
**PENDIDIKAN SAINS TRANSFORMATIF: TINJAUAN SISTEMATIS
PEMBELAJARAN BERBASIS AKSI DALAM *EDUCATION FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT* (ESD) DI SEKOLAH****Real Fandi*, Imroatun Nadifah¹, Yuni Nisa Widiyanti¹Asri Widowati¹**¹Magister Pendidikan Sains, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta

2

*Email korespondensi: realfandi123@mail.com**ABSTRAK**

Integrasi *Education for Sustainable Development* (ESD) ke dalam pendidikan sains formal merupakan tantangan yang masih kurang dikaji secara empiris, khususnya terkait mekanisme di mana pendekatan pedagogis berbasis aksi dapat menghasilkan peningkatan kompetensi yang terukur dan perubahan perilaku berkelanjutan pada peserta didik. *Systematic review* ini bertujuan mensintesis bukti empiris internasional mengenai peran guru dalam memfasilitasi ESD berbasis aksi pada pendidikan sains tingkat sekolah, dengan perhatian khusus pada integrasi kurikulum, struktur dukungan institusional, dan dampak keberlanjutan jangka panjang. Menggunakan panduan PRISMA 2020, pencarian terstruktur dilakukan pada *Scopus*, *Web of Science*, dan *Education Resources Information Center* (ERIC), menghasilkan 311 rekaman awal. Setelah penyaringan multi-tahap terhadap kriteria inklusi-eksklusi yang telah ditetapkan, 14 artikel dipertahankan untuk sintesis tematik dengan penilaian kualitas menggunakan *Mixed Methods Appraisal Tool* (MMAT). Analisis tematik mengidentifikasi empat domain konvergen: (1) integrasi kurikulum dan relevansi kontekstual; (2) ESD berbasis aksi sebagai mekanisme pengembangan keterampilan abad ke-21; (3) peran guru dan dukungan institusional; serta (4) transformasi perilaku berkelanjutan jangka panjang. Temuan menunjukkan bahwa ESD berbasis aksi terbukti efektif mengembangkan berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan empati siswa sekaligus memfasilitasi internalisasi perilaku berkelanjutan jangka panjang apabila didukung kebijakan institusional yang memadai. Disparitas signifikan ditemukan antara implementasi ESD di sekolah swasta dan negeri, serta *self-efficacy* guru sangat rentan terhadap regresi tanpa pengembangan profesional yang tertanam dalam praktik.

Kata kunci: ESD; pembelajaran berbasis aksi; pendidikan sains; peran guru; perilaku berkelanjutan

PENDAHULUAN

Tantangan pendidikan global abad ke-21 semakin dipengaruhi oleh krisis sosioekologis yang mendesak, percepatan perubahan iklim, dan degradasi lingkungan yang bersifat sistemik. Berbagai tantangan yang saling berkaitan tersebut tidak hanya menuntut respons dalam bentuk kebijakan dan teknologi, tetapi juga memerlukan transformasi mendasar dalam paradigma pendidikan (UNESCO, 2017). Dalam konteks ini, *Education for Sustainable Development* (ESD) hadir sebagai kerangka yang relevan untuk menjawab tantangan tersebut, yang dipahami sebagai sistem pembelajaran yang mengintegrasikan dimensi lingkungan, sosial, dan ekonomi guna membentuk individu yang mampu mengambil serta mewujudkan keputusan yang berkelanjutan (Lavanya & Saraswathi, 2014).

Meskipun ESD semakin diakomodasi dalam berbagai kebijakan global, termasuk Tujuan Pembangunan Berkelanjutan 4 (SDG 4) UNESCO dan kerangka *ESD for 2030*, masih terdapat kesenjangan yang signifikan antara kebijakan dan praktik di kelas. Implementasi prinsip ESD dalam pembelajaran sains yang kontekstual dan bermakna masih menjadi tantangan yang kompleks, khususnya pada jenjang pendidikan dasar dan menengah (Hogan & O'Flaherty, 2021; Sinakou et al., 2022). Dalam hal ini, guru memiliki peran strategis sebagai fasilitator, agen perubahan, sekaligus mediator kurikulum yang menentukan sejauh mana ESD dapat diintegrasikan secara efektif dalam pembelajaran (Chaaban et al., 2023; Timm & Barth, 2021).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kompetensi guru menjadi faktor kunci dalam keberhasilan implementasi ESD. Fischer et al. (2022) dalam tinjauan sistematis terhadap 158 publikasi menemukan bahwa penelitian pendidikan guru dalam konteks ESD berkembang pesat, namun masih didominasi oleh konteks negara Barat dan belum banyak merepresentasikan negara *Global South*. Sejalan dengan itu, Ferguson et al. (2021) melalui survei terhadap 296 guru sekolah menengah di Jamaika menunjukkan bahwa perspektif guru terhadap pembangunan berkelanjutan sangat memengaruhi pendekatan pedagogis yang digunakan dalam pembelajaran. Selain itu, Nousheen et al. (2020) juga menegaskan bahwa program pendidikan guru yang dirancang secara khusus untuk ESD mampu meningkatkan sikap dan kesiapan guru pra-jabatan dalam mengimplementasikan pembelajaran berbasis keberlanjutan.

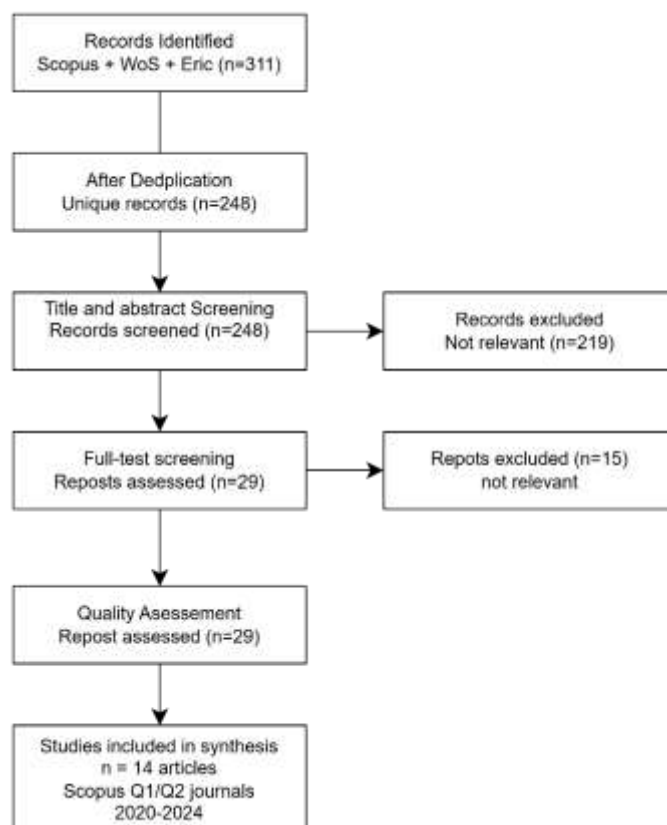
Pendekatan pembelajaran berbasis aksi dinilai sebagai salah satu strategi pedagogis yang paling menjanjikan dalam implementasi ESD. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada penyampaian pengetahuan, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif siswa melalui proyek lingkungan nyata, pemecahan masalah berbasis komunitas, serta kegiatan inkuiri kolaboratif (Sinakou et al., 2022). Pendekatan tersebut diyakini mampu mendorong internalisasi nilai dan perilaku prolingkungan secara lebih berkelanjutan (Grund & Brock, 2020; Olsson et al., 2022). Namun demikian, Waltner et al. (2020) menekankan bahwa meskipun guru memiliki pemahaman teoritis yang cukup terkait ESD, kesenjangan antara pengetahuan dan praktik di lapangan masih cukup besar dan memerlukan perhatian secara sistemik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas ESD berbasis aksi dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21 dalam pembelajaran sains, mengkaji peran guru serta dukungan institusional dalam memfasilitasi implementasi ESD, menilai dampak jangka panjang ESD berbasis aksi terhadap perubahan perilaku berkelanjutan siswa, serta mengidentifikasi berbagai hambatan dan merumuskan rekomendasi strategis bagi pengambil kebijakan dan lembaga pendidikan.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang dipandu oleh kerangka *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* 2020 (PRISMA 2020) (Page et al., 2021). Metode SLR dipilih untuk memastikan sintesis bukti yang transparan, dapat direplikasi, dan sistematis mengenai peran guru dalam ESD berbasis aksi pada pendidikan sains.



Gambar 1. Diagram PRISMA

Strategi Pencarian dan Basis Data

Pencarian sistematis dilakukan antara 26 September hingga 16 Oktober 2025 pada tiga basis data akademik internasional yaitu *Scopus*, *Web of Science* (WoS), dan *Education Resources Information Center* (ERIC). *String* pencarian *Boolean* berikut diterapkan: ("Teacher Role" OR "Teacher Competence") AND ("Education for Sustainable Development" OR "ESD") AND ("Science Education") AND ("Action-Based" OR "Transformative" OR "Sustainability"). Pencarian dibatasi pada artikel 2014–2025 dari jurnal terindeks Scopus Q1 atau Q2.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Artikel disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan sebelumnya seperti tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Seleksi Artikel

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Jenis publikasi	Artikel ilmiah <i>peer-reviewed</i> empiris/teoritis	Bab buku, abstrak konferensi, literatur abu-abu
Bahasa	Bahasa Inggris	Non-Inggris tanpa abstrak Bahasa Inggris

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Tahun terbit	2014–2025	Artikel terbit sebelum 2014
Basis data	<i>Scopus</i> , <i>Web of Science</i> , ERIC	Sumber tidak terindeks
Relevansi topik	Peran guru, ESD, pendidikan sains, perilaku berkelanjutan	Studi tidak berkaitan ESD dalam pendidikan sains
Konteks studi	Sekolah formal atau pendidikan guru pra-jabatan	Pendidikan tinggi non-keguruan atau informal
Aksesibilitas	Teks lengkap dapat diakses	Hanya abstrak atau tidak dapat diakses
Kualitas jurnal	Jurnal terindeks Scopus Q1 atau Q2	Jurnal tidak terindeks atau predatori

Proses Seleksi dan Penilaian Kualitas

Sebanyak 311 rekaman diperoleh dari pencarian awal. Setelah deduplikasi, tersisa 248 rekaman unik. Judul dan abstrak disaring secara independen oleh dua peneliti dengan ketidaksepakatan diselesaikan melalui diskusi. Penyaringan teks lengkap dilakukan pada 29 artikel. Penilaian kualitas menggunakan *Mixed Methods Appraisal Tool* (MMAT), dan seluruh 14 artikel final memenuhi ambang minimum 60% pada skala MMAT.

Ekstraksi dan Analisis Data

Data diekstraksi menggunakan formulir standar yang mencakup: penulis, tahun, negara, desain penelitian, fokus ESD, temuan kunci, serta hambatan atau fasilitator implementasi. Analisis mengikuti tiga tahap, yaitu (1) reduksi data berupa ekstraksi dan pengkodean sesuai empat area fokus tematik, (2) penyajian data berupa organisasi ke dalam matriks sintesis, dan (3) penarikan kesimpulan berupa sintesis tematik untuk mengidentifikasi pola konvergen dan kesenjangan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Studi yang Disertakan

Empat belas artikel yang disertakan mencakup 16 negara di Eropa, Afrika, Asia, dan Timur Tengah, dengan tahun publikasi 2020–2024. Seluruh artikel bersumber dari jurnal terindeks *Scopus*: 10 dari MDPI *Sustainability* (Q1/Q2), dua dari *Environmental Education Research* (Q1), satu dari *Journal of Cleaner Production* (Q1), dan satu dari *Discover Sustainability* (Q1). Matriks sintesis lengkap disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Sintesis Artikel dengan Verifikasi Kuartil Scopus

No	Penulis & Jurnal	Negara	Metode	Temuan Utama
1	Sinakou et al. (2022) <i>J. Cleaner Production</i>	Belgia	Kuantitatif	Minat guru terhadap ESD berbasis aksi tidak otomatis terwujud dalam praktik; hambatan struktural menjadi mediator utama
2	Hogan & O'Flaherty (2021) <i>Sustainability</i>	Irlandia	Campuran	Integrasi ESD memerlukan desain kurikulum eksplisit; guru pra-jabatan kurang percaya diri tanpa pelatihan terstruktur
3	Grund & Brock (2020) <i>Sustainability</i>	Jerman	Kuasi-eksperimen	Peserta ESD menunjukkan peningkatan signifikan dalam kompetensi aksi dibanding kelompok kontrol; bertahan tiga bulan
4	Hoppe et al. (2020) <i>Sustainability</i>	Jerman	Eksperimen	Kompetensi diagnostik guru memediasi kedalaman hasil belajar ESD dalam pendidikan sains

No	Penulis & Jurnal	Negara	Metode	Temuan Utama
5	Hamwy et al. (2023) Sustainability	Qatar	Survei	Kurikulum kaku dan beban kerja guru jadi hambatan; sekolah swasta implementasi lebih konsisten
6	Bespalyy et al. (2024) Discover Sustainability	Asia Tengah	Komparatif	Implementasi ESD masih awal; pelatihan guru menjadi mata rantai paling lemah dalam sistem
7	Chaaban et al. (2023) Sustainability	Multikonteks	Q-metodologi	Pemangku kepentingan memprioritaskan pemikiran sistem dan kompetensi aksi di atas konten ESD
8	Niens & Bogeholz (2021) Sustainability	Madagaskar	Studi kasus	Relevansi kontekstual sangat kritis; kurikulum dari luar gagal tanpa kepemilikan guru lokal
9	Ojala (2020) J. Environmental Education	Swedia	Survei	Guru yang menerapkan pedagogi ketidaknyamanan lebih efektif menumbuhkan empati dan niat perilaku
10	Zeyer (2024) Sustainability	Swiss/Austria	Campuran	Integrasi kearifan lokal dengan sains meningkatkan literasi ekologis dan mengoreksi miskonsepsi siswa
11	Singh-Pillay (2023) Sustainability	Afrika Selatan	Kualitatif	Guru pra-jabatan memiliki konsepsi dangkal; pembelajaran kontekstual meningkatkan kedalaman konsepsi
12	Studi ESD guru biologi pra-jabatan Sustainability	Rumania	Kualitatif	Konsepsi ESD bias ekologis; dimensi sosial dan ekonomi kurang terwakili
13	Boeve-de Pauw et al. (2022) Environmental Educ. Research	Swedia	Longitudinal	<i>Self-efficacy</i> guru meningkat selama program PD namun regresi tanpa dukungan berkelanjutan
14	Olsson et al. (2022) Environmental Educ. Research	Swedia	Longitudinal	Paparan ESD jangka panjang memprediksi kompetensi aksi siswa secara signifikan

Integrasi Kurikulum dan Relevansi Kontekstual

Temuan konsisten di seluruh studi menunjukkan bahwa ESD paling efektif secara pedagogis ketika diintegrasikan ke dalam kurikulum yang terhubung dengan realitas sosio-ekologis dan budaya lokal siswa (Niens & Bogeholz, 2021; Zeyer, 2024). Hogan dan O'Flaherty (2021) menemukan bahwa tanpa desain kurikulum yang disengaja, guru pra-jabatan cenderung kembali pada pedagogi padat konten yang tidak transformatif. Zeyer (2024) mendemonstrasikan melalui pendekatan *Two-Eyed Seeing* bahwa integrasi kearifan lokal dengan sains formal memperdalam pemahaman siswa sekaligus mengoreksi miskonsepsi.

Chaaban et al. (2023) melalui Q-metodologi menetapkan bahwa koherensi interdisipliner sangat dibutuhkan, yakni tema keberlanjutan harus berjalan transversal di seluruh mata pelajaran. Sementara itu, Dittrich (2024) dari perspektif pendidikan guru internasional menemukan bahwa *policymakers* dan pendidik guru memerlukan pemahaman lebih mendalam tentang ESD sebagai pembelajaran transformatif, bukan sekadar penambahan konten lingkungan dalam kurikulum yang sudah ada.

ESD Berbasis Aksi dan Pengembangan Keterampilan Abad ke-21

Tinjauan ini memberikan bukti kuat bahwa ESD berbasis aksi merupakan mekanisme efektif mengembangkan keterampilan abad ke-21, meliputi berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan empati (Sinakou et al., 2022; Grund & Brock, 2020). Grund dan Brock (2020)

memberikan bukti kuasi-eksperimental terkuat: peserta program ESD menunjukkan peningkatan signifikan dalam kompetensi aksi dibandingkan kelompok kontrol, dengan peningkatan yang bertahan hingga tiga bulan pasca-intervensi.

Olsson et al. (2022) memperkuat temuan ini melalui studi longitudinal yang menunjukkan bahwa paparan ESD berkelanjutan dengan pendekatan holistik dan pluralistik secara signifikan memprediksi kompetensi aksi siswa. Sinakou et al. (2022) menambahkan nuansa penting bahwa minat guru terhadap ESD berorientasi aksi tidak secara otomatis terwujud dalam praktik akibat hambatan struktural seperti tekanan waktu dan mandat penilaian. Ojala (2020) menemukan dimensi afektif yang penting: guru yang menerapkan pedagogi ketidaknyamanan terbukti lebih efektif menumbuhkan empati dan niat perilaku berkelanjutan jangka panjang.

Peran Guru dan Dukungan Institusional dalam Implementasi ESD Berbasis Aksi

Di seluruh 14 studi, peran guru muncul sebagai faktor proksimal paling menentukan dalam kualitas implementasi ESD. Boeve-de Pauw et al. (2022) dalam studi longitudinal tiga tahun di Swedia mengungkapkan bahwa self-efficacy guru untuk ESD meningkat di awal program namun regresi ketika berhadapan dengan kompleksitas praktik kelas nyata, sebelum pulih kembali seiring program berjalan. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengembangan profesional ESD harus tertanam dalam praktik secara berkelanjutan, bukan sebatas lokakarya awal.

Fischer et al. (2022) dalam tinjauan sistematis komprehensif terhadap 158 publikasi mengidentifikasi lima klaster utama penelitian teacher education for sustainable development (TESD), termasuk desain lingkungan belajar, pemahaman atribut pelajar, dan pengukuran hasil belajar. Temuan tersebut menggarisbawahi bahwa pelatihan guru untuk ESD masih membutuhkan konsolidasi teoritis dan empiris yang lebih kuat. Senada, Timm dan Barth (2021) dalam studi kualitatif di sekolah dasar Jerman mengidentifikasi dua tipe guru ESD dengan seperangkat kompetensi yang berbeda, di mana keduanya bertujuan kontribusi pada perubahan sosial namun dengan strategi pedagogis yang berbeda.

Disparitas antara konteks sekolah swasta dan negeri juga sangat signifikan. Hamwy et al. (2023) menemukan bahwa guru sekolah negeri menghadapi hambatan sistemik dari mandat kurikulum terpusat, sementara guru swasta memiliki otonomi dan akses PD yang lebih besar. Perbandingan kedua konteks dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Implementasi ESD: Konteks Sekolah Swasta dan Sekolah Negeri

Dimensi	Sekolah Swasta	Sekolah Negeri
Keselarasan kebijakan	Keselarasan kuat antara kebijakan, kurikulum, dan lingkungan belajar	Struktur kaku membatasi fleksibilitas pedagogis ESD
Pengembangan profesional	Program PD internal dan insentif terintegrasi dalam budaya sekolah	Akses terbatas pada pelatihan ESD terstruktur dan berkelanjutan
Fleksibilitas kurikulum	Otonomi lebih besar untuk mengadaptasi kurikulum ke konteks lokal	Kurikulum nasional terstandarisasi membatasi adaptasi kontekstual
Tingkat implementasi	Tinggi, ESD berbasis aksi dan proyek lebih sering diterapkan	Rendah, penyampaian ESD masih dominan teoretis

Waltner et al. (2020) dalam survei terhadap guru-guru di Jerman menemukan bahwa meskipun guru memiliki pengetahuan yang cukup tentang ESD, implementasi aktual di kelas masih jauh dari optimal, terutama akibat kurangnya dukungan kurikulum dan sumber daya. Bepalyy et al. (2024) memperkuat temuan ini dalam konteks Asia Tengah di mana pelatihan guru tetap menjadi mata rantai paling lemah dalam sistem ESD.

Dampak Jangka Panjang terhadap Perubahan Perilaku Berkelanjutan

Ukuran efektivitas ESD yang paling mendasar adalah perubahan yang tahan lama dalam cara siswa bertindak terkait keberlanjutan. Studi longitudinal Olsson et al. (2022) memberikan bukti paling kuat: pengajaran ESD holistik dan pluralistik secara signifikan memprediksi kompetensi aksi siswa yang mencakup pengetahuan, kemauan bertindak, dan kepercayaan diri atas pengaruh diri sendiri.

Singh-Pillay (2023) mengangkat peringatan penting bahwa guru pra-jabatan memiliki konsepsi keberlanjutan yang dangkal dan bias ekologis. Tanpa intervensi dalam pelatihan pra-jabatan, konsepsi terbatas ini berisiko direplikasi lintas generasi. Nousheen et al. (2020) mengkonfirmasi bahwa program pendidikan guru yang secara eksplisit mengintegrasikan ESD terbukti mengubah sikap guru pra-jabatan secara signifikan terhadap pembangunan berkelanjutan. Hoppe et al. (2020) lebih lanjut menunjukkan bahwa kompetensi diagnostik guru secara signifikan memediasi kedalaman perubahan konseptual yang dapat dicapai melalui intervensi ESD. Secara kolektif, temuan ini menggarisbawahi bahwa transformasi perilaku melalui ESD memerlukan urutan pengalaman belajar yang koheren, terscaffolding, dan tertanam dalam budaya sekolah yang memodelkan nilai-nilai keberlanjutan secara konsisten.

KESIMPULAN

Tinjauan sistematis ini mensintesis bukti dari 14 studi internasional untuk mengkaji peran ESD berbasis aksi dalam mentransformasi pendidikan sains. Empat simpulan utama dapat ditarik. Pertama, ESD berbasis aksi terbukti efektif mengembangkan kompetensi abad ke-21 sekaligus mendorong internalisasi perilaku berkelanjutan jangka panjang pada peserta didik. Kedua, guru merupakan faktor paling menentukan dalam kualitas implementasi ESD sehingga membutuhkan pengembangan profesional yang berkelanjutan dan tertanam dalam praktik nyata, bukan sekadar pelatihan awal. Ketiga, dukungan institusional merupakan prasyarat utama bagi reformasi ESD yang berskala luas, dengan disparitas signifikan ditemukan antara konteks sekolah swasta dan negeri. Keempat, pendidikan guru pra-jabatan menjadi titik leverage yang kritis namun masih kurang dimanfaatkan karena konsepsi keberlanjutan yang dangkal berisiko memperpetuasi praktik ESD yang terbatas secara lintas generasi.

Berdasarkan temuan tersebut, direkomendasikan agar: (1) pengambil kebijakan mengintegrasikan kerangka kompetensi ESD ke dalam standar sertifikasi guru nasional; (2) administrator sekolah menciptakan waktu terstruktur untuk pengembangan profesional ESD yang tertanam dalam praktik berkelanjutan; serta (3) penelitian selanjutnya memprioritaskan studi longitudinal yang melacak dampak perilaku ESD jangka panjang, khususnya di negara berkembang yang masih kurang terwakili dalam basis bukti global.

DAFTAR PUSTAKA

- Bespalyy, S. V., Akhrorova, A., Alnazarova, G., Adieva, A., & Petrenko, A. (2024). Education for sustainable development: Comparative analysis and prospects at universities in Kazakhstan, Tajikistan, Kyrgyzstan and Uzbekistan. *Discover Sustainability*, 5(1), Article 140. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00343-x>
- Boeve-de Pauw, J., Olsson, D., Berglund, T., & Gericke, N. (2022). Teachers' ESD self-efficacy and practices: A longitudinal study on the impact of teacher professional development. *Environmental Education Research*, 28(6), 867–885. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2042206>
- Chaaban, Y., Du, X., Lundberg, A., & Abu-Tineh, A. (2023). Education stakeholders' viewpoints about an ESD competency framework: Q methodology research. *Sustainability*, 15(3), 1787. <https://doi.org/10.3390/su15031787>

- Dittrich, A.-K. (2024). An international reconstruction of teachers' and teacher educators' perspectives on the challenges of education for sustainable development in teacher education. *Journal of Education for Sustainable Development*, 18(2), 154–172. <https://doi.org/10.1177/09734082241309704>
- Ferguson, T., Roofe, C., & Cook, L. D. (2021). Teachers' perspectives on sustainable development: The implications for education for sustainable development. *Environmental Education Research*, 27(9), 1343–1359. <https://doi.org/10.1080/13504622.2021.1921113>
- Fischer, D., King, J., Rieckmann, M., Barth, M., Büssing, A., Hemmer, I., & Lindau-Bank, D. (2022). Teacher education for sustainable development: A review of an emerging research field. *Journal of Teacher Education*, 73(5), 509–524. <https://doi.org/10.1177/00224871221105784>
- Grund, J., & Brock, A. (2020). Education for sustainable development in Germany: Not just desired but also effective for transformative action. *Sustainability*, 12(7), 2838. <https://doi.org/10.3390/su12072838>
- Hamwy, N., Bruder, J., Sellami, A., & Romanowski, M. H. (2023). Challenges to teachers implementing sustainable development goals frameworks in Qatar. *Sustainability*, 15(15), 11479. <https://doi.org/10.3390/su151511479>
- Hariandi, A., Dwitama, D. B. D. P., Rahman, N. A., Ramadhani, R., & Yunsacintra, Y. (2023). Implementasi pendidikan karakter peduli lingkungan di sekolah dasar. *JiIP—Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(12), 10155–10161. <https://doi.org/10.54371/jiip.v6i12.3328>
- Hogan, D., & O'Flaherty, J. (2021). Addressing education for sustainable development in the teaching of science: The case of a biological sciences teacher education program. *Sustainability*, 13(21), 12028. <https://doi.org/10.3390/su132112028>
- Hoppe, T., Renkl, A., Seidel, T., Rettig, S., & Rieß, W. (2020). Exploring how teachers diagnose student conceptions about the cycle of matter. *Sustainability*, 12(10), 4184. <https://doi.org/10.3390/su12104184>
- Lavanya, B. L., & Saraswathi, S. (2014). Education for sustainable development: A conceptual model of sustainable education for India. *International Journal of Innovative Research and Development*, 3(4), 185–190.
- Mochizuki, Y., & Bryan, A. (2015). Transformative learning for education for sustainable development: The role of teachers and implications for teacher education. *Journal of Education for Sustainable Development*, 9(1), 17–35. <https://doi.org/10.1177/0973408215569109>
- Niens, J., & Bögeholz, S. (2021). Health and land-use courses of action for ESD in Madagascar: Teacher perspectives on possibilities for implementation. *Sustainability*, 13(23), 13308. <https://doi.org/10.3390/su132313308>
- Nousheen, A., Yousuf Zai, S. A., Waseem, M., & Khan, S. A. (2020). Education for sustainable development (ESD): Effects of sustainability education on pre-service teachers' attitude towards sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 250, Article 119537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119537>
- Ojala, M. (2020). Safe spaces or a pedagogy of discomfort? Senior high-school teachers' meta-emotion philosophies and climate change education. *Journal of Environmental Education*, 52(1), 40–52. <https://doi.org/10.1080/00958964.2020.1845589>

- Olsson, D., Gericke, N., & Boeve-de Pauw, J. (2022). The effectiveness of education for sustainable development revisited: A longitudinal study on secondary students' action competence for sustainability. *Environmental Education Research*, 28(3), 405–429. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2033170>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Prabawani, B. (2021). *Education for sustainable development: Concepts and implementation*. Universitas Diponegoro Press.
- Sinakou, E., Donche, V., & Van Petegem, P. (2022). Action-orientation in education for sustainable development: Teachers' interests and instructional practices. *Journal of Cleaner Production*, 370, Article 133469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133469>
- Singh-Pillay, A. (2023). Pre-service teachers' experience of learning about sustainability in technology education in South Africa. *Sustainability*, 15(3), 2149. <https://doi.org/10.3390/su15032149>
- Timm, J.-M., & Barth, M. (2021). Making education for sustainable development happen in elementary schools: The role of teachers. *Environmental Education Research*, 27(1), 50–66. <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1813256>
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>
- Waltner, E.-M., Scharenberg, K., Hörsch, C., & Rieß, W. (2020). What teachers think and know about education for sustainable development and how they implement it in class. *Sustainability*, 12(4), Article 1690. <https://doi.org/10.3390/su12041690>
- Zeyer, A. (2024). Scientific holism: A synoptic (“Two-Eyed Seeing”) approach to science transfer in education for sustainable development, tested with pre-service teachers. *Sustainability*, 16(6), 2279. <https://doi.org/10.3390/su16062279>