
Apakah Validitas Desain Berimplikasi Pada Kepraktisan Dan Keefektifan? Bukti Dari Model Pembelajaran Berorientasi ESD dalam Pendidikan IPA**Fery Hermanto^{1*}, Hartono², Sutikno³, Arif Widiyatmoko⁴**¹Hermanto Foundation, Tulungagung² Universitas Negeri Semarang, Semarang³ Universitas Negeri Semarang, Semarang⁴ Universitas Negeri Semarang, Semarang*Email korespondensi: fhermanto26@students.unnes.ac.id**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kontribusi validitas desain terhadap kepraktisan dan keefektifan model pembelajaran IPA yang berorientasi pada Education for Sustainable Development (ESD). Menggunakan pendekatan design and development research (DDR) dengan desain metode campuran (*mixed methods*), penelitian ini mengevaluasi kualitas model melalui validasi ahli, analisis implementasi, dan penilaian dampak. Hasil validasi mengkategorikan validitas desain sebagai "Sangat Tinggi", memberikan landasan yang kuat untuk sintaks instruksionalnya. Analisis kepraktisan mengungkapkan bahwa keterlaksanaan proses pembelajaran, aktivitas guru dan siswa, serta respon guru seluruhnya berada dalam kategori "Sangat Baik", yang mengindikasikan tingginya keterterimaan dan kemudahan adopsi dalam setting kelas nyata. Lebih lanjut, keefektifan model dibuktikan oleh peningkatan signifikan pada skor literasi lingkungan siswa ($p < 0,05$), dengan perolehan N-gain berkategori sedang-ke-tinggi dan ukuran efek (*effect size*) yang besar (Cohen's $d = 0,91$). Analisis fenomenologis melengkapi temuan kuantitatif ini dengan mengungkap adanya "transisi epistemologis" yang mendalam pada diri siswa, yang mewujudkan dalam transformasi pemahaman ekologis, peningkatan kesadaran lingkungan, penguatan kapasitas reflektif, serta perbaikan keterampilan pengambilan keputusan yang berkelanjutan. Integrasi dari temuan-temuan ini menunjukkan bahwa meskipun validitas desain tidak secara langsung menjamin keefektifan pembelajaran, validitas berfungsi sebagai katalis penting melalui mediasi implementasi yang praktis dan partisipatif. Pada akhirnya, penelitian ini memperkuat keterkaitan konseptual antara validitas, kepraktisan, dan keefektifan dalam lanskap penelitian pengembangan pendidikan yang berorientasi pada keberlanjutan.

Kata kunci: validitas desain, kepraktisan, keefektifan, ESD, literasi lingkungan, fenomenologi, pembelajaran IPA

PENDAHULUAN

Penelitian pengembangan pendidikan menempatkan validitas, kepraktisan, dan keefektifan sebagai indikator utama dalam menentukan kualitas suatu desain pembelajaran (Nieveen, 1999; Plomp, 2007; van den Akker, 1999). Ketiga aspek ini digunakan secara luas dalam penelitian desain dan pengembangan (design and development research) untuk mengevaluasi kualitas produk pendidikan sebelum diimplementasikan dalam konteks pembelajaran nyata. Validitas menunjukkan kesesuaian konseptual dan konstruk dari desain pembelajaran, kepraktisan merepresentasikan tingkat keterlaksanaan dan kemudahan penggunaan model, sedangkan keefektifan berkaitan dengan kemampuan model dalam menghasilkan perubahan yang bermakna pada hasil belajar (Plomp & Nieveen, 2013). Namun demikian, sebagian besar penelitian pengembangan masih cenderung melaporkan ketiga aspek ini sebagai hasil evaluasi yang berdiri sendiri, sehingga hubungan antardimensi kualitas desain pembelajaran belum banyak dianalisis secara empiris dan integratif (McKenney & Reeves, 2012; Reeves, 2006). Kondisi ini menyebabkan pemahaman tentang bagaimana validitas desain berkontribusi terhadap implementasi dan hasil pembelajaran masih relatif terbatas.

Validitas desain telah dipandang sebagai landasan utama dalam pengembangan model pembelajaran karena validitas menentukan kesesuaian antara landasan teoretis, sintaks pembelajaran, tujuan pembelajaran, dan karakteristik siswa (van den Akker, 1999; Branch, 2009). Kendati demikian, validitas yang tinggi tidak selalu menjamin bahwa suatu model dapat diimplementasikan secara praktis atau menghasilkan dampak pembelajaran yang optimal. Sejumlah studi menunjukkan bahwa model pembelajaran yang valid secara konseptual masih menghadapi kendala implementasi, seperti kompleksitas sintaks, keterbatasan waktu pembelajaran, dan rendahnya keterlibatan siswa selama proses pembelajaran (Fullan, 2016; McKenney & Reeves, 2012). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi model pembelajaran dipengaruhi oleh konteks pembelajaran, pengalaman guru, dan keterlibatan aktif siswa dalam aktivitas belajar (Biggs & Tang, 2011; Rogers, 2003). Temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa hubungan antara validitas, kepraktisan, dan keefektifan bersifat kontekstual dan terjadi secara sekuensial, sehingga memerlukan analisis yang lebih mendalam melalui pendekatan empiris.

Kebutuhan akan model pembelajaran yang valid, praktis, dan efektif menjadi semakin penting dalam konteks pembelajaran yang berorientasi pada Education for Sustainable Development (ESD). UNESCO (2017, 2020) menegaskan bahwa pendidikan yang berorientasi pada keberlanjutan tidak hanya menekankan penguasaan konsep pengetahuan, tetapi juga pengembangan kesadaran ekologis, kemampuan reflektif, keterampilan berpikir kritis, dan pengambilan keputusan berbasis keberlanjutan. Pembelajaran IPA dalam konteks ESD menuntut siswa untuk mampu mengaitkan konsep-konsep sains dengan permasalahan lingkungan nyata melalui pengalaman belajar yang kontekstual dan partisipatif (Burmeister *et al.*, 2012; Wals, 2015). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis keberlanjutan mampu meningkatkan literasi lingkungan, kesadaran ekologis, dan keterampilan berpikir reflektif siswa ketika pembelajaran dirancang secara kontekstual dan berorientasi pada pengalaman hidup nyata (Boeve-de Pauw *et al.*, 2015; Ardoin *et al.*, 2018; Monroe *et al.*, 2019). Namun, sebagian besar studi ini masih menitikberatkan pada capaian keefektifan pembelajaran daripada mengkaji keterkaitan antara kualitas desain model dan keberhasilan implementasi pembelajaran secara keseluruhan.

Keefektifan pembelajaran dalam konteks ESD juga tidak dapat dipresentasikan secara memadai hanya melalui data kuantitatif peningkatan hasil belajar siswa. Pembelajaran berbasis keberlanjutan melibatkan perubahan cara berpikir siswa, kesadaran lingkungan, dan kemampuan reflektif yang bersifat kontekstual dan subjektif (Sterling, 2010; Wals & Benavot, 2017). Oleh karena itu, pemahaman terhadap dampak pembelajaran memerlukan pendekatan yang mampu menangkap pengalaman belajar siswa secara lebih mendalam. Creswell dan Plano Clark (2018) menjelaskan bahwa pendekatan metode campuran memungkinkan integrasi data kuantitatif dan kualitatif guna menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap fenomena pendidikan. Analisis kuantitatif dapat digunakan untuk mengidentifikasi tren peningkatan hasil belajar melalui skor pretest-posttest, N-gain, dan effect size, sedangkan pendekatan fenomenologis membantu menjelaskan bagaimana siswa mengalami proses pembelajaran dan memaknai pengalaman belajar tersebut (Creswell, 2011; Patton, 2015).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara validitas desain, kepraktisan implementasi, dan keefektifan model pembelajaran berorientasi ESD dalam pembelajaran IPA. Penelitian ini tidak hanya mendeskripsikan kualitas model berdasarkan ketiga aspek tersebut, tetapi juga mengeksplorasi keterkaitan konseptual dan empiris antara validitas, kepraktisan, dan keefektifan melalui integrasi temuan kuantitatif dan fenomenologis. Analisis ini diharapkan dapat berkontribusi dalam memperkuat kerangka teoretis penelitian pengembangan pendidikan, khususnya dalam memahami bagaimana desain pembelajaran yang valid dapat mendukung implementasi yang lebih praktis serta menghasilkan pengalaman belajar yang lebih efektif dan bermakna dalam konteks pendidikan berorientasi keberlanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan design and development research yang dipadukan dengan desain metode campuran (mixed methods) tipe sequential explanatory (Creswell & Plano Clark, 2011) untuk menguji hubungan antara validitas desain, kepraktisan, dan keefektifan pada model pembelajaran IPA berorientasi Education for Sustainable Development (ESD). Tahap kuantitatif berfungsi untuk mengevaluasi kualitas model yang dikembangkan, sedangkan tahap kualitatif memberikan pemahaman mendalam tentang pengalaman belajar siswa. Penelitian ini mengadopsi model kualitas desain sekuensial yang menempatkan validitas desain, kepraktisan, dan keefektifan sebagai dimensi yang saling terkait dalam kualitas pembelajaran (Nieveen, 1999; Plomp, 2007).

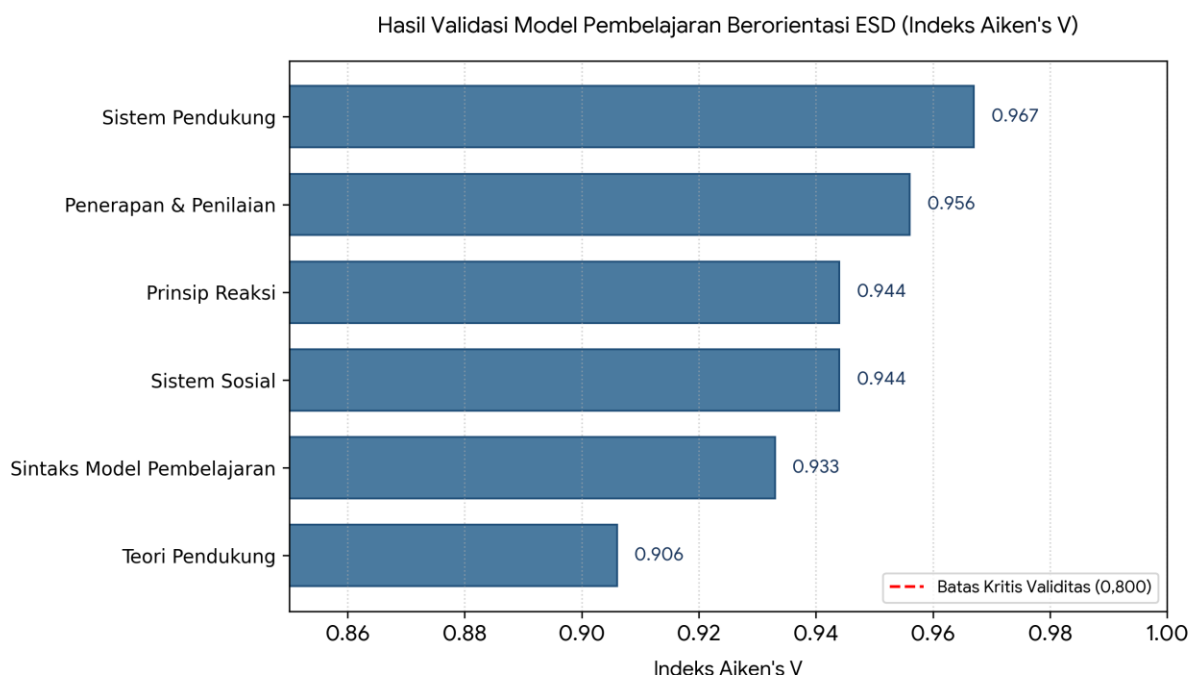
Penilaian ahli menetapkan validitas desain melalui evaluasi kesesuaian isi (content) dan konstruk (construct). Keterlaksanaan pembelajaran dan respon guru menggambarkan tingkat kepraktisan model. Peningkatan literasi lingkungan siswa melalui desain pretest–posttest menunjukkan tingkat keefektifan model. Penelitian ini menggunakan perspektif mediasi konseptual yang memposisikan kepraktisan sebagai variabel yang berpotensi memediasi hubungan antara validitas desain dan keefektifan pembelajaran. Analisis tidak melibatkan pemodelan struktural penuh, melainkan mengeksplorasi hubungan sekuensial antarvariabel melalui statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif menggambarkan tren data, sedangkan paired sample t-test / uji Wilcoxon menguji signifikansi peningkatan hasil belajar. Analisis ukuran efek (Cohen's d) mengidentifikasi besarnya pengaruh model pembelajaran terhadap peningkatan literasi lingkungan.

Penelitian ini juga melibatkan analisis kualitatif dengan pendekatan fenomenologis sebagai upaya untuk mengeksplorasi pengalaman belajar siswa selama implementasi model yang dikembangkan. Wawancara siswa dan refleksi tertulis menghasilkan data yang dianalisis untuk mengidentifikasi tema-tema yang berkaitan dengan pemahaman ekologis, kesadaran lingkungan, dan pengambilan keputusan berbasis keberlanjutan. Hasil analisis kualitatif melengkapi temuan kuantitatif melalui penyajian bukti kontekstual dan pengalaman belajar siswa. Integrasi data kuantitatif dan kualitatif menghasilkan pemahaman komprehensif mengenai hubungan antara validitas desain, kepraktisan, dan keefektifan pada hasil belajar nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validitas Model Pembelajaran

Penilaian para ahli menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR (berorientasi ESD) memiliki tingkat validitas isi yang sangat tinggi pada seluruh aspek yang dievaluasi. Analisis validitas menggunakan koefisien Aiken's V melibatkan 10 orang validator dari bidang pendidikan IPA, pendidikan lingkungan, pedagogi, Education for Sustainable Development (ESD), serta praktisi pembelajaran IPA SMP. Seluruh aspek memperoleh nilai Aiken's V di atas nilai kritis 0,800, sehingga seluruh komponen model dinyatakan valid.



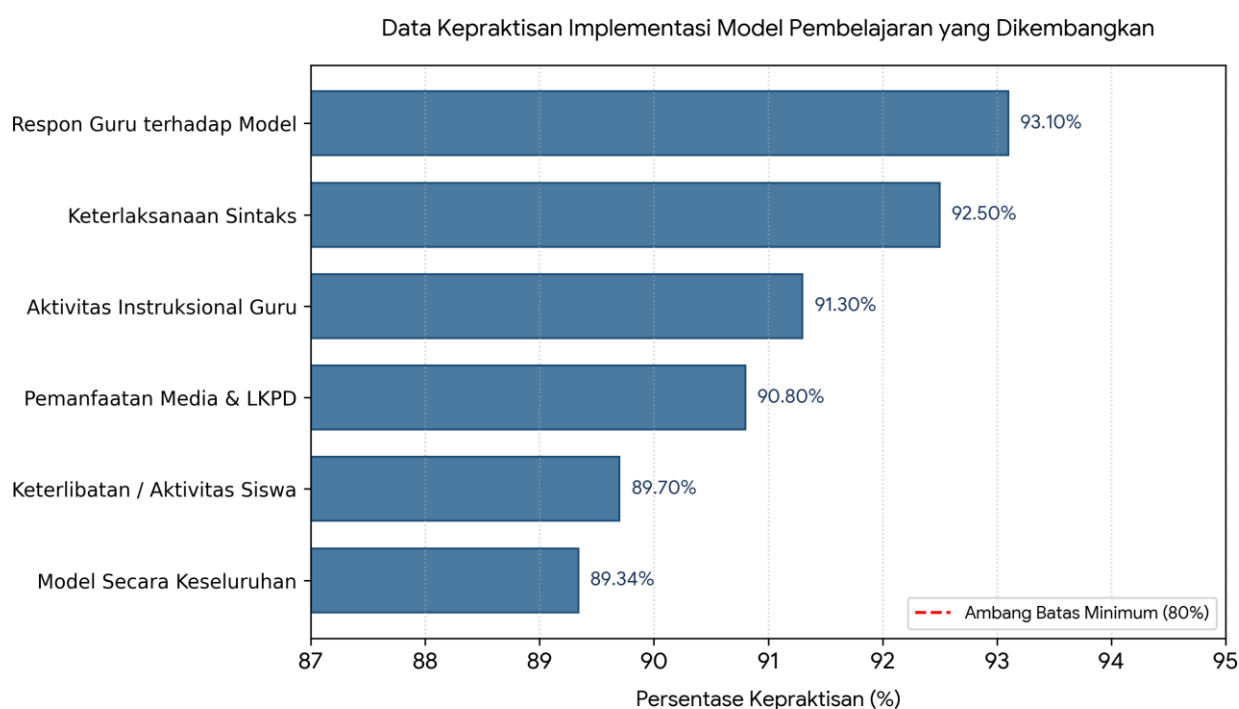
Gambar 1. Hasil Penilaian Validator terhadap Model Pembelajaran Berorientasi ESD yang Dikembangkan

Visualisasi pada Gambar 1 merepresentasikan distribusi nilai validitas di seluruh dimensi fundamental model, yang secara kolektif menempati klasifikasi "Sangat Valid". Temuan empiris menunjukkan bahwa indeks Aiken's V tertinggi dicapai oleh aspek Sistem Pendukung (Support System) dengan $V = 0,967$, sedangkan aspek Teori Pendukung mencatat skor terendah namun tetap moderat-tinggi ($V = 0,906$). Meskipun terdapat variasi numerik, seluruh parameter berada jauh di atas ambang batas kritis validitas, yang menegaskan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR memiliki kekokohan konseptual dan struktur pedagogis yang kuat pada setiap komponen penyusunnya. Secara teoretis, apresiasi tinggi dari validator terhadap Teori Pendukung mencerminkan keberhasilan model dalam mengonstruksi sintesis antara prinsip-prinsip Education for Sustainable Development (ESD) dan domain pembelajaran IPA. Integrasi triadik antara dimensi kognitif, afektif, dan perilaku dalam model ini dinilai mampu mentransformasi isu-isu keberlanjutan yang abstrak menjadi pengalaman belajar yang konkret. Selanjutnya, Sintaks Model menunjukkan keterkaitan organik dengan paradigma pembelajaran kontekstual; setiap fase dirancang untuk membedah isu keberlanjutan melalui lensa sains fungsional. Pada dimensi interaksional, Sistem Sosial dan Prinsip Reaksi terjustifikasi sebagai instrumen yang efektif dalam mengorkestrasi ekosistem kelas yang kolaboratif, reflektif, dan partisipatif.

Dominasi skor pada aspek Sistem Pendukung memberikan indikasi krusial mengenai kepraktisan model. Para validator mengonfirmasi bahwa ketersediaan media, keberagaman sumber belajar, dan rancangan aktivitas kontekstual dalam Model Pembelajaran PEMIKIR memiliki relevansi yang tepat dengan karakteristik pendidikan IPA berorientasi keberlanjutan. Integrasi ekosistem lokal dan wacana isu-isu nyata dalam model ini tidak hanya berfungsi sebagai latar belakang pembelajaran, tetapi juga bertindak sebagai stimulan untuk menghadirkan pembelajaran yang autentik dan bermakna. Secara epistemologis, hasil validasi konstruk ini membuktikan adanya koherensi internal yang sangat kuat antarkomponen pembelajaran. Terdapat konsistensi logis yang menghubungkan landasan teoretis, alur sintaks, peran guru-siswa, dan instrumen penilaian. Sinergi ini menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR tidak hanya memenuhi prasyarat legitimasi isi melalui kesesuaian materi, tetapi juga memiliki keunggulan struktur teoretis yang mapan. Dengan demikian, model ini memiliki basis desain yang akseleratif untuk diimplementasikan pada skala yang lebih luas, memberikan kepastian bahwa model memiliki fondasi konseptual yang andal untuk mendukung transformasi pembelajaran IPA menuju literasi keberlanjutan yang holistik.

Kepraktisan dalam Implementasi Model Pembelajaran

Hasil implementasi menunjukkan bahwa model pembelajaran PEMIKIR memiliki tingkat kepraktisan yang sangat baik dalam proses pembelajaran IPA. Analisis kepraktisan dilakukan melalui observasi keterlaksanaan pembelajaran dan respon guru selama penerapan model di dalam kelas. Observasi melibatkan observer yang menilai keterlaksanaan setiap sintaks pembelajaran berdasarkan aktivitas guru dan siswa selama proses implementasi.



Gambar 2. Data Kepraktisan Implementasi Model Pembelajaran yang Dikembangkan

Data empiris yang direpresentasikan pada Gambar 2 menegaskan bahwa model Pembelajaran PEMIKIR memiliki tingkat keberterimaan fungsional yang sangat tinggi, dengan seluruh parameter kepraktisan melampaui ambang batas 89%. Indikator Respon Guru mencatat skor tertinggi sebesar 93,10%, yang menunjukkan tingkat antusiasme dan kemudahan adaptasi para pendidik terhadap kerangka kerja model. Di sisi lain, meskipun Aktivitas Siswa mencatat skor terendah secara relatif (89,70%), capaian tersebut tetap berada dalam kategori "Sangat Baik" dan menunjukkan konsistensi implementasi yang solid. Secara holistik, temuan ini menunjukkan bahwa model PEMIKIR memiliki keterlaksanaan prosedural yang tangguh, mampu menjembatani desain konseptual dengan realitas instruksional di ruang kelas IPA yang berorientasi keberlanjutan. Keefektifan implementasi Sintaks Pembelajaran (92,50%) memberikan bukti kuat tentang ketepatan (fidelity) implementasi model ini. Skor tersebut mencerminkan bahwa alur fase pembelajaran—mulai dari orientasi masalah hingga pengambilan keputusan berbasis keberlanjutan—bersifat logis dan dapat dioperasionalkan secara presisi oleh guru. Kemampuan guru dalam mengelola pembelajaran secara sistematis membuktikan bahwa struktur sintaks model Pembelajaran PEMIKIR tidak hanya kokoh secara teoretis, tetapi juga adaptif secara praktis. Sinergi ini diperkuat oleh Aktivitas Guru (91,30%) yang memperlihatkan peran sentral pendidik sebagai fasilitator dan katalis dalam mengintegrasikan isu keberlanjutan ke dalam konsep sains kontekstual.

Pada dimensi partisipatif, Aktivitas Siswa (89,70%) merefleksikan transformasi peran siswa dari penerima informasi yang pasif menjadi agen belajar yang aktif. Keterlibatan intensif dalam investigasi lingkungan dan diskusi reflektif menunjukkan bahwa model Pembelajaran PEMIKIR berhasil menstimulasi keterlibatan kognitif dan perilaku siswa. Capaian ini memvalidasi bahwa

perancangan aktivitas dalam model mampu menciptakan ekosistem pembelajaran kolaboratif, di mana siswa merasa relevan dengan permasalahan lingkungan yang diangkat sebagai objek kajian. Keberhasilan implementasi ini didukung secara signifikan oleh pemanfaatan Media dan LKPD (90,80%). Perangkat pendukung ini bertindak sebagai perancah instruksional (instructional scaffolding) yang memfasilitasi abstraksi konsep sains menjadi solusi konkret terhadap isu keberlanjutan lokal. Respon positif dari guru (93,10%) secara eksplisit menegaskan bahwa fleksibilitas dan kemudahan pemahaman model merupakan keunggulan kompetitif utamanya. Guru memandang model Pembelajaran PEMIKIR sebagai instrumen akselerasi dalam menyajikan pembelajaran IPA yang bermakna, karena mampu menyatukan kurikulum akademik dengan tanggung jawab ekologis siswa. Secara teoretis dan praktis, hasil evaluasi ini memberikan legitimasi bahwa model Pembelajaran PEMIKIR telah memenuhi standar kegunaan pedagogis. Koherensi yang tinggi antara implementasi sintaks, aktivitas guru-siswa, dan dukungan media mengindikasikan bahwa model ini siap sepenuhnya untuk diimplementasikan pada skala yang lebih luas. Temuan praktis ini merupakan fondasi krusial yang memastikan bahwa keberhasilan model pada tahap berikutnya—yaitu pengujian keefektifan—didukung oleh mekanisme instruksional yang telah teruji keandalannya di lapangan.

Keefektifan Implementasi Model Pembelajaran

Hasil implementasi menunjukkan bahwa model pembelajaran PEMIKIR efektif dalam meningkatkan literasi lingkungan siswa pada pembelajaran IPA berorientasi Education for Sustainable Development (ESD). Analisis keefektifan dilakukan melalui perbandingan skor pretest dan posttest, perhitungan N-gain, uji signifikansi peningkatan literasi lingkungan siswa menggunakan uji Wilcoxon, dan analisis ukuran efek (effect size) untuk mengidentifikasi besarnya pengaruh model terhadap peningkatan literasi lingkungan pada populasi subjek penelitian.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Skor Literasi Lingkungan Siswa

Variabel	N	Mean (Rata-rata)	SD (Standar Deviasi)	Minimum	Maksimum
Pretest	32	56,4	8,12	42	71
Posttest	32	82,7	6,45	70	94
N-Gain	32	0,68	0,11	0,45	0,87

Tabel 2. Hasil Uji Wilcoxon, N-Gain, dan Ukuran Efek (Effect Size)

Analisis	Hasil	Interpretasi
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.000	Perbedaan Signifikan ($p < 0,05$)
Positive Ranks (Peringkat Positif)	32	Seluruh siswa mengalami peningkatan skor
Negative Ranks (Peringkat Negatif)	0	Tidak ada penurunan skor
Ties (Skor Sama)	0	Tidak ada skor yang identik / stagnan
N-Gain	0.68	Sedang – Tinggi (Moderate–High)
Effect Size (Cohen's d)	0.91	Besar (Large Effect)

Analisis statistik deskriptif yang disajikan pada Tabel 1 mengonfirmasi eskalasi yang sangat signifikan pada pencapaian literasi lingkungan siswa setelah implementasi Model Pembelajaran PEMIKIR. Skor rata-rata mengalami peningkatan substansial dari 56,4 pada tahap pretest menjadi 82,7 pada tahap posttest. Selain itu, penurunan nilai standar deviasi setelah intervensi mengindikasikan penyempitan kesenjangan capaian. Fenomena ini mencerminkan bahwa performa literasi lingkungan siswa menjadi lebih homogen setelah menerima perlakuan. Dengan kata lain, Model Pembelajaran PEMIKIR tidak hanya efektif untuk kelompok siswa dengan kemampuan akademik tinggi, tetapi juga mampu mengakselerasi kemampuan siswa pada kelompok bawah secara setara. Untuk menguji signifikansi perbedaan skor secara inferensial, dilakukan analisis menggunakan uji Wilcoxon Signed-Rank (Tabel 2) dengan mempertimbangkan karakteristik data yang dianalisis. Hasil pengujian menunjukkan nilai signifikansi asimtotik sebesar 0,000 ($p < 0,05$), yang memberikan bukti empiris sangat kuat untuk menolak hipotesis nol (H_0). Temuan ini mengonfirmasi bahwa perbedaan antara kondisi sebelum dan sesudah intervensi adalah signifikan secara statistik. Lebih jauh lagi, analisis

mendalam terhadap parameter peringkat (ranks) menunjukkan bahwa seluruh subjek uji mengalami peningkatan skor (positive ranks = 32), sementara tidak ditemukan adanya penurunan skor (negative ranks = 0) maupun stagnasi (ties = 0). Karakteristik data ini membuktikan bahwa model PEMIKIR memiliki ketangguhan (robustness/reliabilitas) tinggi dalam memberikan dampak yang konsisten dan universal terhadap penguatan literasi lingkungan di seluruh sampel penelitian.

Keefektifan peningkatan kapasitas literasi lingkungan diukur secara kuantitatif melalui perhitungan Normalized Gain (N-gain), yang menghasilkan indeks rata-rata 0,68 (klasifikasi sedang mendekati tinggi). Secara pedagogis, capaian ini menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR memiliki keefektifan tinggi dalam memfasilitasi rekonstruksi skema kognitif siswa. Peningkatan ini tidak hanya terwujud pada dimensi kognitif tingkat rendah (pemahaman konsep sains berorientasi keberlanjutan), tetapi juga meluas ke keterampilan berpikir tingkat tinggi (HOTS), seperti kemampuan menganalisis anomali ekologis, mengidentifikasi akar permasalahan lingkungan, serta mengonstruksi pemikiran sistemik guna menghubungkan sains teoretis dengan mitigasi isu lingkungan lokal di sekitar mereka. Meskipun signifikansi statistik telah terbukti, pengujian signifikansi praktis tetap diperlukan untuk mengukur dampak nyata intervensi di lapangan. Melalui estimasi Effect Size menggunakan rumus Cohen's d, diperoleh nilai 0,91 yang termasuk dalam kategori efek besar (large effect). Temuan ini membuktikan bahwa perubahan skor yang terjadi bukan sekadar artefak statistik akibat ukuran sampel, melainkan merepresentasikan efek perlakuan yang sangat kuat dan bermakna secara praktis dalam ekosistem pembelajaran nyata. Nilai effect size yang tinggi ini memvalidasi kapasitas model PEMIKIR sebagai intervensi pedagogis yang andal dan aplikatif.

Secara epistemologis, konvergensi temuan pada Tabel 1 dan Tabel 2 memberikan penegasan kuat bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR telah berhasil mengintegrasikan dimensi kurikulum sains dengan nilai-nilai Education for Sustainable Development (ESD). Keberhasilan model ini terletak pada kemampuannya menghadirkan pembelajaran yang kontekstual, reflektif, dan transformatif. Dengan landasan teoretis yang kokoh dan bukti empiris keefektifan yang sangat baik, Model Pembelajaran PEMIKIR memiliki legitimasi akademik untuk direkomendasikan sebagai salah satu solusi instruksional dalam mewujudkan pendidikan IPA yang tidak hanya berfokus pada literasi akademik semata, tetapi juga pada pembentukan kesadaran dan tanggung jawab ekologis siswa secara holistik.

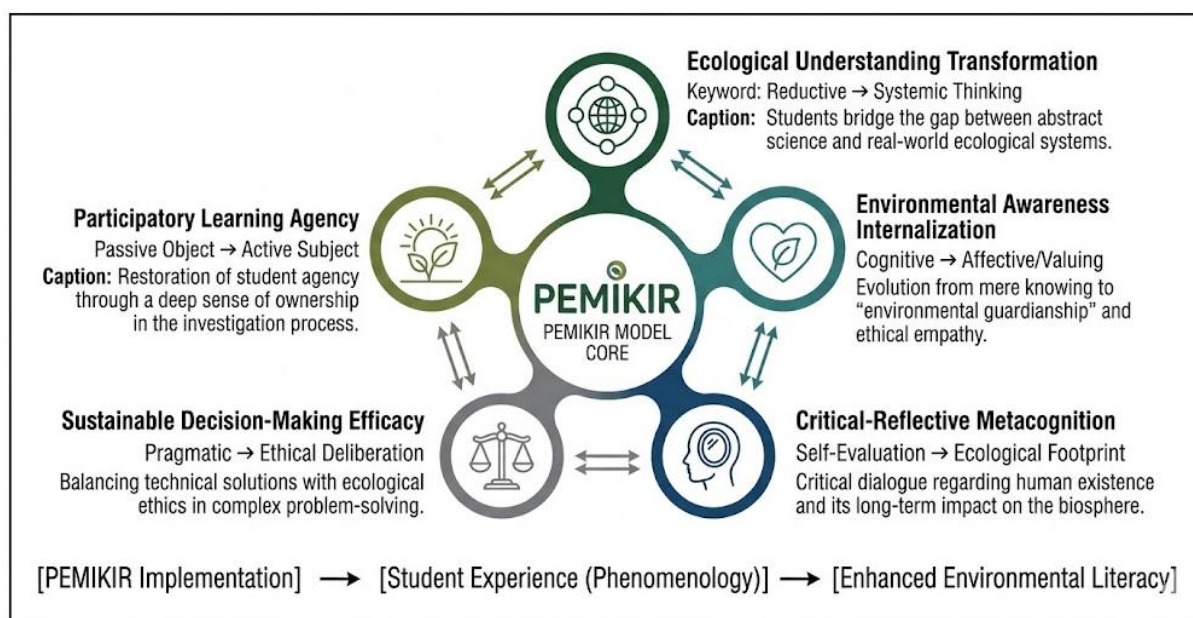
Temuan Fenomenologis

Analisis fenomenologis dilakukan untuk memahami pengalaman belajar siswa selama implementasi Model Pembelajaran PEMIKIR dalam pembelajaran IPA berorientasi Education for Sustainable Development (ESD). Analisis data mengikuti tahapan fenomenologis Colaizzi yang meliputi identifikasi pernyataan signifikan, perumusan makna, pengelompokan tema, penyusunan deskripsi komprehensif, dan interpretasi esensi pengalaman belajar siswa. Proses analisis melibatkan data wawancara mendalam dan refleksi tertulis siswa setelah mengikuti pembelajaran. Hasil analisis menunjukkan bahwa siswa mengalami perubahan pemahaman terhadap isu-isu lingkungan setelah berpartisipasi dalam pembelajaran menggunakan Model Pembelajaran PEMIKIR. Sebagian besar siswa menyatakan bahwa pembelajaran membantu mereka memahami keterkaitan antara konsep sains dan permasalahan lingkungan dalam kehidupan sehari-hari. Siswa tidak lagi memandang materi IPA sebagai konsep teoretis belaka, melainkan sebagai pengetahuan yang memiliki relevansi langsung dengan kelestarian lingkungan. Temuan kualitatif ini sejalan dengan peningkatan hasil belajar kuantitatif yang menunjukkan kenaikan skor posttest, nilai N-gain kategori sedang-tinggi, dan effect size kategori besar setelah implementasi model pembelajaran.

Tabel 3. Tema-Tema Fenomenologis Pengalaman Belajar Siswa

Tema Utama	Deskripsi Pengalaman Siswa	Indikasi Capaian Pembelajaran
Transformasi Pemahaman Ekologis (Ecological Understanding Transformation)	Siswa memahami keterkaitan antara konsep sains dan isu lingkungan secara lebih kontekstual.	Siswa mampu menjelaskan hubungan antara aktivitas manusia dan dampak lingkungan.

Tema Utama	Deskripsi Pengalaman Siswa	Indikasi Capaian Pembelajaran
Internalisasi Kesadaran Lingkungan (Environmental Awareness)	Siswa menunjukkan peningkatan kepedulian terhadap masalah lingkungan di sekitar mereka.	Siswa menunjukkan perubahan menuju perilaku yang bertanggung jawab terhadap lingkungan.
Pembelajaran Reflektif (Reflective Learning)	Siswa merefleksikan dampak perilaku manusia terhadap keberlanjutan lingkungan.	Siswa mampu mengevaluasi perilaku sehari-hari yang mempengaruhi lingkungan.
Pengambilan Keputusan Berorientasi Keberlanjutan (Sustainability-Oriented Decision Making)	Siswa mempertimbangkan aspek lingkungan ketika menentukan strategi pemecahan masalah.	Siswa mampu memilih solusi berbasis keberlanjutan untuk mengatasi masalah lingkungan.
Keterlibatan Aktif dalam Pembelajaran (Active Engagement in Learning)	Siswa terlibat lebih aktif melalui diskusi, observasi, dan investigasi lingkungan.	Siswa menunjukkan partisipasi aktif selama kegiatan pembelajaran dan diskusi kelas.



Gambar 3. Transformasi Fenomenologi dalam Model PEMIKIR

Tema transformasi pemahaman ekologis menunjukkan bahwa siswa mengalami perubahan dalam cara berpikir mengenai konsep-konsep lingkungan setelah mengikuti pembelajaran. Siswa menyatakan bahwa aktivitas observasi dan investigasi lingkungan membantu mereka memahami hubungan antara aktivitas manusia, polusi, dan kelestarian ekosistem. Hasil pembelajaran menunjukkan bahwa siswa mampu menjelaskan keterkaitan antara konsep sains dan permasalahan lingkungan secara lebih kontekstual dibandingkan sebelum implementasi pembelajaran. Tema kesadaran lingkungan menunjukkan bahwa siswa mulai memperlihatkan kepedulian terhadap kondisi lingkungan di sekitar mereka. Sejumlah siswa menyatakan keinginan untuk mengurangi penggunaan plastik, menjaga kebersihan lingkungan, dan menghemat penggunaan sumber daya setelah mengikuti pembelajaran. Temuan ini mengindikasikan adanya perubahan pada aspek afektif yang mendukung peningkatan literasi lingkungan siswa. Tema pembelajaran reflektif menunjukkan bahwa siswa melakukan proses refleksi terhadap dampak perilaku manusia terhadap lingkungan. Kegiatan diskusi dan refleksi membantu siswa mengevaluasi kebiasaan sehari-hari yang berkaitan dengan isu keberlanjutan. Hasilnya menunjukkan bahwa siswa mampu mengidentifikasi perilaku yang berpotensi merusak lingkungan dan mempertimbangkan alternatif yang lebih berkelanjutan.

Tema pengambilan keputusan berkelanjutan menunjukkan bahwa siswa mulai mempertimbangkan aspek lingkungan ketika menentukan solusi untuk suatu masalah. Siswa tidak hanya berfokus pada penyelesaian masalah secara praktis, tetapi juga mempertimbangkan dampak ekologis dari keputusan yang diambil. Temuan ini menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR membantu siswa mengembangkan keterampilan berpikir kritis berbasis keberlanjutan. Tema keterlibatan aktif dalam pembelajaran menunjukkan bahwa siswa merasa lebih terlibat selama proses pembelajaran. Aktivitas diskusi, observasi lapangan, investigasi lingkungan, dan refleksi memberikan ruang bagi siswa untuk berpartisipasi secara aktif dalam proses pembelajaran. Kondisi ini mengindikasikan bahwa keterlibatan siswa selama pembelajaran berkontribusi terhadap peningkatan pemahaman dan hasil belajar siswa secara menyeluruh.

Secara keseluruhan, hasil analisis fenomenologis menunjukkan bahwa implementasi Model Pembelajaran PEMIKIR tidak hanya meningkatkan hasil belajar secara kuantitatif, tetapi juga menghasilkan pengalaman belajar yang bermakna bagi siswa. Temuan fenomenologis memperkuat capaian kuantitatif mengenai peningkatan literasi lingkungan melalui transformasi pemahaman ekologis, internalisasi kesadaran lingkungan, keterlibatan aktif siswa, dan keterampilan pengambilan keputusan berbasis keberlanjutan.

Integrasi Temuan Penelitian

Integrasi temuan kuantitatif dan kualitatif menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR memiliki hubungan yang konsisten antara validitas desain, kepraktisan implementasi, dan keefektifan pembelajaran. Hasil validitas menunjukkan bahwa model memiliki kualitas konseptual dan pedagogis yang kuat, sedangkan hasil implementasi menunjukkan bahwa model dapat diterapkan secara praktis dalam pembelajaran IPA yang berorientasi pada Education for Sustainable Development (ESD). Keefektifan model juga terlihat melalui peningkatan signifikan pada literasi lingkungan siswa berdasarkan hasil pretest–posttest, nilai N-gain, dan effect size.

Tabel 4. Integrasi Temuan Kuantitatif dan Kualitatif

Aspek Penelitian	Temuan Kuantitatif	Temuan Kualitatif	Interpretasi Terintegrasi
Validitas Desain (Design Validity)	Aiken's V berkisar antara 0,906 – 0,967 (Sangat Valid)	Siswa mempersepsikan kegiatan pembelajaran sebagai hal yang bermakna dan relevan	Desain konseptual yang kokoh mendukung terciptanya pengalaman belajar yang bermakna
Kepraktisan (Practicality)	Skor keterlaksanaan implementasi mencapai 92,5%	Siswa terlibat secara aktif dalam sesi diskusi dan investigasi lapangan	Implementasi yang praktis memfasilitasi partisipasi aktif siswa secara optimal
Keefektifan (Effectiveness)	N-Gain = 0,68 (Sedang-Tinggi); Cohen's d = 0,91 (Efek Besar)	Siswa menunjukkan kesadaran ekologis dan kemampuan berpikir reflektif	Hasil belajar yang efektif didukung oleh pengalaman belajar yang transformatif
Pembelajaran Berorientasi Keberlanjutan (Sustainability-Oriented)	Peningkatan signifikan pada skor literasi lingkungan ($p < 0,05$)	Siswa mempertimbangkan dampak lingkungan dalam proses pengambilan keputusan	Pembelajaran mendorong pemahaman kontekstual yang berorientasi pada keberlanjutan

Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil kuantitatif dan kualitatif saling mendukung satu sama lain. Skor validitas desain yang tinggi menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR memiliki konsistensi konseptual yang memadai untuk mendukung pembelajaran berbasis keberlanjutan. Temuan ini diperkuat oleh hasil fenomenologis yang menunjukkan bahwa siswa memandang aktivitas pembelajaran sebagai pengalaman belajar yang relevan dan bermakna. Hasil kepraktisan implementasi menunjukkan bahwa model dapat diterapkan secara optimal melalui keterlaksanaan sintaks pembelajaran, aktivitas guru, aktivitas siswa, serta respon positif dari guru terhadap penggunaan model. Temuan fenomenologis menunjukkan bahwa keterlibatan aktif siswa dalam diskusi, observasi lingkungan, dan refleksi pembelajaran mendukung terciptanya pembelajaran yang lebih partisipatif dan kontekstual. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas desain pembelajaran berkontribusi langsung terhadap implementasi yang lebih praktis dalam konteks pembelajaran nyata.

Hasil keefektifan menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR mampu meningkatkan literasi lingkungan siswa secara signifikan dengan nilai N-gain kategori sedang-tinggi dan ukuran efek berkategori besar. Temuan ini diperkuat oleh hasil fenomenologis yang menunjukkan transformasi dalam pemahaman ekologis, peningkatan kesadaran lingkungan, dan kemampuan siswa untuk mempertimbangkan aspek keberlanjutan saat mengambil keputusan. Integrasi hasil-hasil ini membuktikan bahwa peningkatan hasil belajar tidak hanya terjadi pada aspek kognitif, tetapi juga merambah ke dimensi reflektif dan afektif siswa.

Temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa validitas desain berkontribusi terhadap kepraktisan implementasi, sedangkan implementasi yang praktis mendukung terciptanya pembelajaran yang efektif. Hubungan ini menunjukkan pola sekuensial antara kualitas desain, proses implementasi, dan hasil belajar siswa. Model Pembelajaran PEMIKIR tidak hanya memenuhi aspek validitas secara teoretis, tetapi juga mendemonstrasikan signifikansi pedagogis melalui pengalaman belajar siswa yang kontekstual dan berorientasi pada keberlanjutan. Secara keseluruhan, integrasi temuan kuantitatif dan kualitatif menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR mampu menciptakan pembelajaran IPA yang lebih efektif, partisipatif, dan bermakna. Temuan ini memperkuat asumsi bahwa desain pembelajaran yang valid cenderung menghasilkan implementasi yang praktis dan berdampak pada peningkatan hasil belajar yang lebih signifikan dalam konteks pendidikan berorientasi keberlanjutan.

4. Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa model pembelajaran PEMIKIR memiliki hubungan yang konsisten antara validitas desain, kepraktisan implementasi, dan keefektifan pembelajaran dalam konteks pembelajaran IPA berorientasi Education for Sustainable Development (ESD). Integrasi hasil kuantitatif dan kualitatif membuktikan bahwa kualitas desain pembelajaran tidak hanya memengaruhi keterlaksanaan model, tetapi juga berdampak langsung pada pengalaman belajar dan peningkatan literasi lingkungan siswa. Temuan ini memperkuat asumsi teoretis yang diajukan oleh Nieveen (1999), Plomp (2007), dan van den Akker (1999) bahwa validitas, kepraktisan, dan keefektifan merupakan dimensi kualitas desain pendidikan yang saling terkait secara konseptual.

Hasil validitas menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR memperoleh skor Aiken's V yang tinggi pada seluruh aspek desain pembelajaran. Temuan ini mengindikasikan bahwa model memiliki konsistensi konseptual, koherensi sintaks pembelajaran, dan relevansi pedagogis yang memadai untuk mendukung pembelajaran berbasis keberlanjutan. Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa desain pembelajaran yang memiliki validitas teoretis dan konstruk yang kuat cenderung menghasilkan

implementasi pembelajaran yang lebih stabil dan efektif (Akker, 1999; Branch, 2009; Reeves, 2006). Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa integrasi prinsip-prinsip ESD dalam desain pembelajaran IPA mampu mendukung pembelajaran yang lebih kontekstual dan relevan dengan isu-isu keberlanjutan global (UNESCO, 2017; Leal Filho et al., 2018; Rieckmann, 2018).

Kepraktisan implementasi Model Pembelajaran PEMIKIR menunjukkan bahwa guru dan siswa dapat melaksanakan seluruh tahapan pembelajaran secara optimal. Tingginya keterlaksanaan sintaks pembelajaran dan respon positif dari guru membuktikan bahwa model memiliki tingkat keterterimaan dan kemudahan aplikasi (implementability) yang baik dalam pembelajaran nyata. Temuan ini mendukung hasil penelitian yang menyatakan bahwa desain pembelajaran yang sistematis dan kontekstual cenderung meningkatkan kemudahan implementasi di dalam kelas (Plomp, 2007; McKenney & Reeves, 2012). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis ESD dapat meningkatkan partisipasi siswa melalui aktivitas yang bersifat reflektif, kolaboratif, dan berorientasi pada pemecahan masalah lingkungan (Burmeister et al., 2012; Wals, 2015; Cebrián & Junyent, 2015).

Aktivitas guru dan siswa yang berada dalam kategori "Sangat Baik" menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR mampu menciptakan pembelajaran yang lebih partisipatif dan berorientasi pada pengalaman langsung bagi siswa. Aktivitas observasi lingkungan, investigasi masalah, dan refleksi pembelajaran memberikan kesempatan bagi siswa untuk membangun pengetahuan secara aktif melalui pengalaman kontekstual. Temuan ini selaras dengan teori konstruktivisme sosial yang menekankan pentingnya interaksi sosial dan pengalaman autentik dalam pembelajaran (Vygotsky, 1978; Jonassen, 1999). Riset terkini juga menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis keberlanjutan mampu meningkatkan keterlibatan siswa karena proses belajar dikaitkan langsung dengan permasalahan nyata di lingkungan sekitar mereka (Bascopé et al., 2019; Tilbury, 2011; Sterling, 2010).

Hasil keefektifan menunjukkan bahwa implementasi Model Pembelajaran PEMIKIR menghasilkan peningkatan yang signifikan pada literasi lingkungan siswa. Peningkatan skor posttest, nilai N-gain kategori sedang-tinggi, dan effect size kategori besar menunjukkan bahwa model memiliki dampak instruksional yang kuat bagi siswa. Temuan ini mendukung berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis ESD dapat meningkatkan literasi lingkungan, keterampilan berpikir kritis, dan pengambilan keputusan berbasis keberlanjutan (Rauch & Steiner, 2013; Pauw et al., 2015; Boeve-de Pauw et al., 2015). Penelitian lain juga memperlihatkan bahwa pembelajaran IPA berbasis isu-isu lingkungan mampu meningkatkan kemampuan siswa dalam menghubungkan konsep sains dengan konteks kehidupan nyata (Sadler et al., 2007; Zeidler et al., 2019). Tingginya nilai effect size menunjukkan bahwa implementasi model PEMIKIR tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga bermakna secara praktis dalam konteks pembelajaran nyata. Temuan ini penting karena keefektifan pembelajaran dalam riset pengembangan tidak hanya ditunjukkan melalui signifikansi statistik, melainkan juga melalui daya pengaruh pembelajaran terhadap perubahan perilaku dan pemahaman siswa. Hasil penelitian ini mendukung pandangan Hattie (2009) yang menekankan bahwa effect size memberikan informasi yang lebih substantif tentang kualitas intervensi pembelajaran dibandingkan hanya menggunakan pengujian signifikansi semata.

Analisis fenomenologis menunjukkan bahwa siswa mengalami transformasi pemahaman ekologis setelah mengikuti pembelajaran menggunakan Model Pembelajaran PEMIKIR. Siswa menunjukkan peningkatan kesadaran lingkungan, kemampuan reflektif, dan kecenderungan untuk mempertimbangkan aspek keberlanjutan dalam pengambilan keputusan. Temuan ini membuktikan bahwa pembelajaran berbasis ESD tidak hanya memengaruhi aspek kognitif, tetapi juga dimensi afektif dan reflektif siswa. Hasil studi ini sejalan dengan berbagai

penelitian yang menunjukkan bahwa pengalaman belajar berbasis keberlanjutan mampu membentuk kesadaran ekologis dan tanggung jawab sosial siswa (Sterling, 2010; Wals & Benavot, 2017; UNESCO, 2017). Temuan fenomenologis juga menunjukkan bahwa siswa memandang pembelajaran IPA sebagai pengalaman yang lebih bermakna ketika materi pelajaran dikaitkan dengan isu lingkungan di sekitar mereka. Aktivitas refleksi dan investigasi lingkungan membantu siswa membangun jembatan antara konsep sains dan realitas sosio-ekologis yang mereka hadapi. Temuan ini mendukung riset yang menunjukkan bahwa pembelajaran kontekstual berbasis isu lingkungan dapat meningkatkan keterikatan emosional siswa terhadap isu-isu keberlanjutan (Ardoin et al., 2020; Monroe et al., 2019).

Integrasi temuan kuantitatif dan kualitatif memperlihatkan hubungan sekuensial yang jelas antara validitas desain, kepraktisan implementasi, dan keefektifan pembelajaran. Validitas desain yang tinggi berkontribusi pada implementasi pembelajaran yang lebih praktis, sedangkan implementasi yang praktis mendukung terciptanya pengalaman belajar yang lebih efektif dan bermakna. Temuan ini memperkuat kerangka kerja kualitas desain pendidikan yang diajukan oleh Nieveen (1999) dan Plomp (2007), di mana kualitas desain pembelajaran tidak dapat dipisahkan dari kualitas implementasi dan hasil belajar. Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dalam memperkuat keterkaitan konseptual antara validitas, kepraktisan, dan keefektifan dalam penelitian pengembangan pendidikan. Sebagian besar penelitian terdahulu cenderung menempatkan ketiga aspek ini sebagai komponen evaluasi yang terpisah, sedangkan penelitian ini menunjukkan bahwa ketiga dimensi tersebut bersifat sekuensial dan saling menguatkan. Temuan ini memperluas pemahaman kita tentang bagaimana kualitas desain pembelajaran dapat memengaruhi pengalaman belajar siswa dalam konteks pendidikan berorientasi keberlanjutan.

Secara praktis, penelitian ini memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan pembelajaran IPA berbasis ESD. Model Pembelajaran PEMIKIR membuktikan bahwa integrasi isu keberlanjutan, aktivitas reflektif, investigasi lingkungan, dan pengambilan keputusan berbasis konteks mampu mendukung peningkatan literasi lingkungan siswa. Hasil ini menegaskan bahwa pembelajaran IPA tidak hanya berfungsi untuk mengembangkan pemahaman konsep sains, tetapi juga untuk membentuk kesadaran ekologis dan keterampilan berpikir keberlanjutan siswa. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan. Implementasi model dilakukan pada konteks sekolah tertentu dengan jumlah sampel yang terbatas, sehingga generalisasi hasil penelitian perlu dilakukan secara hati-hati. Penelitian lanjutan dapat mengembangkan analisis menggunakan pendekatan Structural Equation Modeling (SEM) untuk menguji hubungan kausalitas antara validitas desain, kepraktisan, dan keefektifan secara lebih komprehensif. Penelitian mendatang juga dapat mengeksplorasi implementasi model pada jenjang pendidikan dan konteks sosial yang lebih beragam.

KESIMPULAN

Penelitian ini menjawab pertanyaan utama penelitian mengenai apakah validitas desain dapat berkontribusi terhadap kepraktisan dan keefektifan model pembelajaran IPA berorientasi Education for Sustainable Development (ESD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Model Pembelajaran PEMIKIR yang memiliki tingkat validitas tinggi cenderung menghasilkan implementasi pembelajaran yang praktis dan efektif dalam konteks pembelajaran nyata. Tingginya validitas desain tercermin melalui konsistensi teoretis, kesesuaian konstruk, dan relevansi pedagogis pada seluruh komponen model pembelajaran. Kualitas desain tersebut mendukung keterlaksanaan sintaks pembelajaran, aktivitas guru dan siswa, serta respon positif guru selama pelaksanaan pembelajaran. Temuan ini mengindikasikan bahwa desain pembelajaran yang valid berkaitan erat dengan tingkat kepraktisan model di dalam kelas. Hasil

penelitian juga menunjukkan bahwa implementasi Model Pembelajaran PEMIKIR mampu meningkatkan literasi lingkungan siswa secara signifikan. Peningkatan skor posttest, nilai N-gain kategori sedang-tinggi, dan effect size kategori besar membuktikan bahwa model memiliki dampak pembelajaran yang kuat bagi siswa. Temuan fenomenologis memperkuat hasil kuantitatif melalui munculnya transformasi pemahaman ekologis, kesadaran lingkungan, keterampilan reflektif, dan kemampuan pengambilan keputusan berbasis keberlanjutan pada diri siswa. Integrasi temuan kuantitatif dan kualitatif memperlihatkan pola hubungan sekuensial antara validitas desain, kepraktisan implementasi, dan keefektifan pembelajaran. Desain pembelajaran yang valid memang tidak secara otomatis menjamin keefektifan, namun validitas desain menyediakan fondasi penting yang menopang implementasi pembelajaran yang lebih praktis, partisipatif, dan bermakna. Implementasi yang praktis inilah yang kemudian berkontribusi pada penciptaan hasil belajar yang lebih efektif dalam pembelajaran IPA yang berorientasi pada keberlanjutan. Secara menyeluruh, penelitian ini membuktikan bahwa validitas desain memiliki kontribusi esensial dalam mewujudkan pembelajaran yang praktis dan efektif, khususnya dalam pengembangan model pembelajaran IPA berbasis ESD untuk meningkatkan literasi lingkungan siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement*, 45(1), 131–142.
- Akbaşlı, S., Arastaman, G., Yıldırım, F., & Demir, E. K. (2017). The relationship between teacher commitment and organizational climate. *Educational Research and Reviews*, 12(16), 815–824.
- Akker, J. van den. (1999). Principles and methods of development research. In J. van den Akker, R. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen, & T. Plomp (Eds.), *Design approaches and tools in education and training* (pp. 1–14). Springer.
- Ardoin, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224.
- Ardoin, N. M., Bowers, A. W., Roth, N. W., & Holthuis, N. (2018). Environmental education and K–12 student outcomes. *The Journal of Environmental Education*, 49(1), 1–17.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice Hall.
- Bascope, M., Perasso, P., & Reiss, K. (2019). Systematic review of education for sustainable development at an early stage. *Sustainability*, 11(24), 7193.
- Biedenweg, K., Monroe, M. C., & Oxarart, A. (2013). The importance of teaching ethics of sustainability. *Applied Environmental Education & Communication*, 12(2), 73–83.
- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). Open University Press.
- Boeve-de Pauw, J., Gericke, N., Olsson, D., & Berglund, T. (2015). The effectiveness of education for sustainable development. *Sustainability*, 7(11), 15693–15717.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (2003). *Educational research: An introduction* (7th ed.). Allyn & Bacon.
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer.
- Burmeister, M., Rauch, F., & Eilks, I. (2012). Education for sustainable development and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 59–68.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.

- Cebrián, G., & Junyent, M. (2015). Competencies in education for sustainable development. *Sustainability*, 7(3), 2768–2786.
- Choi, S., Lee, H., Shin, N., Kim, S., & Krajcik, J. (2011). Re-conceptualization of scientific literacy in South Korea. *International Journal of Science Education*, 33(5), 679–697.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Corbin, J., & Strauss, A. (2015). *Basics of qualitative research* (4th ed.). Sage Publications.
- Creswell, J. W. (2011). *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research* (4th ed.). Pearson.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2011). *Designing and conducting mixed methods research* (2nd ed.). Sage Publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Sage Publications.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2018). *The Sage handbook of qualitative research* (5th ed.). Sage Publications.
- Efklides, A. (2011). Interactions of metacognition with motivation and affect. *Educational Psychologist*, 46(1), 6–25.
- Eilks, I., Sjöström, J., & Hofstein, A. (2017). Relevant chemistry education—from theory to practice. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 705–709.
- Fullan, M. (2016). *The new meaning of educational change* (5th ed.). Teachers College Press.
- Garrison, D. R. (2016). *E-learning in the 21st century* (3rd ed.). Routledge.
- Gericke, N., Boeve-de Pauw, J., Berglund, T., & Olsson, D. (2019). The sustainability consciousness questionnaire. *Environmental Education Research*, 25(2), 211–230.
- Glaser, B., & Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory*. Aldine Publishing.
- Hake, R. R. (1999). *Analyzing change/gain scores*. Indiana University.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning*. Routledge.
- Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2009). The meaning of scientific literacy. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(3), 275–288.
- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models* (Vol. II, pp. 215–239). Lawrence Erlbaum.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning*. Prentice Hall.
- Leal Filho, W., Manolas, E., & Pace, P. (2018). The future we want. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1122–1127.
- Louv, R. (2008). *Last child in the woods*. Algonquin Books.
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2012). *Conducting educational design research*. Routledge.
- Mezirow, J. (2000). *Learning as transformation*. Jossey-Bass.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis* (3rd ed.). Sage Publications.
- Monroe, M. C., Andrews, E., & Biedenweg, K. (2008). A framework for environmental education strategies. *Applied Environmental Education & Communication*, 7(1–2), 205–216.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies. *Environmental Education Research*, 25(6), 791–812.

- Nieveen, N. (1999). Prototyping to reach product quality. In J. van den Akker et al. (Eds.), *Design approaches and tools in education and training* (pp. 125–136). Springer.
- OECD. (2019). *PISA 2018 results: What students know and can do*. OECD Publishing.
- Olsson, D., Gericke, N., & Chang Rundgren, S. N. (2016). The effect of implementation of education for sustainable development in Swedish compulsory schools. *Environmental Education Research*, 22(2), 176–202.
- Palmer, J. (1998). *Environmental education in the 21st century*. Routledge.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods* (4th ed.). Sage Publications.
- Pauw, J. B., Gericke, N., Olsson, D., & Berglund, T. (2015). The effectiveness of education for sustainable development. *Sustainability*, 7(11), 15693–15717.
- Pavlova, M. (2013). Teaching and learning for sustainable development. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 14(2), 141–152.
- Plomp, T. (2007). Educational design research: An introduction. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *An introduction to educational design research* (pp. 9–35).
- Plomp, T., & Nieveen, N. (2013). *Educational design research: Part A: An introduction*. Netherlands Institute for Curriculum Development (SLO).
- Rauch, F., & Steiner, R. (2013). Competences for education for sustainable development in teacher education. *CEPS Journal*, 3(1), 9–24.
- Reeves, T. C. (2006). Design research from a technology perspective. In J. van den Akker et al. (Eds.), *Educational design research* (pp. 52–66). Routledge.
- Ricoeur, P. (1976). *Interpretation theory: Discourse and the surplus of meaning*. Texas Christian University Press.
- Rieckmann, M. (2018). Learning to transform the world: Key competencies in ESD. In *Issues and trends in education for sustainable development* (pp. 39–59). UNESCO.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Sadler, T. D., Barab, S. A., & Scott, B. (2007). What do students gain by engaging in socioscientific inquiry? *Research in Science Education*, 37(4), 371–391.
- Saldaña, J. (2021). *The coding manual for qualitative researchers* (4th ed.). Sage Publications.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum.
- Shavelson, R. J. (2010). Measuring college learning responsibly. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 42(1), 48–51.
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Sage Publications.
- Sterling, S. (2010). Transformative learning and sustainability: Sketching the conceptual ground. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 11(5), 511–524.
- Thomas, I. (2009). Critical thinking, transformative learning, sustainable education. *Journal of Transformative Education*, 7(3), 245–264.
- Tilbury, D. (2011). *Education for sustainable development: An expert review of processes and learning*. UNESCO.
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO Publishing.
- UNESCO. (2020). *Education for sustainable development: A roadmap*. UNESCO Publishing.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wals, A. E. J. (2015). Beyond unreasonable doubt: Education and learning for socio-ecological sustainability in the Anthropocene. *Journal of Education for Sustainable Development*, 9(2), 133–146.
- Wals, A. E. J., & Benavot, A. (2017). Can we meet the sustainability challenges? The role of education and lifelong learning. *European Journal of Education*, 52(4), 404–413.

- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications (6th ed.). Sage Publications.
- Zeidler, D. L., Herman, B. C., & Sadler, T. D. (2019). New directions in socioscientific issues research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(11), 1–9.
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts et al. (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13–39). Academic Press