajaran (Guzey dkk., 2017) sehingga menghasilkan pembelajaran yang bermakna melalui integrasi dan penerapan matematika, teknologi, dan sains (Moore & Smith, 2014; Diana dkk., 2020). Pendidikan STEM juga berfokus pada pemecahan masalah dunia nyata melalui kolaborasi (Han et al., 2015), pemahaman yang terintegrasi tentang disiplin *science, technology, engineering, dan mathematics* serta pentingnya disiplin ilmu tersebut dalam keberhasilan akademik jangka panjang dan kesejahteraan ekonomi (Quigley & Herro, 2016), dan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan peserta didik secara komprehensif (Griese et al., 2015).

### **I. Konsep Environmental STEM (E-STEM) dan Penerapannya dalam Pembelajaran Biologi**

Environmental-STEM (E-STEM) mengacu pada integrasi pendidikan lingkungan ke dalam pendidikan STEM yang memiliki peran penting pada pemahaman siswa dan

proses rekayasa desain (*engineering design process*) terkait masalah lingkungan (Helvaci & Helvaci (2019); Koculu & Girgin, 2022). E-STEM pertama kali diperkenalkan oleh *National Association for Environmental Education* (NAEE). Pendidikan E-STEM dapat mengembangkan literasi lingkungan siswa, membangun keterampilan Sains, teknologi, matematika dan Rekayasa, dan menciptakan jalur menuju karir di bidang lingkungan. Melalui keterlibatan siswa, STEM bermakna sebagai pemecah masalah atau menghasilkan solusi dari masalah dunia nyata (Koculu & Girgin, 2022).

Pembelajaran biologi sangat erat kaitannya dengan pendidikan lingkungan dan atau konsep ekologi dan lingkungan. Penerapan pembelajaran STEM untuk materi biologi dapat dilakukan melalui pengembangan perangkat pembelajaran dalam bentuk Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP), Lembar Kerja Peserta Didik (LKPS), media pembelajaran dan lain sebagainya. Adapun strategi, metode dan model yang telah dikembangkan terkait pelaksanaan E-STEM dalam pembelajaran biologi antara lain sebagai berikut:

1) *Project Based Learning* (PjBL)

Pembelajaran Berbasis Proyek disusun berdasarkan masalah yang harus dipecahkan oleh siswa. PjBL memberikan pengalaman yang berbasis kontekstual, dan pengalaman yang dibutuhkan oleh siswa untuk membangun konsep ilmu pengetahuan, teknologi, teknik, dan konsep matematika didukung oleh seni bahasa, ilmu sosial, dan seni. Penggunaan STEM dikombinasi dengan PjBL mampu meningkatkan motivasi siswa. Siswa dituntut untuk berpikir kritis, mampu memiliki kemampuan analitis, dan kemampuan berpikir tingkat tinggi. STEM PjBL membutuhkan kolaborasi, komunikasi, pemecahan masalah yang dijalankan secara bersama-sama (Capraro, 2013).

Keberhasilan penggunaan STEM yang dipadukan dengan *Project Based Learning* merupakan keterikatan berbagai kemampuan multidisiplin ilmu pengetahuan. Multidisiplin ilmu yang diterapkan dalam STEM PjBL membutuhkan observasi terkait materi apa yang dibutuhkan hingga mengklasifikasi luaran yang dibutuhkan oleh siswa (Capraro, 2013). PjBL STEM interdisipliner memiliki potensi untuk memberikan manfaat pembelajaran yang signifikan bagi siswa dalam hal membangun keterampilan

berpikir kritis dan memecahkan masalah serta menjembatani pembelajaran di kelas dengan dunia nyata. PjBL interdisipliner jauh lebih mudah diimplementasikan dan lebih efektif ketika struktur pendukung sudah ada.

### 2) *Problem Based Learning (PBL)*

*Problem Based Learning* merupakan pembelajaran dan pendekatan yang berpusat pada peserta didik dengan memberdayakan peserta didik untuk melakukan penelitian, mengintegrasikan teori, praktik, dan menerapkan pengetahuan, dan keterampilan untuk dikembangkan dalam mendapatkan sebuah solusi dari permasalahan (Savery, 2006). Pendekatan ini adalah pemilihan masalah yang tidak terstruktur (sering interdisipliner) dan tutor yang memandu pembelajaran memproses dan melakukan pembekalan menyeluruh pada akhir pengalaman belajar. Duch et al. (2001) menjelaskan bahwa *Problem Based learning* mengembangkan beberapa kemampuan diantaranya, kemampuan berpikir kritis, menganalisis, memecahkan masalah kompleks, mengevaluasi, dan menggunakan pembelajaran yang tepat untuk bekerja secara kooperatif. Torp dan Sage (2002) menggambarkan PBL sebagai pembelajaran eksperiensial yang terfokus untuk diselenggarakan di sekitar penyelidikan dan penyelesaian masalah kompleks yang berantakan. Mereka menggambarkan siswa sebagai pemecah masalah dan berusaha untuk mengidentifikasi akar masalah dan kondisi yang diperlukan untuk solusi yang baik dalam proses menjadi pembelajar mandiri. Hmelo-Silver (2004) menggambarkan PBL sebagai suatu metode pembelajaran dimana siswa belajar melalui fasilitasi pemecahan masalah yang berpusat pada masalah kompleks yang tidak memiliki satu jawaban yang benar.

### 3) *Experiential Learning*

*Experiential learning* memberikan respon positif dalam pembelajaran. Metode ini membantu pendidik dalam menghubungkan isi materi pembelajaran dengan keadaan yang ada di dunia nyata, sehingga siswa lebih mudah mengingat dan memahami proses pembelajaran. Pendidikan STEM yang diintegrasikan dengan *experiential learning* dapat menciptakan lingkungan belajar yang kooperatif, koneksi interdisipliner, dan kesadaran lingkungan. Aktivitas langsung seperti merekam dan menganalisis suara dapat membantu para peserta memperoleh keterampilan baru dan merasa terhubung dengan komunitas (Khanaposhtani et al, 2018).



#### *4) Placed-Based Learning*

Pendekatan pembelajaran berbasis tempat untuk pendidikan lingkungan hidup relatif umum dan memperluas fokus pengajaran di luar kelas. Kegiatan yang dilakukan di luar sekolah, seperti di alam dapat meningkatkan sikap lingkungan siswa. Keinginan siswa untuk mengeksplorasi alam meningkat sehingga mereka memperoleh kesadaran lingkungan. Selain itu, studi ini juga menemukan bahwa kegiatan STEM di alam secara positif memengaruhi persepsi teknik siswa di mana siswa mendapatkan pengetahuan tentang teknik, memperhatikan jenis-jenis teknik, dan menyadari bahwa perempuan juga bisa menjadi insinyur. Definisi insinyur sebagai "pemecah masalah" dan "perancang" menunjukkan bahwa kegiatan STEM di alam meningkatkan persepsi siswa tentang teknik (Demir, H. & Kose, M., 2022).

Pembelajaran Berbasis Tempat menggunakan pendekatan holistik, konservasi, dan pengembangan masyarakat yang memanfaatkan masyarakat setempat sebagai konteks yang terintegrasi untuk belajar di segala usia. Ini memupuk kemitraan yang dinamis antara sekolah dan masyarakat untuk meningkatkan prestasi siswa, meningkatkan kesehatan dan hubungan masyarakat dengan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Selama dekade terakhir, Pembelajaran Berbasis Tempat berfokus pada pengembangan praktik lingkungan Pendidikan terbaik, mempertahankan pendekatan yang berfokus pada proyek, dan membuka program untuk disesuaikan oleh masyarakat lokal terhadap realitas dan peluang lokal (Jhonson, 2012).

#### *5) Inquiry-Based Learning*

Pembelajaran berbasis inkuiri melibatkan siswa dalam proses penemuan ilmiah yang otentik. Penerapan inkuiri dapat memberikan kesempatan bagi siswa untuk meningkatkan kemampuan pemahaman tentang konsep sains dan praktik ilmiah. Dari segi pedagogis, proses ilmiah yang kompleks dibagi menjadi unit-unit yang lebih kecil dan terhubung secara logis yang memandu siswa dan menarik perhatian untuk fitur penting dari pemikiran ilmiah. Unit individu ini disebut fase penyelidikan, dan rangkaian koneksinya membentuk siklus penyelidikan. Literatur pendidikan menjelaskan berbagai fase dan siklus penyelidikan, salah satu contohnya adalah model siklus pembelajarn 5E (Bybee et al., 2006). Siklus 5E mencantumkan lima fase inkuiri yang melibatkan keterlibatan, eksplorasi, penjelasan, elaborasi, dan evaluasi. Sebuah



siklus inkuiri yang diusulkan oleh White dan Frederiksen (1998) juga mengidentifikasi lima fase inkuiri, tetapi menamakannya sebagai pertanyaan, prediksi, eksperimen, model, dan terapan. Perbedaan nyata antara kedua contoh ini adalah fase awal dari siklus 5E (keterlibatan dan eksplorasi) menyarankan dimulai dengan pendekatan induktif (empiris/berbasis data), sedangkan dua fase pertama dari siklus penyelidikan White dan Frederiksen (pertanyaan dan prediksi) menyarankan deduktif (didorong oleh teori/hipotesis).

## II. Kajian E-STEM dalam Pembelajaran

Penerapan E-STEM telah dikaji dalam beberapa tahun terakhir (Tabel 3.1). Beberapa studi terkait implemetasi E-STEM pada rentang waktu sepuluh tahun yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.1 Studi terkait implemetasi E-STEM dalam pembelajaran

Referensi	Parameter Studi	Temuan Studi
Helvaci & Helvaci (2019)	Dimensi pengetahuan, sikap, dan perilaku kesadaran lingkungan; Persepsi responden terhadap proses penerapan E-STEM.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pendekatan E-STEM memiliki efek positif pada subdimensi pengetahuan, sikap, dan perilaku kesadaran lingkungan peserta. Siswa menunjukkan sikap positif terhadap disiplin E-STEM dan proses penerapannya.</li> <li>2. Pendekatan E-STEM berkontribusi pada kecenderungan untuk menunjukkan perilaku yang bermanfaat, yang merupakan kondisi terakhir dari kesadaran lingkungan. Peserta cenderung melakukan perilaku konkrit terhadap lingkungan, seperti bereaksi terhadap orang yang membuang sampah dan melakukan perilaku ramah lingkungan.</li> </ol>
Burgess & Buck (2020)	Pemahaman pre-service teacher tentang konsep STEM melalui intervensi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Intervensi E-STEM memiliki perubahan positif (komponen sikap,</li> </ol>

	STEM lingkungan berbasis inkuiri (E-STEM)	<p>perilaku, dan pengontrolan) yang signifikan secara statistik.</p> <p>2. <i>Pre-service teachers</i> merefleksikan praktik lingkungan mereka dan menunjukkan perubahan sikap yang positif terhadap perilaku konsumtif.</p>
Candan-Helvacı (2022)	Tingkat kesadaran lingkungan <i>pre-service teachers</i> IPA terhadap proses pengembangan aktivitas E-STEM	<p>1. Proses pengembangan kegiatan ESTEM memiliki dampak positif yang signifikan terhadap tingkat kesadaran lingkungan <i>pre-service teachers</i>.</p> <p>2. Terdapat perbedaan yang signifikan antara skor pretes-postes skala kesadaran lingkungan pada kelompok eksperimen yang menunjukkan bahwa proses pengembangan aktivitas berbasis pendekatan E-STEM memiliki pengaruh yang sangat kuat.</p>
Demir & Kose (2022)	Sikap siswa terhadap lingkungan siswa, minat karir pada STEM, dan persepsi terhadap rekayasa melalui aktivitas STEM di Alam.	<p>1. Kegiatan STEM di Alam berpengaruh positif terhadap sikap lingkungan siswa, minat karir STEM, dan persepsi terhadap rekayasa. Ketertarikan siswa untuk mengeksplorasi alam meningkat, kegiatan STEM di memberikan kesempatan pada siswa mendapatkan pengetahuan tentang rekayasa, jenis-jenis rekayasa, dan menyadari bahwa perempuan juga bisa menjadi insinyur.</p>
Gupta et al. (2018)	Pembelajaran sains	1. Kurikulum berbasis alam



	<p>bermakna dan komponen sosioemosional siswa melalui penerapan kurikulum berbasis alam (E-STEM)</p>	<p>(seperti E-STEM) berdampak positif pada pendidikan sains siswa K-12, pemahaman siswa tentang sains, minat mereka pada topik lingkungan, dan tindakan konservasi mereka.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Kurikulum berbasis alam membantu siswa memperoleh pemahaman holistik tentang fenomena alam yang kompleks dan pemikiran sistem, yang merupakan komponen penting dari pembelajaran sains.</li> <li>3. Kurikulum berbasis alam mempromosikan komponen sosioemosional pembelajaran sains, seperti motivasi, pengetahuan, dan perilaku yang berorientasi pada tindakan, yang sangat penting untuk keterlibatan jangka panjang siswa dengan sains.</li> </ol>
<p>Alkair et al. (2023)</p>	<p>Efektivitas model STEM dalam program pelestarian lingkungan (E-STEM). Indikator evaluasi yaitu pemahaman siswa tentang masalah lingkungan, keterampilan memecahkan masalah dan keterampilan pemecahan masalah kolaboratif (CPS)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Model STEM efektif dalam melibatkan siswa dalam program pelestarian lingkungan dan meningkatkan pemahaman mereka tentang masalah lingkungan.</li> <li>2. Penelitian juga menemukan bahwa model STEM membantu siswa memperoleh keterampilan pemecahan masalah dan keterampilan pemecahan masalah kolaboratif (CPS). Program ini efektif dalam meningkatkan kemampuan orasi, bahasa tubuh,</li> </ol>



		kepercayaan diri berbicara di depan umum, dan kosa kata siswa.
Koculu & Girgin (2022)	Pengaruh pendidikan E-STEM terhadap persepsi siswa tentang isu lingkungan dan proses rekayasa desain.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pendidikan E-STEM berdampak positif terhadap persepsi siswa terhadap masalah lingkungan, khususnya dalam hal faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, hujan asam, pencemaran tanah, dan pertanian berkelanjutan.</li> <li>2. Pendidikan E-STEM meningkatkan proses rekayasa desain siswa terkait masalah lingkungan dan cara yang efektif untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 seperti pemecahan masalah, inovasi, kreativitas dan pemikiran kritis.</li> </ol>
Yıldırım (2021)	Pendapat <i>preservice teachers</i> tentang integrasi STEM ke dalam program pendidikan lingkungan atau <i>STEM-integrated environmental education program</i> (STEM-IIEP)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. STEM-IIEP program (<i>STEM-Integrated Environmental Education Program</i>) berkontribusi pada pengembangan keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif, perkembangan teknologi, dan pengetahuan konten. Program ini juga membantu calon guru mengembangkan keterampilan profesional abad ke-21, mengintegrasikan disiplin ilmu, belajar dengan “melakukan”, dan menghubungkan pengetahuan dengan kehidupan sehari-hari.</li> <li>2. STEM-IIEP</li> </ol>



		<p>mempromosikan pembelajaran konkret, meningkatkan kesadaran, membuat calon guru lebih sadar tentang lingkungan, membantu mereka memahami pentingnya lingkungan, mengembangkan keterampilan pemecahan masalah, menghasilkan desain untuk mengatasi pencemaran lingkungan, dan mengembangkan sikap positif terhadap lingkungan.</p> <p>3. STEM-IEEP mengubah pandangan peserta tentang rekayasa lingkungan secara positif dan dapat digunakan untuk mengatasi masalah lingkungan dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan.</p>
<p>Khanaposhtani et al. (2018)</p>	<p>Pengaruh pembelajaran STEM lingkungan terhadap level keterlibatan siswa terhadap STEM topik dan interaksi siswa dengan lingkungan belajar</p>	<p>1. Terdapat tiga prinsip utama dalam mendesain kurikulum informal yang berkontribusi positif pada pengalaman belajar peserta, termasuk pengalaman langsung dengan alam, penggunaan teknologi otentik, dan aktivitas pembelajaran yang mempromosikan kerja sama tim kolaboratif untuk membangun pemahaman konseptual yang mendalam tentang berbagai aspek topik <b>STEM lingkungan</b> dan menumbuhkan minat dalam konteks penyelidikan sains.</p> <p>2. Pemahaman konseptual peserta terhadap ekologi <i>soundscape</i> meningkat</p>



		secara signifikan setelah mengikuti <i>camp program</i> .
--	--	---

## B. KESIMPULAN

Penerapan model pembelajaran yang tepat dan teknologi sebagai alat bantu pada pembelajaran E-STEM dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan peserta didik secara komprehensif dalam menemukan solusi yang lebih baik terhadap permasalahan di dunia nyata.

## C. DAFTAR PUSTAKA

- Alkair, S., Ali, R., Abouhashem, A., Aledamat, R., Bhadra, J., Ahmad, Z., Sellami, A., & Al-Thani, N. J. (2023). A STEM Model for Engaging Students in Environmental Sustainability Programs Through A Problem-solving Approach. *Applied Environmental Education & Communication*, 1-14.
- Bauer, A. T., & Ahooei, E. M. (2018). Rearticulating Internet Literacy. *Journal of Cyberspace Studies*, 2(1), 29–53.
- Burgess, A., & Buck, G. A. (2020). Inquiring into environmental STEM: Striving for An Engaging Inquiry-based E-STEM experience for Pre-service Teachers. *Critical questions in STEM education*, 61-84.
- Candan-Helvacı, S. (2022). Investigation of the effect of preservice science teachers' E→STEM activity development processes on environmental awareness levels: Preservice science teachers' E→STEM activities. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 14(3), 1767-1785.
- Clark, S., Petersen, J. E., Frantz, C. M., Roose, D., Ginn, J., & Rosenberg Daneri, D. (2017). Teaching systems thinking to 4th and 5th graders using Environmental Dashboard display technology. *PloS one*, 12(4), e0176322.
- Davies, R. S. (2011). Understanding technology literacy: A framework for evaluating educational technology integration. *TechTrends*, 55, 45-52.
- Demir, H. & Kose, M. (2022). Effects of STEM Activities in Nature on Students' Environmental Attitudes, STEM Career Interests, and Engineering Perceptions. *Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH)*, 8(4), 347-364.
- Diana, N., Yohannes., & Sukma, Y. (2020). The Effectiveness of Implementing Project-based Learning (PjBL) Models in STEM Education: A Literature Review. *In Journal of Physics: Conference Series*. 1882(1).
- Griese, B., Lehmann, M., & Roesken-Winter, B. (2015). Refining Questionnaire-based Assessment of STEM Students' Learning Strategies. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 12.

- Gupta, R., LaMarca, N., Rank, S. J., & Flinner, K. (2018). The environment As A Pathway To Science Learning for K–12 Learners—A Case Study of The E-STEM Movement. *Ecopsychology*, 10(4), 228-242.
- Guzey, S. S., Harwell, M., Moreno, M., Peralta, Y., & Moore, T. J. (2017). The Impact of Design-based STEM Integration Curricula on Students Achievements in Engineering, Science, and Mathematics. *Journal of Science Education and Technology*, 26(2), 207-222.
- Han, S., Capraro, R., & Capraro, M. M. (2015). How Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Project-based Learning (PjBL) Affects High, Middle, and Low Achievers Differently: The Impact of Student Factors on Achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(5), 1089-1113.
- Helvaci, S. C., & Helvaci, I. (2019). An Interdisciplinary Environmental Education Approach: Determining the Effects of E-STEM Activity on Environmental Awareness. *Universal Journal of Educational Research*, 7(2), 337-346.
- Kaya, V. H., & Elster, D. (2019). Environmental Science, Technology, Engineering, and Mathematics Pedagogical Content Knowledge: Teacher's Professional Development as Environmental Science, Technology, Engineering, and Mathematics Literate Individuals in The Light of Experts' Opinions. *Science Education International*, 30(1).
- Khanaposhtani, M.G., Liu, C. J., Gottesman, B. L., Shepardson, D., & Pijanowski, B. (2018). Evidence That An Informal Environmental Summer Camp Can Contribute to The Construction of The Conceptual Understanding and Situational Interest of STEM In Middle-School Youth. *International Journal of Science Education, Part B*, 8(3), 227-249.
- Koculu, A., & Girgin, S. 2022. The Effect of E-STEM Education on Students' Perceptions and Engineering Design Process about Environmental Issues. *World Journal of Education*, 12(6), 49-55.
- Krasny, M. E. (2020). *Advancing environmental education practice*. Cornell University Press.
- Moore, T. J., & Smith, K. A. (2014). Advancing The State of The Art of STEM Integration. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 15(1).
- Muhali, M. (2019). Pembelajaran Inovatif Abad ke-21. *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: E-Saintika*, 3(2), 25-50.
- Nyambane, C. O., & Nzuki, D. (2014). Factors Influencing ICT Integration in Teaching - A Literature Review. *International Journal of Education and Research*, 2(3), 1–17.



- Permanasari, A., Rubini, B., & Nugroho, O. F. (2021). STEM Education in Indonesia: Science Teachers' and Students' Perspectives. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 2(1), 7-16.
- Purwitha, D.G. (2020). Model Pembelajaran *Flipped Calssroom* sebagai Pembelajaran Inovatif Abad 21. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 5(1), 49–55.
- Puspitasari, Y., & Nurhayati, S. (2019). Pengaruh Model Pembelajaran *Discovery Learning* Terhadap Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Pendidikan dan Kewirausahaan*, 7(1), 93–108.
- Rusyati, R., Permanasari, A., & Ardianto, D. (2019). Rekonstruksi Bahan Ajar Berbasis STEM untuk Meningkatkan Literasi Sains dan Teknologi Siswa pada Konsep Kemagnetan. *Jurnal Pendidikan dan Praktik Sains*, 2(2), 22-10.
- Sari, I.K. (2021). *Blended Learning* sebagai Alternatif Model Pembelajaran Inovatif di Masa Post-Pandemi di Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 5(4), 2156-2163.
- Schaefer, L. (2022). The Influence of Significant Life Experiences on the Teaching Practices of Early Childhood Educators in Traditional and Nature-Based Preschools. *International Journal of Early Childhood Environmental Education*, 9(3), 39-48.
- Quigley, C. F., & Herro, D. (2016). “Finding The Joy in The Unknown”: Implementation of STEAM Teaching Practices in Middle School Science and Math Classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 410-426.
- Willis, J., Weiser, B., & Kirkwood, D. (February, 2015). Bridging the gap: Integrating Technology and Environmental Education. Retrieved from <https://naturalstart.org/feature-stories/bridging-gap-integrating-technology-and-environmental-education>
- Yeşilyurt, E., & Vezne, R. (2022). Digital Literacy, Technological Literacy, and Internet Literacy as Predictors of Attitude Toward Applying Computer-supported Education. *Education and Information Technologies*, 1-27.
- Yıldırım, B. (2021). Integration of STEM into Environmental Education: Preservice Teachers' Opinions. *Journal of STEM Teacher Institutes*, 1(1), 50-57.
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM Literacy: STEM Literacy for Learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12-19.