
TRANSFORMASI PENDIDIKAN IPA BERORIENTASI *EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT* (ESD) UNTUK PENGUATAN LITERASI KEBENCANAAN**Muhamad Taufiq**

Program Studi Pendidikan IPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Semarang, Indonesia

*Email korespondensi: muhamadtaufiq@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan meningkatnya frekuensi bencana telah menciptakan tantangan baru bagi sistem pendidikan, khususnya pendidikan IPA. Kondisi Indonesia sebagai negara yang memiliki tingkat kerawanan bencana tinggi menuntut transformasi pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep sains, tetapi juga mampu membangun literasi kebencanaan peserta didik. Artikel konseptual ini bertujuan mengkaji urgensi transformasi pendidikan IPA melalui pendekatan *Education for Sustainable Development* (ESD) sebagai landasan penguatan literasi kebencanaan. Kajian dilakukan melalui analisis konseptual terhadap isu perubahan iklim, kebencanaan, kompetensi abad ke-21, prinsip-prinsip ESD, serta berbagai praktik pembelajaran IPA yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi ESD dalam pendidikan IPA mampu mengembangkan kompetensi berpikir sistemik, antisipatif, berpikir kritis, kolaborasi, literasi lingkungan, dan literasi kebencanaan yang diperlukan untuk menghadapi tantangan global. Implementasi dapat diwujudkan melalui pembelajaran berbasis fenomena, *socio-scientific issues*, *problem-based learning*, *project-based learning*, serta pemanfaatan teknologi digital dan kecerdasan artifisial untuk simulasi, analisis data lingkungan, dan pembelajaran adaptif. Keberhasilan transformasi tersebut memerlukan dukungan kolaborasi antara pemerintah, sekolah, perguruan tinggi, industri, dan masyarakat. Dengan demikian, pendidikan IPA berorientasi ESD menjadi strategi penting untuk membentuk generasi yang memiliki ketahanan terhadap bencana, berwawasan lingkungan, dan mampu berkontribusi dalam pembangunan berkelanjutan.

Kata kunci: *Education for Sustainable Development* (ESD); Literasi Kebencanaan; Perubahan Iklim; Transformasi Pendidikan IPA.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global, degradasi lingkungan, dan meningkatnya frekuensi bencana telah menjadi tantangan besar yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk sektor Pendidikan (Hanna & Oliva, 2016; Ghazali *et al.*, 2018; Peduzzi, 2019; Rawat *et al.*, 2024). Fenomena seperti peningkatan suhu bumi, cuaca ekstrem, kenaikan muka air laut, penurunan keanekaragaman hayati, serta meningkatnya kejadian bencana hidrometeorologi menunjukkan bahwa dunia sedang memasuki era ketidakpastian ekologis (*ecological uncertainty*) (Jha & Dev, 2024; Chukwuma, 2025). Indonesia menghadapi tantangan yang lebih kompleks karena secara geografis berada pada kawasan *Ring of Fire* serta memiliki kerentanan tinggi terhadap bencana geologi maupun hidrometeorologi (Angglena & Pandey, 2025). Kondisi tersebut menuntut setiap warga negara tidak hanya memiliki pengetahuan ilmiah mengenai fenomena alam, tetapi juga kemampuan untuk memahami risiko, mengambil keputusan yang tepat, serta beradaptasi terhadap perubahan lingkungan secara berkelanjutan. Dalam konteks tersebut, pendidikan menjadi instrumen strategis untuk membangun masyarakat yang tangguh terhadap bencana sekaligus memiliki kepedulian terhadap keberlanjutan lingkungan (Feinstein & Mach, 2020; Cabello *et al.*, 2021).

Sebagai wahana pembelajaran yang mempelajari fenomena alam secara ilmiah, Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) memiliki peran sentral dalam membangun literasi sains, literasi lingkungan, dan literasi kebencanaan peserta didik (Nugroho & Dewi, 2025; Rumani, 2026). Berbagai kajian menunjukkan bahwa pendidikan sains yang kontekstual mampu meningkatkan kemampuan peserta didik dalam memahami hubungan antara aktivitas manusia, perubahan lingkungan, dan risiko bencana (Ulfah *et al.*, 2020; Rahma *et al.*, 2024; Park *et al.*, 2025). Sejalan dengan itu, UNESCO mengembangkan paradigma *Education for Sustainable Development* (ESD) sebagai pendekatan pendidikan yang memberdayakan peserta didik agar mampu mengambil keputusan dan melakukan tindakan yang bertanggung jawab demi keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. ESD mengintegrasikan isu-isu strategis seperti perubahan iklim, pengurangan risiko bencana, konservasi sumber daya alam, serta pembangunan berkelanjutan ke dalam proses pembelajaran (Glavič, 2020; Uralovich *et al.*, 2023), sehingga pembelajaran tidak hanya menghasilkan penguasaan konsep, tetapi juga perubahan cara berpikir, sikap, dan perilaku menuju masyarakat yang berkelanjutan.

Meskipun demikian, implementasi pendidikan IPA di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Pembelajaran IPA pada umumnya masih berorientasi pada penguasaan materi dan pencapaian hasil akademik, sementara integrasi isu perubahan iklim, keberlanjutan, dan kebencanaan ke dalam pengalaman belajar peserta didik masih terbatas (Putri *et al.*, 2025). Akibatnya, pembelajaran seringkali terlepas dari realitas kehidupan yang dihadapi peserta didik sehari-hari. Padahal, tantangan abad ke-21 menuntut pengembangan kompetensi yang lebih luas, seperti berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, kolaborasi, ketahanan (*resilience*), literasi lingkungan, literasi kebencanaan, kecerdasan ekologis (*ecological intelligence*), dan pola pikir keberlanjutan (*sustainability mindset*). Ketidaksesuaian antara tuntutan kompetensi masa depan dengan praktik pembelajaran IPA saat ini menunjukkan bahwa transformasi pendidikan IPA bukan lagi menjadi pilihan, melainkan kebutuhan yang mendesak.

Berbagai penelitian terdahulu telah membahas implementasi ESD dalam pendidikan, pengembangan literasi lingkungan, maupun pembelajaran perubahan iklim. Namun, sebagian besar kajian masih memposisikan ESD sebagai materi atau tema pembelajaran tertentu, bukan sebagai paradigma yang mentransformasikan keseluruhan proses pendidikan IPA (Fredriksson *et al.*, 2020; Zidny *et al.*, 2020; Pradipta & Hariyono, 2021). Selain itu, kajian mengenai keterkaitan antara ESD, penguatan literasi kebencanaan, dan transformasi pendidikan IPA masih cenderung dibahas secara terpisah sehingga belum menghasilkan kerangka konseptual

yang komprehensif (Nonoyama-Tarumi *et al.*, 2016; Park, 2020; Huang *et al.*, 2024). Kesenjangan (*research gap*) inilah yang menjadi dasar penyusunan artikel ini, yaitu perlunya sintesis konseptual yang menjelaskan bagaimana ESD dapat dijadikan landasan transformasi pendidikan IPA untuk membangun kompetensi keberlanjutan sekaligus memperkuat literasi kebencanaan peserta didik.

Transformasi pendidikan IPA perlu diarahkan pada pembelajaran yang bersifat transformatif, adaptif, berorientasi pada *real-world problems*, serta mengintegrasikan prinsip-prinsip ESD dalam seluruh komponen pembelajaran (Hogan & O'Flaherty, 2021; Gamade *et al.*, 2022). Implementasi transformasi tersebut melalui pembelajaran berbasis fenomena (*phenomenon-based learning*), *problem-based learning*, *project-based learning*, maupun *socio-scientific issues*, yang didukung oleh pemanfaatan teknologi digital dan kecerdasan artifisial untuk memfasilitasi eksplorasi fenomena lingkungan dan kebencanaan secara autentik. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menghubungkan penguasaan konsep IPA dengan kemampuan berpikir sistemik, pengambilan keputusan berbasis bukti, tindakan nyata terhadap lingkungan, serta pembentukan karakter yang bertanggung jawab terhadap keberlanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut, kajian secara konseptual ini menganalisis dan menguraikan urgensi transformasi pendidikan IPA melalui pendekatan *Education for Sustainable Development* sebagai landasan penguatan literasi kebencanaan di era perubahan iklim. Secara khusus, artikel ini bertujuan: (1) menganalisis tantangan pendidikan IPA dalam menghadapi krisis iklim dan meningkatnya risiko bencana; (2) mengkaji relevansi prinsip-prinsip ESD dalam pengembangan pendidikan IPA yang berorientasi pada keberlanjutan; serta (3) merumuskan kerangka konseptual transformasi pendidikan IPA yang mampu mengembangkan kompetensi abad ke-21, literasi lingkungan, dan literasi kebencanaan sebagai bekal peserta didik dalam menghadapi tantangan pembangunan berkelanjutan. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi referensi konseptual bagi pengembang kurikulum, pendidik, peneliti, dan pengambil kebijakan dalam merancang inovasi pendidikan IPA yang lebih relevan dengan kebutuhan masa depan.

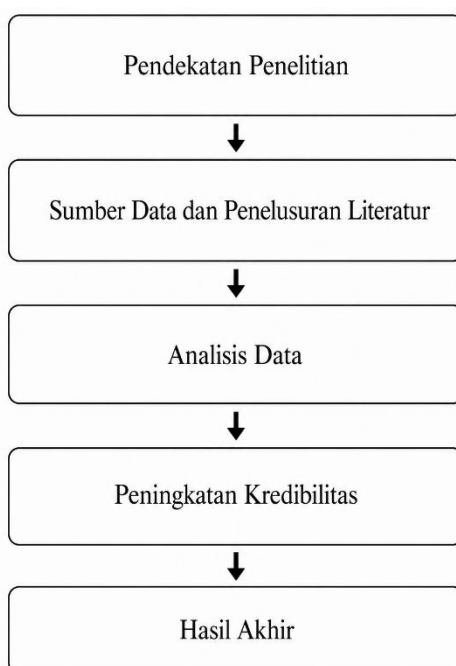
METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah kajian konseptual (*conceptual paper*) yang bertujuan membangun kerangka konseptual (Ravitch & Riggan, 2016) mengenai transformasi pendidikan IPA berorientasi *Education for Sustainable Development* (ESD) sebagai landasan penguatan literasi kebencanaan. Kajian dilakukan melalui pendekatan studi kepustakaan (*library research*) dengan menelaah secara kritis berbagai teori, hasil penelitian, dokumen kebijakan, dan laporan organisasi internasional yang relevan dengan topik penelitian (Lor, 2019). Pendekatan ini dipilih karena tujuan penelitian bukan menguji hipotesis secara empiris, melainkan melakukan sintesis konseptual untuk merumuskan perspektif baru mengenai pengembangan pendidikan IPA dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan kebencanaan. Pendekatan tersebut sesuai dengan karakter artikel konseptual yang menekankan analisis, integrasi, dan pengembangan gagasan berdasarkan bukti ilmiah yang telah dipublikasikan.

Sumber data penelitian berupa literatur primer dan sekunder yang diperoleh dari artikel jurnal internasional bereputasi, prosiding ilmiah, buku akademik, laporan UNESCO, OECD dan berbagai dokumen kebijakan yang berkaitan dengan *Education for Sustainable Development*, pendidikan IPA, perubahan iklim, dan literasi kebencanaan. Literatur diprioritaskan berasal dari publikasi sepuluh tahun terakhir untuk memperoleh gambaran perkembangan konseptual dan empiris yang mutakhir, tanpa mengabaikan beberapa referensi klasik yang menjadi landasan teoritis ESD dan pendidikan kebencanaan. Proses penelusuran

literatur dilakukan melalui basis data ilmiah Scopus, ERIC, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis dan Google Scholar menggunakan kata kunci *Education for Sustainable Development*, *science education*, *disaster literacy*, *climate change education*, *environmental literacy*, dan *sustainability education*.

Analisis data dilakukan menggunakan analisis isi (*content analysis*) yang dipadukan dengan analisis sintesis konseptual (*conceptual synthesis analysis*). Tahapan analisis (disajikan pada Gambar 1) meliputi: (1) identifikasi dan seleksi literatur berdasarkan relevansi terhadap fokus kajian; (2) klasifikasi literatur ke dalam tema-tema utama yang meliputi tantangan pendidikan IPA, perubahan iklim, literasi kebencanaan, kompetensi abad ke-21, serta prinsip-prinsip *Education for Sustainable Development*; (3) analisis hubungan antar konsep untuk mengidentifikasi kesenjangan (*research gap*) dalam kajian sebelumnya; (4) sintesis berbagai konsep, teori, dan hasil penelitian menjadi kerangka konseptual transformasi pendidikan IPA; serta (5) interpretasi hasil sintesis untuk merumuskan implikasi terhadap pengembangan kurikulum, strategi pembelajaran, dan kebijakan pendidikan. Analisis dilakukan secara iteratif melalui proses membandingkan, mengintegrasikan, dan mengevaluasi berbagai perspektif sehingga menghasilkan argumentasi yang logis, koheren, dan didukung oleh bukti ilmiah.



Gambar 1. Alur Metode Analisis Isi (*Content Analysis*)

Peningkatan kredibilitas kajian dilakukan dengan triangulasi sumber melalui perbandingan berbagai hasil penelitian dan dokumen kebijakan dari institusi yang berbeda. Selain itu, setiap konsep utama dianalisis berdasarkan konsistensi temuan dari berbagai referensi sehingga sintesis yang dihasilkan tidak bergantung pada satu sumber tertentu. Hasil akhir analisis berupa kerangka konseptual yang menjelaskan hubungan antara tantangan perubahan iklim, prinsip-prinsip *Education for Sustainable Development*, transformasi pendidikan IPA, serta penguatan literasi kebencanaan sebagai kompetensi penting dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformasi Pendidikan IPA dalam Menghadapi Krisis Iklim dan Kebencanaan

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa perubahan iklim telah menggeser orientasi pendidikan IPA dari pembelajaran yang berfokus pada penguasaan konsep menuju pembelajaran yang menekankan kemampuan peserta didik dalam memahami, mengantisipasi, dan merespons berbagai permasalahan lingkungan yang semakin kompleks. Krisis iklim tidak lagi dipandang sebagai isu lingkungan semata, tetapi telah berkembang menjadi persoalan multidimensional yang mempengaruhi kesehatan, ketahanan pangan, ketersediaan air, keanekaragaman hayati, serta meningkatnya intensitas dan frekuensi bencana hidrometeorologi maupun geologi. Oleh karena itu, pendidikan IPA perlu ditransformasikan menjadi wahana pembelajaran yang mengintegrasikan pengetahuan ilmiah, keterampilan berpikir tingkat tinggi, pengambilan keputusan berbasis bukti, dan tindakan nyata dalam menghadapi tantangan keberlanjutan. Temuan konseptual ini menunjukkan bahwa transformasi pendidikan IPA merupakan prasyarat untuk membangun masyarakat yang adaptif dan tangguh terhadap dampak perubahan iklim.

Transformasi tersebut didorong oleh adanya perubahan paradigma mengenai tujuan pendidikan sains. Jika sebelumnya pendidikan IPA lebih menekankan penguasaan konsep, hukum, dan prinsip ilmiah, maka perkembangan penelitian mutakhir menunjukkan bahwa pembelajaran sains harus mampu membentuk *scientifically informed citizens* yang memiliki kemampuan berpikir sistemik (*systems thinking*), berpikir antisipatif (*anticipatory thinking*), berpikir kritis, kolaborasi, serta kemampuan memecahkan masalah nyata (*real-world problem solving*). UNESCO menempatkan kompetensi tersebut sebagai bagian dari kompetensi inti *Education for Sustainable Development* (ESD) yang diperlukan untuk mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*). Dengan demikian, pembelajaran IPA tidak lagi berhenti pada pemahaman fenomena alam, tetapi berkembang menjadi proses membangun kapasitas peserta didik untuk mengambil keputusan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan dan masyarakat. Temuan ini sejalan dengan Glavič (2020) yang menegaskan bahwa ESD menggeser fokus pendidikan dari transfer pengetahuan menuju transformasi cara berpikir dan bertindak, serta didukung oleh Huang *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa pendidikan berbasis nilai keberlanjutan mampu memperkuat kompetensi peserta didik dalam menghadapi tantangan global.

Konteks Indonesia semakin memperkuat urgensi transformasi tersebut. Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat risiko bencana tertinggi di dunia akibat karakteristik geologis, geografis, dan iklimnya. Meningkatnya kejadian banjir, tanah longsor, kekeringan, kebakaran hutan, serta cuaca ekstrem menunjukkan bahwa peserta didik akan hidup dalam lingkungan yang semakin rentan terhadap dampak perubahan iklim. Kondisi ini mengharuskan pendidikan IPA tidak hanya menjelaskan mekanisme ilmiah terjadinya bencana, tetapi juga membangun literasi kebencanaan melalui pemahaman risiko, mitigasi, kesiapsiagaan, adaptasi, dan pemulihan pascabencana. Park (2020) menjelaskan bahwa pendidikan kebencanaan dan pendidikan sains memiliki tujuan yang saling melengkapi karena keduanya sama-sama mengembangkan kemampuan peserta didik dalam memahami fenomena alam melalui penalaran ilmiah. Sementara itu, Rahma *et al.* (2024) menunjukkan bahwa penguatan pendidikan kebencanaan berbasis ekosistem sekolah mampu meningkatkan kesiapsiagaan peserta didik apabila diintegrasikan secara sistematis ke dalam proses pembelajaran.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa transformasi pendidikan IPA perlu diwujudkan melalui perubahan strategi pembelajaran yang lebih kontekstual dan berorientasi pada fenomena nyata. Pendekatan seperti *phenomenon-based learning*, *problem-based learning*, *project-based learning*, dan *socio-scientific issues* memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menganalisis permasalahan lingkungan berdasarkan bukti ilmiah, merancang

solusi, serta mengevaluasi dampak keputusan yang diambil. Pembelajaran semacam ini memungkinkan berkembangnya keterampilan berpikir ilmiah, kolaborasi, komunikasi, kreativitas, serta pengambilan keputusan berbasis data yang menjadi fondasi literasi kebencanaan. Hasil penelitian Pradipta & Hariyono (2021) menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran IPA berbasis ESD secara signifikan meningkatkan kemampuan pemecahan masalah peserta didik. Temuan serupa juga dilaporkan Nugroho & Dewi (2025) bahwa pembelajaran berbasis proyek pada isu perubahan iklim mampu meningkatkan literasi sains sekaligus kepedulian lingkungan peserta didik.

Tabel 1. Sintesis Transformasi Paradigma Pendidikan IPA dalam Menghadapi Krisis Iklim

Aspek	Paradigma Konvensional	Paradigma Transformasi Berorientasi ESD	Implikasi terhadap Literasi Kebencanaan
Tujuan pembelajaran	Penguasaan konsep IPA	Pengembangan kompetensi berkelanjutan	Memahami risiko dan mampu mengambil keputusan berbasis bukti
Fokus materi	Fakta, konsep, hukum sains	Perubahan iklim, SDGs, pengurangan risiko bencana, keberlanjutan	Pembelajaran lebih kontekstual terhadap lingkungan peserta didik
Strategi pembelajaran	Ceramah dan latihan soal	<i>Phenomenon-based learning</i> , PBL, PjBL, SSI	Melatih mitigasi, adaptasi, dan pemecahan masalah nyata
Kompetensi	Pengetahuan ilmiah	Berpikir sistemik, berpikir kritis, antisipatif, kolaboratif	Meningkatkan kesiapsiagaan dan ketangguhan menghadapi bencana
Luaran pendidikan	Menguasai konsep	Warga negara yang berkelanjutan (<i>sustainability citizen</i>)	Memiliki literasi kebencanaan dan perilaku adaptif

Berdasarkan keseluruhan sintesis tersebut, dapat dirumuskan bahwa transformasi pendidikan IPA pada era perubahan iklim harus berlangsung secara menyeluruh, meliputi transformasi tujuan pembelajaran, kompetensi yang dikembangkan, materi pembelajaran, strategi pembelajaran, asesmen, hingga budaya belajar di sekolah. Pendidikan IPA tidak lagi diposisikan sebagai sarana untuk menghasilkan peserta didik yang hanya memahami konsep-konsep ilmiah, tetapi sebagai proses membangun warga negara yang memiliki literasi sains, literasi kebencanaan, kemampuan berpikir sistemik, serta komitmen terhadap pembangunan berkelanjutan. Temuan konseptual ini sekaligus memperkuat *research gap* yang telah diidentifikasi pada bagian pendahuluan, yaitu perlunya menjadikan *Education for Sustainable Development* sebagai paradigma transformasi pendidikan IPA, bukan sekadar tema tambahan dalam pembelajaran. Dengan paradigma tersebut, pendidikan IPA diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan sekaligus meningkatkan ketangguhan masyarakat Indonesia dalam menghadapi krisis iklim dan risiko bencana.

Relevansi Prinsip-prinsip Education for Sustainable Development (ESD) dalam Transformasi Pendidikan IPA

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa *Education for Sustainable Development* (ESD) telah berkembang dari sekadar isu pendidikan lingkungan menjadi paradigma pendidikan transformatif yang mengintegrasikan dimensi lingkungan, sosial, dan ekonomi

dalam seluruh proses pembelajaran. Dalam konteks pendidikan IPA, ESD memiliki relevansi yang sangat tinggi karena karakteristik mata pelajaran IPA yang mempelajari fenomena alam, hubungan antar sistem bumi, serta dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Kajian ini menemukan bahwa prinsip-prinsip ESD mampu memperluas orientasi pembelajaran IPA dari penguasaan konsep ilmiah menuju pengembangan kompetensi berkelanjutan (*sustainability competencies*) yang memungkinkan peserta didik memahami kompleksitas permasalahan global, seperti perubahan iklim, kehilangan keanekaragaman hayati, pencemaran lingkungan, dan meningkatnya risiko bencana. Dengan demikian, ESD tidak diposisikan sebagai materi tambahan dalam kurikulum IPA, melainkan sebagai paradigma yang mentransformasikan tujuan, isi, strategi pembelajaran, dan asesmen agar lebih kontekstual, bermakna, dan berorientasi pada tindakan nyata. Temuan ini selaras dengan sintesis penelitian Nonoyama-Tarumi *et al.* (2016) yang menunjukkan bahwa ESD berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pendidikan melalui pengembangan kompetensi berpikir kritis, pengambilan keputusan, dan partisipasi aktif dalam pembangunan berkelanjutan. Selain itu, Glavič (2020) menegaskan bahwa isu keberlanjutan harus menjadi fondasi utama dalam pengembangan kurikulum pendidikan modern.

Prinsip utama ESD menempatkan peserta didik sebagai agen perubahan (*change agent*) yang mampu menghubungkan pengetahuan ilmiah dengan tindakan nyata dalam kehidupan sehari-hari. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembelajaran IPA berbasis ESD tidak lagi berpusat pada proses transmisi pengetahuan, tetapi mengembangkan pembelajaran partisipatif, kolaboratif, reflektif, dan berbasis pemecahan masalah nyata (*real-world problem solving*). Pendekatan ini memungkinkan peserta didik membangun pemahaman mengenai hubungan sebab-akibat antara aktivitas manusia, perubahan lingkungan, dan risiko bencana melalui proses inkuiri ilmiah. Selain itu, ESD mendorong peserta didik untuk mempertimbangkan dimensi etika, sosial, budaya, dan ekonomi ketika merumuskan solusi terhadap suatu permasalahan lingkungan. Dengan demikian, pembelajaran IPA tidak hanya menghasilkan literasi sains, tetapi juga membentuk karakter yang bertanggung jawab terhadap keberlanjutan. Temuan tersebut sejalan dengan Hogan & O'Flaherty (2021) yang menyatakan bahwa integrasi ESD dalam pendidikan sains mampu membangun kemampuan berpikir reflektif, kolaboratif, dan pengambilan keputusan berbasis bukti. Gamage *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa penerapan prinsip-prinsip ESD pada pendidikan STEM meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam menyelesaikan persoalan keberlanjutan melalui pendekatan lintas disiplin.

Hasil analisis selanjutnya menunjukkan bahwa relevansi ESD dalam transformasi pendidikan IPA semakin kuat ketika dikaitkan dengan pengembangan kompetensi abad ke-21. UNESCO mengidentifikasi delapan kompetensi keberlanjutan, yaitu *systems thinking competency*, *anticipatory competency*, *normative competency*, *strategic competency*, *collaboration competency*, *critical thinking competency*, *self-awareness competency*, dan *integrated problem-solving competency*. Kompetensi-kompetensi tersebut memiliki kesesuaian yang tinggi dengan capaian pembelajaran IPA karena keduanya sama-sama menekankan kemampuan mengamati fenomena, menganalisis hubungan antar sistem, menggunakan bukti ilmiah, mengevaluasi alternatif solusi, serta mengambil keputusan yang bertanggung jawab. Dalam konteks perubahan iklim dan kebencanaan, kemampuan berpikir sistemik menjadi fondasi untuk memahami keterkaitan antara faktor alam, teknologi, sosial, dan ekonomi, sedangkan kemampuan antisipatif membantu peserta didik memprediksi berbagai risiko dan merancang strategi mitigasi yang tepat. Huang *et al.* (2024) menunjukkan bahwa pendidikan berbasis nilai (*values-based ESD*) memperkuat internalisasi nilai keberlanjutan sehingga peserta didik tidak hanya memahami konsep, tetapi juga memiliki komitmen moral dalam

menjaga keberlanjutan lingkungan. Dengan demikian, prinsip-prinsip ESD memperkuat fungsi pendidikan IPA sebagai wahana pembentukan warga negara yang mampu berpikir ilmiah sekaligus bertindak secara bertanggung jawab terhadap masa depan bumi.

Tabel 2. Relevansi Prinsip-prinsip ESD dalam Transformasi Pendidikan IPA

Prinsip ESD	Implementasi dalam Pendidikan IPA	Kompetensi yang Dikembangkan	Kontribusi terhadap Literasi Kebencanaan
Berpusat pada keberlanjutan	Mengintegrasikan isu perubahan iklim, SDGs, dan pengurangan risiko bencana	Berpikir sistemik, kesadaran lingkungan	Memahami keterkaitan penyebab dan dampak bencana
Berbasis masalah nyata (<i>real-world problems</i>)	Analisis kasus banjir, gempa, kekeringan, pencemaran	Berpikir kritis, pemecahan masalah	Menentukan strategi mitigasi dan adaptasi
Partisipatif dan kolaboratif	Diskusi, proyek, investigasi lapangan	Kolaborasi, komunikasi	Membangun kesiapsiagaan berbasis komunitas
Berorientasi tindakan (<i>action-oriented learning</i>)	Proyek konservasi, mitigasi bencana, restorasi lingkungan	Kepemimpinan, tanggung jawab sosial	Mengembangkan budaya tangguh bencana
Reflektif dan berbasis nilai	Refleksi terhadap dampak keputusan manusia terhadap lingkungan	Kesadaran diri, etika keberlanjutan	Membentuk perilaku adaptif dan berkelanjutan

Implikasi lain yang ditemukan dari hasil kajian adalah bahwa penerapan prinsip-prinsip ESD memerlukan transformasi pada seluruh komponen pembelajaran IPA. Transformasi tersebut mencakup pemilihan materi yang berorientasi pada isu nyata, penggunaan model pembelajaran berbasis fenomena (*phenomenon-based learning*), *problem-based learning*, *project-based learning*, dan *socio-scientific issues*, serta pengembangan asesmen autentik yang mengukur kemampuan berpikir kritis, kolaborasi, kreativitas, dan kemampuan mengambil keputusan berbasis bukti. Selain itu, perkembangan teknologi digital dan kecerdasan artifisial memberikan peluang baru dalam implementasi ESD melalui simulasi perubahan iklim, analisis data lingkungan, pemodelan sistem bumi, hingga visualisasi risiko bencana secara interaktif. Integrasi teknologi tersebut menjadikan pembelajaran IPA lebih kontekstual, adaptif, dan berbasis data sehingga peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang lebih autentik. Sejalan dengan itu, Fredriksson *et al.* (2020) menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi ESD sangat dipengaruhi oleh integrasi kurikulum, strategi pembelajaran, dan budaya sekolah secara simultan, bukan hanya melalui penambahan materi keberlanjutan pada mata pelajaran tertentu.

Berdasarkan keseluruhan hasil sintesis, dapat dirumuskan bahwa prinsip-prinsip *Education for Sustainable Development* memiliki relevansi yang sangat kuat sebagai landasan transformasi pendidikan IPA pada era perubahan iklim. Relevansi tersebut tidak hanya terlihat pada kesesuaian tujuan pembelajaran, tetapi juga pada pengembangan kompetensi, strategi pembelajaran, sistem asesmen, serta pembentukan budaya belajar yang mendukung

keberlanjutan. Dengan menjadikan ESD sebagai paradigma pembelajaran, pendidikan IPA mampu menghasilkan peserta didik yang memiliki literasi sains, literasi lingkungan, literasi kebencanaan, kemampuan berpikir sistemik, dan kapasitas mengambil keputusan yang bertanggung jawab terhadap keberlanjutan. Temuan konseptual ini sekaligus memperkuat argumentasi bahwa transformasi pendidikan IPA perlu diarahkan pada pendekatan yang bersifat holistik dan transformatif sehingga mampu menjawab tantangan pembangunan berkelanjutan di abad ke-21.

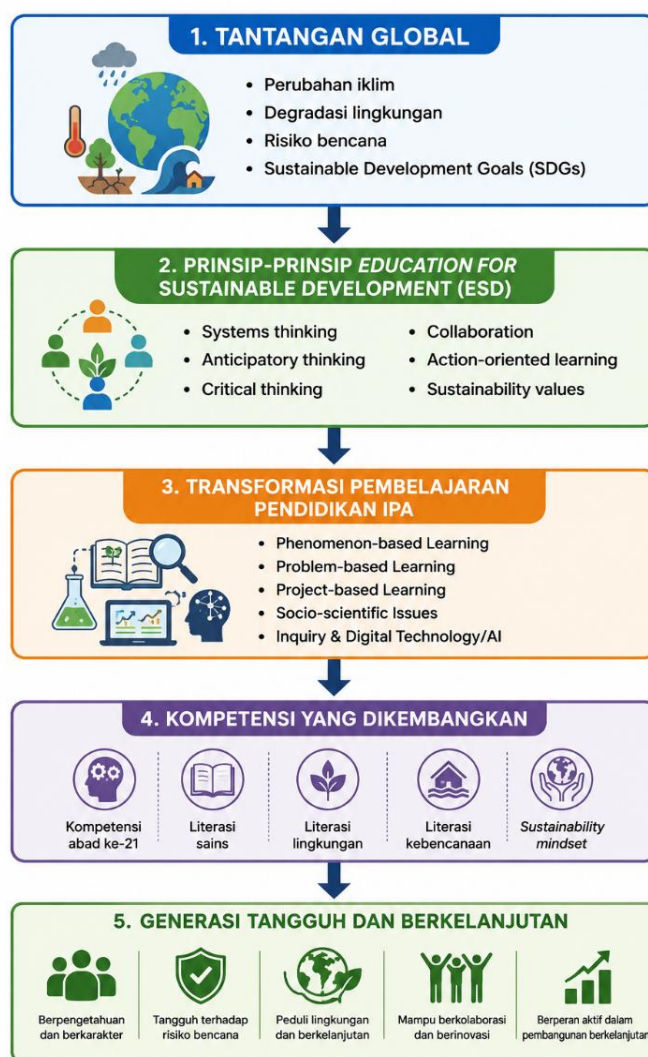
Kerangka Konseptual Transformasi Pendidikan IPA Berorientasi *Education for Sustainable Development* (ESD) untuk Penguatan Literasi Kebencanaan

Hasil sintesis konseptual menunjukkan bahwa transformasi pendidikan IPA berorientasi *Education for Sustainable Development* (ESD) memerlukan suatu kerangka yang mampu mengintegrasikan tantangan global, prinsip-prinsip keberlanjutan, proses pembelajaran, dan kompetensi yang diharapkan secara sistematis. Berbeda dengan pembelajaran IPA konvensional yang berorientasi pada penguasaan konsep, kerangka konseptual yang dihasilkan dari kajian ini menempatkan perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan meningkatnya risiko bencana sebagai konteks utama pembelajaran. Konteks tersebut menjadi titik awal dalam merancang pengalaman belajar yang memungkinkan peserta didik memahami hubungan antar sistem bumi, aktivitas manusia, dan dampaknya terhadap keberlanjutan. Dengan demikian, transformasi pendidikan IPA tidak hanya berfungsi meningkatkan literasi sains, tetapi juga membangun kemampuan peserta didik untuk menganalisis persoalan kompleks, mengambil keputusan berbasis bukti, dan melakukan tindakan adaptif terhadap berbagai risiko lingkungan. Kerangka ini memperluas hasil kajian Park (2020) yang menghubungkan pendidikan sains dengan pendidikan kebencanaan melalui perspektif ilmiah, serta mengintegrasikan rekomendasi UNESCO mengenai pengembangan kompetensi berkelanjutan ke dalam desain pembelajaran IPA.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kerangka konseptual tersebut dibangun atas empat komponen utama yang saling berhubungan. Komponen pertama adalah tantangan global, yang meliputi perubahan iklim, degradasi lingkungan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan meningkatnya risiko bencana sebagai konteks autentik pembelajaran. Komponen kedua adalah prinsip-prinsip ESD, yaitu pembelajaran berpusat pada keberlanjutan, berorientasi pada pemecahan masalah nyata, kolaboratif, partisipatif, reflektif, dan berbasis tindakan (*action-oriented learning*). Komponen ketiga merupakan implementasi dalam pembelajaran IPA, yang diwujudkan melalui pendekatan *phenomenon-based learning*, *problem-based learning*, *project-based learning*, *inquiry*, dan *socio-scientific issues* yang didukung pemanfaatan teknologi digital, simulasi ilmiah, serta kecerdasan artifisial. Komponen keempat adalah luaran pembelajaran, yaitu berkembangnya kompetensi abad ke-21, literasi lingkungan, literasi kebencanaan, serta karakter keberlanjutan (*sustainability mindset*). Keempat komponen tersebut membentuk hubungan kausal yang menunjukkan bahwa perubahan paradigma pembelajaran menjadi faktor penentu terbentuknya peserta didik yang adaptif terhadap tantangan pembangunan berkelanjutan.

Inti dari kerangka konseptual yang diusulkan terletak pada integrasi antara kompetensi keberlanjutan (*sustainability competencies*) dengan capaian pembelajaran IPA. Hasil sintesis literatur memperlihatkan bahwa kompetensi seperti *systems thinking*, *critical thinking*, *anticipatory competency*, *collaboration competency*, dan *integrated problem solving* memiliki keterkaitan langsung dengan indikator literasi kebencanaan. Peserta didik yang memiliki kemampuan berpikir sistemik akan lebih mudah memahami keterkaitan antara perubahan penggunaan lahan, emisi gas rumah kaca, perubahan iklim, dan meningkatnya kejadian

bencana. Sementara itu, kemampuan berpikir antisipatif memungkinkan peserta didik memprediksi risiko, menyusun strategi mitigasi, dan mengembangkan adaptasi berbasis bukti ilmiah. Temuan ini mendukung hasil penelitian Huang *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa pendidikan berbasis nilai keberlanjutan memperkuat pengambilan keputusan etis, serta sejalan dengan Gamage *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa pembelajaran STEM berbasis keberlanjutan meningkatkan kemampuan menyelesaikan persoalan kompleks secara kolaboratif. Dengan demikian, literasi kebencanaan bukan dipandang sebagai kompetensi yang berdiri sendiri, melainkan sebagai hasil integrasi berbagai kompetensi keberlanjutan yang dikembangkan melalui pembelajaran IPA.



Gambar 2. Kerangka Konseptual Transformasi Pendidikan IPA Berorientasi ESD untuk Penguatan Literasi Kebencanaan

Berdasarkan keseluruhan hasil sintesis, artikel ini merumuskan kerangka konseptual transformasi pendidikan IPA berorientasi ESD untuk penguatan literasi kebencanaan sebagaimana disajikan pada Gambar 2. Kerangka ini merupakan kontribusi konseptual utama artikel karena mengintegrasikan tantangan global, prinsip-prinsip ESD, strategi pembelajaran IPA, pengembangan kompetensi abad ke-21, serta luaran berupa literasi lingkungan dan literasi kebencanaan dalam satu model yang utuh. Berbeda dengan kajian sebelumnya yang umumnya hanya membahas ESD, pendidikan kebencanaan, atau pendidikan IPA secara terpisah, model

ini memperlihatkan hubungan sistemik antarkomponen sehingga dapat dijadikan acuan dalam pengembangan kurikulum, desain pembelajaran, penelitian, maupun penyusunan kebijakan pendidikan. Dengan demikian, transformasi pendidikan IPA tidak lagi dipahami sebagai perubahan metode pembelajaran semata, tetapi sebagai proses membangun ekosistem pendidikan yang mampu menghasilkan generasi yang memiliki kapasitas ilmiah, kemampuan adaptasi, kepedulian terhadap lingkungan, dan komitmen terhadap pembangunan berkelanjutan.

Implikasi dari kerangka konseptual yang dihasilkan tidak hanya terbatas pada proses pembelajaran di kelas, tetapi juga mencakup pengembangan kurikulum, asesmen, dan kebijakan pendidikan. Pada aspek kurikulum, isu perubahan iklim, pengurangan risiko bencana, dan pembangunan berkelanjutan perlu diintegrasikan secara horizontal maupun vertikal dalam capaian pembelajaran IPA. Pada aspek pembelajaran, guru perlu berperan sebagai fasilitator yang mengarahkan peserta didik melakukan investigasi terhadap persoalan lingkungan di sekitarnya melalui kegiatan inkuiri, proyek kolaboratif, eksperimen, dan analisis data. Selanjutnya, asesmen tidak cukup mengukur penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan berpikir kritis, argumentasi ilmiah, pengambilan keputusan, kolaborasi, serta tindakan nyata yang dilakukan peserta didik dalam menyelesaikan persoalan lingkungan. Pendekatan tersebut sesuai dengan rekomendasi Fredriksson *et al.* (2020) yang menekankan bahwa implementasi ESD harus dilakukan secara sistemik melalui kurikulum, pedagogi, budaya sekolah, dan sistem evaluasi agar mampu menghasilkan transformasi pendidikan yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Transformasi pendidikan IPA menjadi kebutuhan yang mendesak dalam merespons krisis iklim dan meningkatnya risiko bencana, karena pembelajaran yang masih berorientasi pada penguasaan konsep belum sepenuhnya mampu membekali peserta didik dengan kompetensi yang dibutuhkan untuk menghadapi tantangan pembangunan berkelanjutan. Prinsip-prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD) terbukti memiliki relevansi yang kuat sebagai paradigma transformasi pendidikan IPA melalui integrasi dimensi lingkungan, sosial, dan ekonomi ke dalam tujuan, materi, strategi pembelajaran, asesmen, serta budaya belajar sehingga mampu mengembangkan kompetensi abad ke-21, seperti berpikir sistemik, berpikir kritis, antisipatif, kolaboratif, pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi kebencanaan. Kerangka konseptual transformasi pendidikan IPA berorientasi ESD yang mengintegrasikan tantangan global, prinsip-prinsip ESD, pembelajaran IPA berbasis fenomena dan masalah nyata, serta pengembangan kompetensi berkelanjutan sebagai landasan untuk membentuk generasi yang tangguh, adaptif, dan bertanggung jawab terhadap keberlanjutan lingkungan. Kerangka konseptual ini dapat direkomendasikan sebagai referensi bagi pengembang kurikulum, pendidik, peneliti, dan pengambil kebijakan dalam merancang inovasi pendidikan IPA yang lebih kontekstual dan berorientasi masa depan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memvalidasi kerangka konseptual ini melalui penelitian empiris pada berbagai jenjang pendidikan, mengembangkan perangkat pembelajaran dan instrumen asesmen berbasis ESD, serta mengevaluasi efektivitas implementasinya dalam meningkatkan literasi kebencanaan, literasi lingkungan, dan kompetensi keberlanjutan peserta didik.

DAFTAR PUSTAKA

- Angglena, M., & Pandey, F. (2025). Pemetaan zona rawan gempa berdasarkan jejak historis gempa dan kerusakan infrastruktur. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 5(3), 204-213.
- Cabello, V. M., Véliz, K. D., Moncada-Arce, A. M., Irrarázaval García-Huidobro, M., & Juillerat, F. (2021). Disaster risk reduction education: Tensions and connections with sustainable development goals. *Sustainability*, 13(19), 10933.
- Chukwuma Sr, C. (2025). Invariance of extreme hydrologic events and climate change in the risk reduction on environment and health. *Greenfort International Journal of Applied Medical Science*, 3(2), 92-102.
- Feinstein, N. W., & Mach, K. J. (2020). Three roles for education in climate change adaptation. *Climate policy*, 20(3), 317-322.
- Fredriksson, U., N. Kusanagi, K., Gougoulakis, P., Matsuda, Y., & Kitamura, Y. (2020). A comparative study of curriculums for education for sustainable development (ESD) in Sweden and Japan. *Sustainability*, 12(3), 1123.
- Gamage, K. A., Ekanayake, S. Y., & Dehideniya, S. C. (2022). Embedding sustainability in learning and teaching: Lessons learned and moving forward—Approaches in STEM higher education programmes. *Education Sciences*, 12(3), 225.
- Ghazali, D. A., Guericolas, M., Thys, F., Sarasin, F., González, P. A., & Casalino, E. (2018). Climate change impacts on disaster and emergency medicine focusing on mitigation disruptive effects: an international perspective. *International journal of environmental research and public health*, 15(7), 1379.
- Glavič, P. (2020). Identifying key issues of education for sustainable development. *Sustainability*, 12(16), 6500.
- Hanna, R., & Oliva, P. (2016). Implications of climate change for children in developing countries. *The Future of Children*, 115-132.
- 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 (2071-1050)*, 13(21).
- Huang, R. X., Pagano, A., & Marengo, A. (2024). Values-based education for sustainable development (vbisd): introducing a pedagogical framework for education for sustainable development (esd) using a values-based education (vbe) approach. *Sustainability*, 16(9), 3562.
- Jha, M. K., & Dev, M. (2024). Impacts of climate change. In *Smart internet of things for environment and healthcare* (pp. 139-159). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Lor, P. J. (2019). *International and comparative librarianship: concepts and methods for global studies*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Nonoyama-Tarumi, Y., Hopkins, C., & Mckeown, R. (2016). Contributions of education for sustainable development (ESD) to quality education: A synthesis of research. *Journal of Education for Sustainable development*, 10(2), 226-242.
- Nugroho, P. A., & Dewi, N. D. L. (2025). Implementation of the project based learning model in science learning to improve scientific literacy on the issue of global climate change. *Scientica Education Journal*, 2(4), 26-35.
- Park, W. (2020). Beyond the 'two cultures' in the teaching of disaster: Or how disaster education and science education could benefit each other. *Educational Philosophy and Theory*, 52(13), 1434-1448.

- Park, W., Grace, M., Hutton, C., & Knowles, S. G. (2025). Science Education in an Age of Unnatural Disasters: An Introduction to the Special Issue: W. Park et al. *Science & Education*, 34(3), 957-967.
- Peduzzi, P. (2019). The disaster risk, global change, and sustainability nexus. *Sustainability*, 11(4), 957.
- Pradipta, D. D., & Hariyono, E. (2021). The effectiveness of science learning tools based on education sustainable development (ESD) to improve problem-solving skills. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 2(3), 342-353.
- Putri, V. N., Yuliani, H., & Santiani, S. (2025). Analisis Literatur: Pembelajaran IPA Integrasi Lahan Gambut. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 8(1), 27-36.
- Rahma, A., Mardiatno, D., & Hizbaron, D. R. (2024). Developing a theoretical framework: school ecosystem-based disaster risk education. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 33(1), 6-23.
- Rawat, A., Kumar, D., & Khati, B. S. (2024). A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach. *Journal of Water and Climate Change*, 15(1), 104-126.
- Ravitch, S. M., & Riggan, M. (2016). *Reason & rigor: How conceptual frameworks guide research*. Sage publications.
- Rumani, R. P. (2026). The Role of Science Learning in Building Climate Change Awareness in Students. *Journal Education Nusantara*, 1(1), 10-17.
- Ulfah, A. F., Hernani, & Suhandi, A. (2020, March). Implementing contextual based learning: a study on science literacy improvement within topics of earthquake and flood. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1521, No. 4, p. 042098). IOP Publishing.
- Uralovich, K. S., Toshmamatovich, T. U., Kubayevich, K. F., Sapaev, I. B., Saylaubaevna, S. S., Beknazarova, Z. F., & Khurramov, A. (2023). A primary factor in sustainable development and environmental sustainability is environmental education. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 21(4), 965-975.
- Zidny, R., Sjöström, J., & Eilks, I. (2020). A multi-perspective reflection on how indigenous knowledge and related ideas can improve science education for sustainability. *Science & education*, 29(1), 145-185.