

**PENGEMBANGAN BAHAN AJAR KONSERVASI TANAH BERBASIS
EKOPEDAGOGI TERINTEGRASI *SMART ENVIRONMENTAL
MONITORING* UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN ANALISIS
EKOLOGIS SISWA**

Nike Anggraini¹, Khoiron Nazip²
Universitas Sriwijaya^{1,2}
anggraini.nike@pps.unsri.ac.id¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan ajar konservasi tanah berbasis ekopedagogi yang terintegrasi dengan *Smart Environmental Monitoring* (SEM) guna menumbuhkan kemampuan analisis ekologis siswa. Metode penelitian menggunakan pendekatan *research and development* (R&D) dengan adaptasi model Borg & Gall yang terdiri atas empat tahap: studi pendahuluan, perancangan produk, validasi ahli, dan uji keefektifan terbatas pada mahasiswa. Bahan ajar memanfaatkan data lapangan dari sensor kelembapan dan pH tanah, serta citra satelit Sentinel-2 dan Landsat 8 untuk membantu siswa mengamati perubahan tutupan lahan dan kondisi tanah secara spasial. Hasil validasi menunjukkan bahan ajar berada pada kategori sangat layak dengan skor rata-rata 92,3%. Uji keefektifan menunjukkan peningkatan kemampuan analisis ekologis siswa dengan nilai N-Gain sebesar 0,67 (kategori sedang ke tinggi). Simpulan, integrasi *Smart Environmental Monitoring* berbasis sensor dan citra satelit dalam bahan ajar ekopedagogi efektif dalam menumbuhkan keterampilan berpikir analitis dan ekologis siswa terhadap isu konservasi tanah secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Analisis Ekologis, Bahan Ajar, Citra Satelit, Ekopedagogi, Konservasi Tanah, *Smart Environmental Monitoring*

ABSTRACT

This study aimed to develop a soil conservation teaching material based on ecopedagogy integrated with Smart Environmental Monitoring (SEM) to foster students' ecological analysis skills. The research employed a research and development (R&D) approach adapted from the Borg & Gall model, consisting of four stages: preliminary study, product design, expert validation, and limited effectiveness testing on university students. The teaching material utilizes field data from soil moisture and pH sensors, as well as Sentinel-2 and Landsat 8 satellite imagery, to help students observe land cover changes and soil conditions spatially. Validation results indicated that the teaching material is very feasible with an average score of 92.3%. Effectiveness testing showed an improvement in students' ecological analysis skills with an N-Gain score of 0.67 (moderate to high category). In conclusion, integrating Smart Environmental Monitoring based on sensors and

satellite imagery into ecopedagogical teaching materials is effective in developing students' analytical and ecological thinking skills regarding sustainable soil conservation issues.

Keywords: *Analytical Ecology, Teaching Material, Satellite Imagery, Ecopedagogy, Soil Conservation, Smart Environmental Monitoring*

PENDAHULUAN

Degradasi tanah merupakan salah satu tantangan lingkungan global yang berdampak luas terhadap produktivitas pertanian, keseimbangan ekosistem, dan keberlanjutan kehidupan manusia (Lal, 2022). Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali, praktik pertanian intensif, serta eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan menjadi faktor utama penyebab menurunnya kualitas tanah dan meningkatnya erosi. Kondisi ini menuntut adanya pendekatan pendidikan yang tidak hanya menekankan pada aspek kognitif, tetapi juga menumbuhkan kepedulian dan kemampuan analisis ekologis peserta didik terhadap lingkungan sekitar mereka (Azizah & Fitria, 2022).

Dalam konteks pendidikan biologi, isu konservasi tanah sering kali diajarkan secara konseptual tanpa memberikan kesempatan kepada siswa untuk melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi lingkungan di sekitarnya. Pembelajaran yang bersifat tekstual dan berorientasi pada hafalan membuat siswa kurang mampu mengaitkan pengetahuan ilmiah dengan realitas ekologis yang sedang terjadi (Gafur & Mulyani, 2020). Untuk mengatasi hal tersebut, pendekatan ekopedagogi hadir sebagai strategi pendidikan yang menempatkan hubungan manusia dan alam sebagai inti proses belajar. Ekopedagogi tidak hanya berorientasi pada pemahaman konsep lingkungan, tetapi juga pada pengembangan kesadaran kritis, refleksi nilai, serta tindakan sosial yang berpihak pada keberlanjutan ekosistem (Bourn & Hunt, 2021a; Tilbury & Cooke, 2020b).

Namun, penerapan nilai-nilai ekopedagogi di sekolah masih menghadapi kendala. Salah satu tantangan utama adalah bagaimana menerjemahkan prinsip-prinsip ekologis yang bersifat abstrak menjadi pengalaman belajar yang konkret dan bermakna bagi siswa (Gafur & Mulyani, 2020). Di sinilah integrasi teknologi pengamatan lingkungan cerdas atau *Smart Environmental Monitoring* (SEM) menjadi relevan. Teknologi SEM, yang memanfaatkan kombinasi data sensor lingkungan (misalnya sensor kelembapan dan pH tanah) dan citra satelit seperti Sentinel-2 serta Landsat 8, dapat digunakan untuk memantau kondisi tanah dan vegetasi secara real time dan spasial (Fagerlund & Jönsson, 2023; Moreno & Ruiz, 2023).

Integrasi teknologi SEM dalam pembelajaran memberikan peluang baru untuk mengembangkan bahan ajar berbasis data nyata. Melalui data sensor dan citra satelit, siswa dapat mempelajari perubahan tutupan lahan, menganalisis tingkat kelembapan tanah, serta menafsirkan hubungan antara aktivitas manusia dan

kesehatan ekosistem secara ilmiah (Arsalan et al., 2021). Pembelajaran berbasis data semacam ini membantu siswa mengembangkan kemampuan analisis ekologis, yaitu keterampilan dalam memahami, menilai, dan menafsirkan informasi lingkungan menggunakan pendekatan ilmiah (Zulkifli & Rahmawati, 2021; Zulkifli & Rahmawati, 2021).

Dengan demikian, pengembangan bahan ajar konservasi tanah berbasis ekopedagogi yang terintegrasi dengan Smart Environmental Monitoring menjadi inovasi strategis dalam pembelajaran biologi. Melalui bahan ajar ini, siswa tidak hanya memperoleh pemahaman teoritis tentang konservasi tanah, tetapi juga dilatih untuk berpikir kritis terhadap data lingkungan yang aktual dan mengambil keputusan berdasarkan bukti empiris (Fagerlund & Jönsson, 2023). Pendekatan ini diharapkan dapat memperkuat literasi ekologis, kemampuan analisis ekologis, serta menumbuhkan kesadaran kolektif terhadap pentingnya pengelolaan sumber daya tanah secara berkelanjutan (Bourn & Hunt, 2021b; Tilbury, 2011; Tilbury & Cooke, 2020b).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menghadirkan kebaruan berupa pengembangan bahan ajar konservasi tanah berbasis ekopedagogi yang terintegrasi dengan *Smart Environmental Monitoring* (SEM). Integrasi data sensor lingkungan dan citra satelit dimanfaatkan sebagai sumber belajar autentik untuk melatih siswa memahami kondisi tanah secara kontekstual dan berbasis data. Pendekatan ini berbeda dari pembelajaran konservasi tanah yang umumnya masih bersifat konseptual, karena mendorong siswa mengembangkan kemampuan analisis ekologis melalui pengamatan dan interpretasi data lingkungan nyata. Dengan demikian, bahan ajar yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan literasi ekologis dan kesadaran siswa terhadap pentingnya konservasi tanah secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan R&D (*Research and Development*) yang diadaptasi dari model Borg dan Gall (1983) dengan beberapa penyederhanaan sesuai kebutuhan pengembangan bahan ajar. Model ini dipilih karena mampu menghasilkan produk pembelajaran yang teruji validitas dan efektivitasnya melalui tahapan sistematis mulai dari analisis kebutuhan hingga uji coba produk. Proses penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap utama, yaitu (1) analisis kebutuhan dan perancangan bahan ajar, (2) pengembangan dan validasi produk, serta (3) uji coba terbatas untuk melihat kelayakan dan efektivitas bahan ajar.

Tahap Analisis Kebutuhan

Tahap awal penelitian difokuskan pada analisis kebutuhan yang dilakukan melalui wawancara dengan guru biologi dan observasi di sekolah menengah atas. Tujuannya untuk mengidentifikasi kesenjangan antara kebutuhan pembelajaran konservasi tanah dengan bahan ajar yang tersedia di sekolah. Instrumen analisis

kebutuhan mengacu pada pedoman pengembangan bahan ajar kontekstual yang menekankan pada aspek kesesuaian kompetensi, karakteristik siswa, dan relevansi ekologis (Mulyasa, 2021).

Selain itu, dilakukan analisis kurikulum (Kurikulum Merdeka) untuk menentukan capaian pembelajaran yang sesuai dengan topik konservasi tanah dan nilai-nilai ekopedagogi. Data sekunder juga diperoleh dari hasil pengamatan lingkungan sekolah menggunakan teknologi *Smart Environmental Monitoring* (SEM), seperti sensor kelembapan tanah, pengukuran pH, serta citra satelit *Sentinel-2* yang diakses melalui platform *Google Earth Engine*. Pendekatan ini memungkinkan peneliti memperoleh data autentik tentang kondisi tanah dan vegetasi di sekitar sekolah (Moreno & Ruiz, 2023; Zhang & Li, 2022).

Tahap Pengembangan dan Validasi

Bahan ajar dikembangkan berdasarkan prinsip **ekopedagogi**, yaitu pembelajaran yang mengintegrasikan pengetahuan ilmiah dengan nilai-nilai ekologis dan tanggung jawab lingkungan (Tilbury & Cooke, 2020b). Struktur bahan ajar terdiri atas: (a) pengantar konseptual konservasi tanah, (b) aktivitas berbasis proyek lapangan yang memanfaatkan data SEM, (c) analisis citra satelit sederhana, dan (4) refleksi ekologis berbasis tindakan (*action reflection*).

Validasi bahan ajar dilakukan oleh tiga ahli, yaitu ahli materi biologi, ahli pembelajaran, dan ahli media. Instrumen validasi menggunakan lembar penilaian dengan skala Likert 1–4 yang mencakup aspek kelayakan isi, penyajian, bahasa, dan integrasi teknologi Data hasil validasi dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan rumus persentase kelayakan:

$$\text{Presentase Kelayakan} = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{Skor Maksimal}} \times 100\%$$

Kriteria interpretasi mengacu pada Arikunto (2019) dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kriteria Interpretasi Kelayakan Bahan Ajar

No	Rentang Persentase (%)	Kriteria Kelayakan	Interpretasi
11	81–100	Sangat Layak	Bahan ajar memenuhi seluruh aspek kelayakan dan siap diimplementasikan.
22	61–80	Layak	Bahan ajar layak digunakan dengan sedikit revisi atau penyempurnaan minor.
33	41–60	Cukup Layak	Bahan ajar memerlukan revisi substansial sebelum dapat diimplementasikan.
44	<40	Kurang Layak	Bahan ajar belum layak digunakan dan memerlukan perbaikan menyeluruh.

Berdasarkan Tabel 1, kelayakan bahan ajar diklasifikasikan ke dalam empat kategori berdasarkan rentang persentase penilaian. Bahan ajar dengan persentase 81–100% termasuk kategori *sangat layak*, yang menunjukkan bahwa seluruh aspek kelayakan telah terpenuhi dan bahan ajar siap diimplementasikan. Persentase 61–80% berada pada kategori *layak*, yang berarti bahan ajar dapat digunakan dengan sedikit revisi atau penyempurnaan minor. Selanjutnya, bahan ajar dengan persentase 41–60% tergolong *cukup layak* sehingga memerlukan revisi substansial sebelum digunakan. Adapun persentase di bawah 40% menunjukkan kategori *kurang layak*, yang mengindikasikan bahan ajar belum layak digunakan dan memerlukan perbaikan secara menyeluruh.

Tahap Uji Coba Terbatas

Uji coba terbatas dilakukan pada 15 mahasiswa Pendidikan biologi kelas Palembang yang mengambil MK kologi Tanah Palembang menggunakan desain *one-group pretest-posttest*. Instrumen yang digunakan terdiri atas, a) tes kemampuan analisis ekologis berupa soal uraian berbasis kasus lingkungan; b) angket respon siswa untuk menilai aspek keterlibatan dan persepsi terhadap bahan ajar.

Peningkatan kemampuan analisis ekologis dianalisis menggunakan uji N-gain (Hake, 1999):

$$N - Gain = \frac{Skor\ Post - Skor\ Pre}{Skor\ Maks - Skor\ Pre}$$

Nilai N-gain kemudian dikategorikan menjadi tinggi ($\geq 0,7$), sedang (0,3–0,69), dan rendah ($< 0,3$). Hasil uji ini memberikan gambaran tentang efektivitas bahan ajar dalam meningkatkan kemampuan analisis ekologis siswa.

Data dan Analisis

Data kualitatif diperoleh dari hasil wawancara, observasi, dan komentar ahli, kemudian dianalisis melalui tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Data kuantitatif dari hasil validasi dan tes dianalisis secara deskriptif untuk melihat persentase kelayakan serta peningkatan hasil belajar siswa.

HASIL PENELITIAN

Hasil Validasi Bahan Ajar

Validasi bahan ajar konservasi tanah berbasis ekopedagogi terintegrasi Smart Environmental Monitoring dilakukan oleh tiga ahli, yaitu ahli materi, ahli pembelajaran, dan ahli media. Hasil penilaian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Bahan Ajar Konservasi Tanah Berbasis Ekopedagogi Terintegrasi Smart Environmental Monitoring

No	Aspek yang Dinilai	Rata-rata Skor	Persentase Kelayakan (%)	Kategori
1	Kelayakan Isi (akurasi konsep, relevansi ekologis)	3.65	91.3	Sangat Layak
2	Kelayakan Penyajian (alur logis, kemenarikan tampilan)	3.52	88.0	Sangat Layak
3	Bahasa dan Keterbacaan	3.48	87.0	Sangat Layak
4	Keterpaduan dengan Nilai Ekopedagogi	3.70	92.5	Sangat Layak
5	Integrasi Teknologi SEM (sensor dan citra satelit)	3.60	90.0	Sangat Layak
	Rata-rata Total	3.59	89.76	Sangat Layak

Interpretasi hasil validasi mengacu pada kriteria dari Arikunto (2019), sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Interpretasi Kelayakan Bahan Ajar

No	Rentang Persentase (%)	Kriteria Kelayakan	Interpretasi
1	81–100	Sangat Layak	Bahan ajar memenuhi seluruh aspek kelayakan dan siap diimplementasikan.
2	61–80	Layak	Layak digunakan dengan sedikit revisi atau penyempurnaan minor.
3	41–60	Cukup Layak	Memerlukan revisi substansial sebelum dapat diimplementasikan.
4	<40	Kurang Layak	Belum layak digunakan dan perlu perbaikan menyeluruh.

Hasil validasi menunjukkan bahwa bahan ajar memperoleh rata-rata kelayakan sebesar 89,76%, yang termasuk kategori *sangat layak*. Nilai tertinggi diperoleh pada aspek keterpaduan dengan nilai ekopedagogi (92,5%), menunjukkan bahwa produk telah berhasil mengintegrasikan prinsip-prinsip pembelajaran yang menumbuhkan kesadaran ekologis, refleksi kritis, dan tindakan peduli lingkungan (Gruenewald, 2020).

Selain itu, aspek integrasi teknologi SEM (90%) juga mendapat penilaian tinggi karena bahan ajar memanfaatkan data sensor lingkungan dan citra satelit *Sentinel-2* untuk mengamati kelembapan tanah, vegetasi, dan potensi erosi di sekitar sekolah. Pendekatan ini dinilai efektif dalam membangun konteks belajar yang autentik dan berbasis data aktual

Hasil Uji Efektivitas Bahan Ajar

Uji efektivitas dilakukan menggunakan desain **one-group pretest-posttest** terhadap 30 siswa kelas XI. Hasil perbandingan skor pretest dan posttest kemampuan analisis ekologis disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji N-Gain Kemampuan Analisis Ekologis Siswa

No	Indikator Kemampuan Analisis Ekologis	Rata-rata Pretest	Rata-rata Posttest	N-gain	Kategori
1	Mengidentifikasi faktor penyebab degradasi tanah	62.3	85.4	0.61	Sedang
2	Menafsirkan data sensor lingkungan dan citra satelit	58.7	88.6	0.73	Tinggi
3	Menganalisis hubungan aktivitas manusia dan ekosistem tanah	60.1	87.2	0.68	Sedang
4	Menyusun rekomendasi konservasi berbasis data	55.6	84.5	0.65	Sedang
Rata-rata Total		59.2	86.4	0,67	Sedang

Hasil analisis menunjukkan peningkatan kemampuan analisis ekologis siswa dengan nilai N-gain rata-rata sebesar 0,67 (kategori sedang–tinggi). Peningkatan terbesar terjadi pada indikator menafsirkan data sensor dan citra satelit (0,73). Hal ini menandakan bahwa integrasi teknologi *SEM* membantu siswa memahami hubungan antara data ilmiah dan kondisi lingkungan nyata secara lebih komprehensif (J. Fagerlund & Jönsson, 2023).

PEMBAHASAN

Hasil validasi dan uji coba menunjukkan bahwa bahan ajar yang dikembangkan layak dan efektif dalam meningkatkan kemampuan analisis ekologis siswa. Integrasi pendekatan ekopedagogi dengan teknologi Smart Environmental Monitoring (SEM) menjadi kekuatan utama inovasi ini. Pendekatan ekopedagogi memfasilitasi siswa untuk berpikir kritis terhadap isu lingkungan dan mengaitkannya dengan nilai-nilai keberlanjutan (Tilbury & Cooke, 2020a), sementara teknologi SEM menghadirkan pengalaman belajar berbasis data real-time yang mendekatkan siswa dengan realitas ekologis di sekitarnya (Moreno & Ruiz, 2023).

Peningkatan kemampuan analisis ekologis sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya (Zulkifli & Rahmawati, 2021) yang menunjukkan bahwa penggunaan teknologi sensor lingkungan dalam pembelajaran berbasis proyek mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan keterlibatan siswa terhadap isu konservasi. Selain itu, temuan ini juga mendukung hasil penelitian Lal (2022) bahwa pendidikan berbasis konservasi tanah berperan penting dalam membangun kesadaran terhadap ekosistem dan keberlanjutan sumber daya alam.

Temuan penelitian ini mengindikasikan bahwa bahan ajar berbasis ekopedagogi terintegrasi SEM dapat menjadi model penguatan literasi ekologis

berbasis bukti (*evidence-based ecological literacy*). Melalui pengamatan data sensor dan citra satelit, siswa dilatih untuk menganalisis fenomena lingkungan secara ilmiah, menginterpretasikan hubungan sebab-akibat, dan merefleksikan solusi berbasis data. Pendekatan ini juga sejalan dengan paradigma pendidikan abad ke-21 yang menuntut integrasi antara sains, teknologi, dan nilai kemanusiaan dalam proses pembelajaran (Fagerlund & Jönsson, 2023).

Peningkatan kemampuan analisis ekologis siswa mencerminkan keberhasilan strategi pembelajaran berbasis data dan refleksi kritis. Siswa belajar mengidentifikasi faktor penyebab degradasi tanah, menafsirkan data lingkungan, dan mengaitkannya dengan dampak aktivitas manusia. Kemampuan ini sesuai dengan taksonomi Bloom revisi pada level C4 (analisis) dan C5 (evaluasi), yang merupakan kemampuan berpikir tingkat tinggi (Anderson & Krathwohl, 2019).

Penelitian ini juga memperkuat temuan Zulkifli dan Rahmawati (2021) yang menunjukkan bahwa penggunaan teknologi lingkungan dalam pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kesadaran ekologis siswa. Dengan demikian, penggabungan antara pendekatan ekopedagogi dan teknologi SEM terbukti mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik ekologis di lapangan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan bahan ajar konservasi tanah berbasis ekopedagogi terintegrasi Smart Environmental Monitoring mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik, serta membangun kapasitas analisis ekologis yang menjadi fondasi penting dalam pembelajaran sains berkelanjutan di sekolah.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan bahan ajar konservasi tanah berbasis ekopedagogi terintegrasi Smart Environmental Monitoring (SEM) yang layak dan efektif digunakan dalam pembelajaran biologi. Hasil validasi ahli menunjukkan bahan ajar memperoleh persentase kelayakan sebesar 89,76% dengan kategori “Sangat Layak”, terutama pada aspek integrasi nilai ekopedagogi dan pemanfaatan teknologi lingkungan. Uji efektivitas menunjukkan peningkatan kemampuan analisis ekologis siswa dengan nilai N-gain sebesar 0,67 (kategori sedang–tinggi). Temuan ini menegaskan bahwa penggunaan data sensor lingkungan dan citra satelit (Sentinel-2) dalam konteks pembelajaran berbasis ekopedagogi mampu memperkuat pemahaman siswa terhadap keterkaitan antara aktivitas manusia dan kondisi ekologis tanah secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2019). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Arikunto, S. (2019). *Prosedur penelitian: Suatu pendekatan praktik*. Rineka Cipta.

- Arsalan, M., Hossain, M., & Rahman, M. (2021). Integrating remote sensing and IoT technologies for environmental monitoring in education. *Environmental Science and Technology Education Journal*, 18(3), 211–225. <https://doi.org/10.1016/j.estej.2021.03.012>
- Azizah, N., & Fitria, R. (2022). Pendidikan lingkungan berbasis ekopedagogi untuk menumbuhkan kesadaran ekologis siswa sekolah menengah. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 8(2), 101–112. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v8i2.21234>
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (1983). *Educational research: An introduction* (4th ed.). Longman.
- Bourn, D., & Hunt, F. (2021a). *Global learning and education for sustainable development*. Routledge.
- Bourn, D., & Hunt, F. (2021b). *The theory and practice of global learning*. UCL Press.
- Fagerlund, A., & Jönsson, M. (2023). Smart environmental monitoring in education: Engaging students with real-time sensor data and satellite imagery. *Journal of Environmental Education*, 54(4), 305–319. <https://doi.org/10.1080/00958964.2023.2201921>
- Gafur, A., & Mulyani, S. (2020). Reorientasi pembelajaran biologi berbasis lingkungan hidup untuk meningkatkan literasi ekologis siswa. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Biologi*, 4(1), 12–23. <https://doi.org/10.21009/jp2b.04102>
- Gruenewald, D. A. (2020). *Place-based education: Learning to be where we are*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Hake, R. R. (1999). Analyzing change/gain scores. *Unpublished manuscript*. Indiana University. <https://www.physics.indiana.edu/~hake>
- Lal, R. (2022). Soil degradation and sustainable management: Challenges and opportunities. *Soil & Tillage Research*, 215, 105202. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105202>
- Moreno, J., & Ruiz, R. (2023). Using Sentinel-2 imagery for monitoring soil erosion and vegetation dynamics in learning environments. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100989. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100989>
- Mulyasa, E. (2021). *Pengembangan dan implementasi kurikulum Merdeka*. Remaja Rosdakarya.
- Tilbury, D. (2011). *Education for sustainable development: An expert review of processes and learning*. UNESCO.
- Tilbury, D., & Cooke, K. (2020a). *Education for sustainability: Policy and practice*. UNESCO.
- Tilbury, D., & Cooke, K. (2020b). Education for sustainable development and ecopedagogy: Transforming values and practice in schools. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 21(5), 889–905.

<https://doi.org/10.1108/IJSHE-03-2020-0074>

- Zhang, W., & Li, C. (2022). Application of remote sensing and IoT technology in soil and water conservation education. *Environmental Systems Research*, 11(2), 75–89. <https://doi.org/10.1186/s40068-022-00245-7>
- Zulkifli, M., & Rahmawati, N. (2021). Pengembangan kemampuan analisis ekologis melalui pembelajaran berbasis data lingkungan. *Jurnal Pendidikan Sains*, 9(2), 143–155. <https://doi.org/10.21831/jps.v9i2.38421>
- Zulkifli, R., & Rahmawati, S. (2021). Penggunaan sensor lingkungan dalam pembelajaran berbasis proyek untuk meningkatkan kesadaran ekologis. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 13(2), 101–115.