

BAB I

PENDAHULUAN

Di tengah krisis iklim global dan lonjakan emisi karbon yang mengancam keberlanjutan bumi, dunia menghadapi tantangan transformatif dalam transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkeadilan. Meskipun potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar, pemanfaatannya masih minim dan terhambat oleh ketergantungan pada bahan bakar fosil. Di sinilah pendidikan memainkan peran strategis, tidak hanya sebagai alat transfer ilmu pengetahuan, tetapi sebagai sarana pembentuk kesadaran kritis, nilai, dan tindakan nyata untuk masa depan yang berkelanjutan.

Bab ini menggambarkan urgensi pengembangan pendekatan pembelajaran inovatif yang menyatu dengan nilai-nilai keberlanjutan, khususnya melalui *Education for Sustainable Development* (ESD). Dalam konteks ini, Pedagogi Spesifik Subyek Digital (PSSD) yang berorientasi pada tema energi hijau (*green energy*) ditawarkan sebagai solusi konkret untuk menjembatani kesenjangan antara kebijakan ESD dan praktik pembelajaran di sekolah. Melalui integrasi pedagogi digital, kurikulum kontekstual, dan model *Read, Answer, Discuss, Explain, Create* (RADEC) sebagai pendekatan sistematis, penelitian ini bertujuan untuk membekali generasi muda dengan kompetensi ESD dan literasi keberlanjutan yang relevan dengan tantangan abad ke-21.

1.1 Latar Belakang

Pendidikan masa kini tidak lagi hanya berfungsi sebagai sarana transmisi pengetahuan, tetapi juga sebagai kekuatan transformatif dalam membentuk generasi yang berdaya, reflektif, dan bertanggung jawab terhadap masa depan planet ini. Konsep *Education for Sustainable Development* (ESD) menjadi pendekatan global yang menekankan pentingnya pembelajaran yang dapat membentuk kesadaran keberlanjutan melalui dimensi kognitif, afektif, dan

psikomotorik (UNESCO, 2017; Leicht dkk, 2018; Ismail dkk, 2024). Dalam konteks global yang semakin kompleks seperti perubahan iklim dan ketimpangan sosial, ESD menjadi kebutuhan mendesak yang harus diintegrasikan dalam sistem pendidikan sejak dini (Agbedahin, 2019; Kioupi & Voulvoulis, 2022; Ullah dkk, 2022).

Di Indonesia, gagasan ESD semakin mendapatkan perhatian melalui berbagai kebijakan nasional dan upaya reformasi kurikulum. Namun dalam praktiknya, banyak satuan pendidikan belum memiliki kerangka pedagogi yang sistematis untuk menginternalisasi nilai-nilai keberlanjutan ke dalam proses pembelajaran harian (Prabawani dkk, 2020; Ismail dkk, 2024; Nugraheny dkk, 2025; Pratiwi dkk, 2025). Keterbatasan pemahaman guru dan kurangnya dukungan instrumen ajar yang kontekstual menjadi salah satu kendala utama dalam implementasi nyata ESD di ruang kelas.

UNESCO (2017) merinci delapan kompetensi utama dalam ESD, antara lain berpikir sistemik, reflektif, strategis, normatif, kritis, antisipatif, kolaboratif, dan kemampuan pemecahan masalah terintegrasi. Kompetensi ini menjadi fondasi bagi peserta didik untuk mampu memahami, mengevaluasi, dan bertindak dalam menghadapi tantangan global secara berkelanjutan (Décamps dkk, 2017; Grohs dkk, 2018). Sayangnya, berbagai laporan dan studi menunjukkan bahwa kompetensi ini belum berkembang secara optimal di tingkat sekolah menengah pertama di Indonesia.

Kelemahan dalam pencapaian kompetensi ESD juga terlihat pada tingkat literasi keberlanjutan siswa. Literasi ini tidak hanya menyangkut pengetahuan tentang lingkungan, tetapi juga menyangkut pemahaman nilai dan kemampuan bertindak secara etis (Décamps dkk, 2017; González-salamanca dkk, 2020; Marouli, 2021). Rendahnya keterampilan reflektif dan partisipatif pada siswa menunjukkan bahwa pembelajaran masih didominasi oleh pendekatan ekspositoris dan belum mendorong partisipasi aktif serta aksi nyata.

Merespons tantangan tersebut, pendekatan infusi ESD dianggap lebih efektif daripada sekadar menambahkan tema keberlanjutan sebagai pelengkap. Infusi ESD berarti bahwa nilai-nilai keberlanjutan diintegrasikan ke dalam tujuan pembelajaran, isi kurikulum, strategi pembelajaran, hingga evaluasi (Melles &

Paixao-Barradas, 2019; Arya & Dhankher, 2020; Widodo dkk, 2023). Dengan pendekatan ini, keberlanjutan menjadi bagian tak terpisahkan dari proses pendidikan itu sendiri.

Pendidikan yang menginfusikan nilai ESD secara utuh harus mampu melibatkan siswa dalam pembelajaran aktif, partisipatif, dan reflektif. Guru perlu menciptakan ruang belajar yang mendorong dialog, eksplorasi isu nyata, dan kolaborasi untuk menyelesaikan masalah lingkungan dan sosial (Husamah dkk, 2022; Lestari, 2022; Purwianingsih dkk, 2022). Pembelajaran sains yang kontekstual seperti isu energi hijau atau krisis air menjadi lebih relevan jika dikaitkan langsung dengan kehidupan sehari-hari siswa.

Untuk mendukung proses pembelajaran seperti itu, pendekatan pedagogi berbasis disiplin seperti *Subject-Specific Pedagogy* (SSP), pada penelitian ini disebut Pedagogi Spesifik Subyek (PSS) menjadi sangat penting. PSS memungkinkan guru menyusun pembelajaran yang didasarkan pada struktur keilmuan dan logika epistemik dari mata pelajaran tertentu, dalam hal ini IPA (Bayram-Jacobs dkk, 2019; Purwita & Rosana, 2020; Suryani dkk, 2020). Pendekatan ini memfasilitasi pengintegrasian nilai-nilai keberlanjutan ke dalam materi pokok secara mendalam dan kontekstual.

PSS tidak hanya membingkai konten, tetapi juga mencakup penyusunan perangkat pembelajaran yang lengkap, mulai dari silabus, RPP, media ajar, hingga asesmen yang kontekstual. Dalam konteks sains, guru dapat merancang pembelajaran energi yang mengaitkan konsep fisika dengan dampak sosial dan lingkungan dari pemanfaatan sumber daya energi (Purnaida, 2018; Acesta, 2019; Rahayu & Suparwoto, 2019; Widyasari dkk, 2022). Hal ini menjembatani antara penguasaan konsep ilmiah dengan kesadaran etis dan tindakan.

Namun PSS belum cukup jika tidak didukung oleh model pembelajaran yang mengaktifkan potensi berpikir kritis dan reflektif siswa. Salah satu model yang relevan adalah RADEC (*Read–Answer–Discuss–Explain–Create*), yang dirancang oleh Sopandi dkk (2019) untuk meningkatkan kualitas pembelajaran berbasis keterlibatan aktif. Model ini terbukti efektif dalam mendorong siswa untuk membangun pemahaman melalui proses kognitif yang berjenjang dan terstruktur (Meilandari dkk, 2020; Pratama dkk, 2020; Lestari dkk, 2022).

RADEC memiliki kekuatan dalam menciptakan alur pembelajaran yang reflektif, dari membaca secara kritis, menjawab pertanyaan awal, berdiskusi, menjelaskan kembali hasil diskusi, hingga mencipta solusi. Dalam konteks ESD, model ini memungkinkan siswa mengembangkan proyek aksi nyata, seperti merancang alat energi alternatif sederhana atau menginisiasi kampanye hemat energi (Lestari, 2022; Lestari dkk, 2022; Setiawan dkk, 2024).

Transformasi digital dalam pendidikan membuka peluang besar untuk menggabungkan pendekatan pedagogis seperti RADEC dan PSS dalam format pembelajaran digital. Teknologi memungkinkan penyajian konten yang interaktif, visual, serta akses terhadap sumber belajar yang luas (Rochintaniawati dkk, 2019; Sopandi dkk, 2019; Saraswati dkk, 2023). Hal ini sangat relevan untuk generasi pelajar saat ini yang merupakan digital native.

Pengembangan Pedagogi Spesifik Subyek Digital (PSSD) dengan infusi ESD berbasis RADEC menjadi pendekatan inovatif dalam pembelajaran IPA yang kontekstual. Dengan format digital, guru dapat mendesain perangkat ajar berbasis proyek, media interaktif, dan asesmen daring yang menyatu dengan nilai keberlanjutan dan mengikuti struktur RADEC (Bayram-Jacobs dkk, 2019; Sopandi dkk, 2019; Apriani dkk, 2021).

Tema energi hijau dipilih sebagai fokus karena merupakan isu krusial dalam SDGs (khususnya SDG 7: Affordable and Clean Energy) dan sangat relevan dengan konteks kehidupan siswa. Pendidikan sains tidak boleh berhenti pada level kognitif, tetapi harus membentuk kesadaran reflektif dan tindakan etis siswa terhadap penggunaan energi (Aktar dkk, 2020; Qin dkk, 2022; Zhang & Kong, 2022; Ismail dkk, 2024).

Namun hingga kini, belum banyak penelitian yang secara spesifik mengembangkan pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan PSSD, RADEC, dan infusi ESD dalam tema energi hijau di tingkat SMP. Kebanyakan studi masih berdiri sendiri, hanya menyoroti salah satu aspek tanpa menggabungkan ketiganya dalam satu kerangka utuh. Hal ini menandakan adanya *gap* yang signifikan dalam literatur ilmiah.

Penelitian ini hadir untuk menjawab *gap* tersebut dengan mengembangkan Pedagogi Spesifik Subyek Digital berbasis RADEC berinfusi ESD pada tema

energi hijau. Pendekatan ini menggabungkan kekuatan konten ilmiah, strategi pembelajaran aktif, dan fleksibilitas media digital untuk memperkuat kompetensi ESD dan literasi keberlanjutan siswa SMP (Leicht, 2018; Bayram-Jacobs dkk, 2019; Sopandi dkk, 2019). Diharapkan, penelitian ini dapat berkontribusi nyata dalam pengembangan pendidikan sains yang transformatif dan kontekstual.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Rumusan permasalahan pada penelitian ini adalah “bagaimana mengembangkan dan mengimplementasikan pedagogi spesifik subyek digital berbasis RADEC berinfusi ESD pada tema *green energy* untuk menguatkan kompetensi dan literasi keberlanjutan siswa SMP? rumusan masalah ini dijabarkan pada pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik pedagogi spesifik subyek digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD tema *green energy* untuk menguatkan kompetensi dan literasi keberlanjutan siswa SMP?
2. Bagaimana keterlaksanaan pembelajaran menggunakan pedagogi spesifik subyek digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD tema *green energy* ?
3. Bagaimana peningkatan kompetensi ESD siswa yang mengikuti pembelajaran menggunakan pedagogi spesifik subyek digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD pada tema *Green Energy*?
4. Bagaimana peningkatan literasi keberlanjutan siswa yang mengikuti pembelajaran menggunakan pedagogi spesifik subyek digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD pada tema *Green Energy*?
5. Bagaimana tanggapan guru dan siswa terhadap pedagogi spesifik subyek digital berbasis RADEC berinfusi ESD pada tema *Green Energy* dan penggunaannya dalam pembelajaran?

Rumusan masalah ini mencerminkan kesenjangan dalam penelitian sebelumnya, di mana belum banyak kajian yang secara spesifik membahas pengembangan dan implementasi pedagogi spesifik subyek digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD pada tema *Green Energy* dalam konteks pendidikan keberlanjutan, terutama dalam topik energi hijau. Oleh karena itu, penelitian ini akan memberikan kontribusi akademik yang signifikan serta rekomendasi praktis

Ismail, 2025

bagi sekolah dan pembuat kebijakan dalam mengintegrasikan pendidikan keberlanjutan dengan teknologi digital guna membekali siswa dengan kompetensi yang relevan untuk masa depan yang lebih berkelanjutan.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Penelitian ini merupakan *Educational Developmental Research* (EDR) yang menggunakan pendekatan *mix method* (metode campuran), yang menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif dalam proses pengumpulan dan analisis data. Untuk memastikan penelitian ini tetap fokus dan terarah, batasan penelitian dijelaskan secara rinci dalam beberapa aspek berikut:

1.3.1 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan implementasi pedagogi spesifik subyek digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD untuk menguatkan kompetensi ESD dan literasi keberlanjutan siswa SMP pada tema *Green Energy*. Lingkup utama penelitian ini mencakup:

1. Pengembangan pendekatan PSSD:

Penelitian ini akan mengembangkan pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan prinsip-prinsip pedagogi digital dengan pendidikan keberlanjutan. Pendekatan ini akan dirancang untuk memberikan pengalaman belajar yang interaktif, berbasis teknologi, dan berbasis proyek yang dapat membantu siswa memahami konsep energi hijau secara lebih mendalam.

2. Evaluasi efektivitas pendekatan PSSD:

Setelah pendekatan dikembangkan, penelitian ini akan menguji efektivitas PSSD dalam menguatkan kompetensi ESD dan literasi keberlanjutan siswa. Uji coba dilakukan di lingkungan sekolah menengah pertama (SMP) dengan mempertimbangkan aspek keterlibatan siswa, pemahaman konsep, dan perubahan sikap terhadap isu keberlanjutan.

3. Analisis Tanggapan Guru dan Siswa:

Penelitian ini juga akan mengeksplorasi bagaimana guru dan siswa merespons penerapan pendekatan PSSD berbasis RADEC berinfusi ESD dalam pembelajaran. Aspek yang akan dianalisis mencakup kemudahan implementasi,

efektivitas pembelajaran, serta tantangan dan hambatan yang dihadapi selama proses pembelajaran berlangsung.

1.3.2 Batasan Topik dan Permasalahan

Agar penelitian ini tetap fokus dan tidak meluas ke aspek yang tidak relevan, beberapa batasan topik dan permasalahan ditetapkan sebagai berikut:

1. Fokus utama penelitian ini adalah pengembangan PSSD berbasis RADEC berinfusi ESD dalam konteks pendidikan energi hijau untuk siswa SMP dan melatih 6 orang guru IPA dalam mengimplementasikan pada sekolahnya masing-masing. Oleh karena itu, penelitian ini tidak akan membahas secara mendalam aspek keberlanjutan di luar bidang energi atau topik lain dalam ESD yang tidak berkaitan langsung dengan *Green Energy*.
2. Penelitian ini hanya mencakup implementasi dalam lingkungan SMP yang telah ditentukan berdasarkan kesediaan guru IPA untuk mengajarkannya di sekolah, sehingga tidak akan mencakup implementasi pada tingkat pendidikan lainnya seperti sekolah dasar atau sekolah menengah atas.
3. Evaluasi efektivitas pembelajaran berbasis digital hanya difokuskan pada pendekatan PSSD yang dikembangkan dalam penelitian ini. Penelitian ini tidak akan membandingkan efektivitasnya dengan seluruh metode pembelajaran digital yang ada.
4. Penelitian ini menggunakan pendekatan *mix method*, yang menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif dalam analisis data. Pendekatan ini mencakup pengumpulan data melalui angket, wawancara, tes kompetensi, dan observasi. Namun, penelitian ini tidak akan menggunakan analisis longitudinal atau studi jangka panjang terhadap dampak implementasi model PSSD setelah beberapa tahun.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan, menganalisis, dan mengevaluasi Pedagogi Spesifik Subyek Digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD dalam menguatkan kompetensi ESD dan literasi keberlanjutan siswa SMP.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yang signifikan baik dalam ranah teoretis maupun praktis. Dari perspektif akademik, penelitian ini berkontribusi dalam memperkaya literatur mengenai integrasi Pedagogi Spesifik Subyek Digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD dalam pendidikan keberlanjutan, khususnya dalam menguatkan kompetensi ESD dan literasi keberlanjutan siswa SMP. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi bagi pendidik, pembuat kebijakan, dan institusi pendidikan dalam mengembangkan strategi pembelajaran yang lebih inovatif dan berbasis teknologi untuk mendukung keberlanjutan.

1.5.1 Manfaat Teoretis

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam bidang pedagogi digital dan pendidikan keberlanjutan dengan beberapa aspek berikut:

a. **Memperkaya Literatur tentang Digital Pedagogy dalam ESD**

Penelitian ini menambahkan wawasan baru mengenai bagaimana teknologi digital dapat diintegrasikan secara efektif dalam pembelajaran berbasis keberlanjutan. Dengan merancang dan menguji pendekatan PSSD yang spesifik, penelitian ini mengisi kesenjangan dalam kajian sebelumnya yang masih terbatas dalam mengeksplorasi efektivitas pendekatan digital dalam pembelajaran keberlanjutan.

b. **Mengembangkan Kerangka Konseptual tentang PSSD dalam Pembelajaran ESD**

Penelitian ini berkontribusi dalam mengembangkan model teoritis yang menjelaskan bagaimana PSSD berbasis RADEC berinfusi ESD dapat digunakan untuk menguatkan kompetensi ESD dan literasi keberlanjutan siswa. Kerangka konseptual yang dihasilkan dapat menjadi dasar bagi penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas pedagogi digital dalam konteks pendidikan lingkungan dan keberlanjutan.

c. **Menjadi Referensi dalam Studi Kritis tentang Literasi Keberlanjutan dalam Pendidikan**

Studi ini menawarkan perspektif baru dalam memahami faktor-faktor yang mempengaruhi literasi keberlanjutan siswa, termasuk bagaimana teknologi dapat dimanfaatkan untuk membangun kesadaran, pemahaman, dan sikap proaktif terhadap isu keberlanjutan, terutama dalam tema *green energy*.

d. Mendukung Pengembangan Kurikulum Pendidikan Keberlanjutan

Dengan memberikan temuan empiris tentang efektivitas pembelajaran berbasis PSSD dalam mendukung pendidikan keberlanjutan, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan kurikulum yang lebih adaptif dan berbasis digital, sejalan dengan tren global dalam pendidikan hijau dan digitalisasi pembelajaran.

1.5.2 Manfaat Praktis

Selain manfaat teoretis, penelitian ini juga memberikan dampak yang signifikan dalam praktik pendidikan dan pengembangan kebijakan pendidikan berbasis keberlanjutan. Secara praktis, penelitian ini memberikan wawasan baru bagi guru dalam merancang metode pembelajaran yang lebih inovatif dan berbasis teknologi. Dengan pendekatan PSSD berbasis RADEC berinfusi ESD yang dikembangkan, guru dapat memiliki panduan dalam mengajarkan konsep keberlanjutan secara lebih efektif, interaktif, dan berbasis proyek. Penelitian ini juga berkontribusi dalam pengembangan keterampilan digital guru, khususnya dalam konteks pembelajaran berbasis keberlanjutan.

Bagi siswa, penerapan pendekatan PSSD berbasis RADEC berinfusi ESD memungkinkan pendekatan belajar yang lebih praktis, menarik, dan sesuai dengan karakteristik generasi digital. Siswa dapat memahami konsep energi hijau secara lebih mendalam, mengembangkan kemampuan berpikir kritis terhadap isu keberlanjutan, serta membangun sikap dan keterampilan yang relevan untuk menghadapi tantangan lingkungan di masa depan.

Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi pembuat kebijakan pendidikan dalam merumuskan strategi implementasi pendidikan keberlanjutan yang berbasis teknologi digital, serta bagi institusi pendidikan dalam merancang program pelatihan guru dan pengembangan kurikulum yang adaptif terhadap isu global.

1.6 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam tiga ranah utama: teoretis, praktis, dan kebijakan pendidikan.

1.6.1 Kontribusi Teoretis

Penelitian ini memperkaya khazanah literatur tentang Pedagogi Spesifik Subyek (PSS) dengan mengembangkan varian berbasis digital yang menginfus ESD. Pendekatan yang dihasilkan memberi kontribusi terhadap pengembangan kerangka konseptual pedagogi yang kontekstual, tematik, dan berbasis teknologi dalam ranah pendidikan sains untuk tingkat menengah. Selain itu, integrasi kompetensi ESD dan literasi keberlanjutan dalam desain model turut memperluas pemahaman tentang capaian pembelajaran abad ke-21 di tingkat sekolah menengah.

1.6.2 Kontribusi Praktis

Hasil penelitian ini memberikan panduan aplikatif bagi guru dan sekolah dalam merancang dan menerapkan pembelajaran berbasis proyek yang mengedepankan keberlanjutan dan pemanfaatan teknologi digital. Pendekatan PSSD berbasis RADEC berinfusi ESD yang dikembangkan dapat digunakan sebagai perangkat ajar alternatif yang kontekstual untuk tema energi hijau, yang sesuai dengan tuntutan Kurikulum Merdeka dan pendekatan pembelajaran berdiferensiasi. Guru akan terbantu dalam menyusun materi, aktivitas, dan penilaian yang mendorong keterlibatan aktif siswa dalam memahami isu-isu keberlanjutan.

1.6.3 Kontribusi Kebijakan Pendidikan

Temuan dari penelitian ini dapat menjadi masukan bagi pengambil kebijakan, khususnya dalam merancang kebijakan pengembangan profesional guru, kurikulum, dan infrastruktur digital pendidikan. Pendekatan pembelajaran yang dihasilkan menunjukkan kebutuhan pentingnya pelatihan pedagogi digital berbasis ESD, serta perlunya dukungan sistemik untuk mengintegrasikan tema keberlanjutan ke dalam kurikulum nasional secara lebih utuh dan terstruktur.

1.7 Definisi Operasional

Definisi operasional dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan kejelasan tentang bagaimana variabel dalam penelitian akan diukur dan alat ukur yang digunakan untuk mengumpulkan data. Dalam studi ini, variabel utama mencakup Pedagogi Spesifik Subyek Digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD sebagai variabel independen, serta kompetensi ESD siswa SMP, literasi keberlanjutan siswa, dan tanggapan guru serta siswa terhadap implementasi PSSD sebagai variabel dependen. Definisi operasional ini tidak bersifat teoritis, tetapi lebih bersifat praktis untuk memastikan bahwa pengukuran dilakukan dengan cara yang objektif dan terstruktur.

1.7.1 Pedagogi Spesifik Subyek Digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD

A. Definisi Operasional

Pedagogi Spesifik Subyek Digital (PSSD) berbasis RADEC berinfusi ESD dioperasionalkan sebagai perangkat pembelajaran digital yang dirancang secara khusus untuk mata pelajaran tertentu, dalam hal ini IPA SMP, yang menginfusi nilai-nilai dan prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD) melalui tahapan sistematis model pembelajaran RADEC (*Read-Answer-Discuss-Explain-Create*).

PSSD berbasis RADEC berinfusi ESD ini mencakup modul ajar digital, media interaktif, dan LKPD berbasis proyek, dengan fokus tema energi hijau, serta dirancang untuk menumbuhkan kompetensi berpikir sistemik, reflektif, kolaboratif, dan pemecahan masalah dalam konteks keberlanjutan.

B. Indikator/Dimensi:

1. Kesesuaian konten dengan tema *green energy*
2. Integrasi nilai dan prinsip ESD (berpikir sistemik, nilai keberlanjutan, aksi sosial)
3. Penggunaan media digital interaktif
4. Keterlibatan peserta didik dalam kegiatan kolaboratif dan reflektif

C. Instrumen Pengukuran

Instrumen ini digunakan untuk menilai kelayakan konten dan perangkat pembelajaran digital PSSD yang dikembangkan. Penilaian dilakukan oleh para ahli menggunakan skala Likert 5 poin, yaitu: (1) sangat tidak sesuai; (2) tidak sesuai; (3) cukup sesuai; (4) sesuai; dan (5) sangat sesuai. Kategorisasi hasil skor rata-rata dari seluruh aspek akan diinterpretasikan sebagai berikut:

Tabel 1.1 Kategori Validasi Ahli

Rentang	Kategori
0,80 < I-CVI < 1,00	Validitas sangat tinggi
0,60 < I-CVI < 0,80	Validitas tinggi
0,40 < I-CVI < 0,60	Validitas sedang
0,20 < I-CVI < 0,40	Validitas rendah
0,00 < I-CVI < 0,20	Validitas sangat rendah
I-CVI < 0,00	Tidak valid

1.7.2 Kompetensi *Education for Sustainable Development* (ESD) Siswa

A. Definisi Operasional

Dalam konteks penelitian ini, kompetensi ESD adalah kemampuan siswa SMP dalam menerapkan delapan kompetensi inti ESD berdasarkan kerangka UNESCO (2017), yang telah disesuaikan dengan karakteristik tema pembelajaran *green energy* pada dua modul ajar yang dikembangkan. Kompetensi ini ditanamkan secara terintegrasi melalui modul ajar berbasis Pedagogi Spesifik Subyek Digital (PSSD) selama empat minggu dengan total 20 jam pelajaran.

Adapun struktur modul ajar dan distribusi waktunya adalah sebagai berikut :

1. Modul Ajar 1 Usaha dan Energi
 - 1) Usaha dalam konteks Energi Hijau (5 Jam Pelajaran)
 - 2) Energi dalam Perspektif Berkelanjutan (5 Jam Pelajaran)
2. Modul Ajar 2 Energi Hijau
 - 1) Energi alternatif sebagai solusi krisis energi (5 Jam Pelajaran)
 - 2) Krisis energi dan jalan keluar dengan energi hijau (5 Jam Pelajaran)

B. Indikator/Dimensi Kompetensi ESD

Tabel 1.2 Kompetensi ESD dan Indikator yang diukur

Kompetensi ESD	Indikator yang diukur
Berpikir sistem	Mampu menganalisis sistem kompleks dan memahami keterhubungan antar masalah
Antisipatif	Mampu mengevaluasi berbagai kemungkinan, peluang, dan kebutuhan masa depan
Kesadaran diri	Mampu melakukan refleksi diri berkelanjutan dan membangun dorongan untuk bertindak
Berpikir kritis	Mampu merefleksikan nilai, pandangan, dan tindakan sendiri secara mendalam
Kolaboratif	Mampu belajar dari orang lain dan bekerja sama dalam keberagaman
Pemecahan masalah terintegrasi	Mampu menghasilkan solusi layak, inklusif dan adil bagi pembangunan berkelanjutan
Normatif	Mampu memahami dan merefleksikan norma serta nilai dari suatu tindakan
Strategis	Mampu mengembangkan dan melaksanakan tindakan kolaboratif untuk keberlanjutan pada skala lokal maupun global

C. Instrumen Pengukuran

1) Pertanyaan Prapembelajaran

Setiap dari 4 materi ajar (2 dari masing-masing modula) disertai dengan 2 soal uraian kompetensi ESD. Total: 8 soal uraian (2 soal x 4 materi)

2) Tes Kompetensi ESD

- a. Pretest dan posttest berisi 25 soal pilihan ganda berbasis konteks ESD dan tema energi hijau
- b. Skala pengukuran: skala ordinal (skor 0-100 berdasarkan jumlah jawaban benar. Hasil dianalisis menggunakan *Rasch model* dengan menggunakan aplikasi *Winstep 5.7.1*
- c. Tujuan pengukuran, menilai perubahan kompetensi siswa sebelum dan sesudah mengikuti pembelajaran berbasis PSSD bermuatan ESD. Skor hasil pretest dan posttest kompetensi ESD dianalisis menggunakan model Rasch dengan aplikasi *Winsteps 5.7.1* dan dinyatakan dalam satuan logit. Untuk menginterpretasikan

kemampuan siswa berdasarkan logit score (LVP – *logit value person*), digunakan klasifikasi berikut:

Tabel 1.3 Kategori *Logit Value Person*

Kategori Kemampuan	Rentang Nilai LVP
Sangat Tinggi	$LVP \geq \text{Mean} + \text{SD}$
Tinggi	$\text{Mean} \leq LVP < \text{Mean} + \text{SD}$
Sedang	$\text{Mean} - \text{SD} < LVP < \text{Mean}$
Rendah	$LVP \leq \text{Mean} - \text{SD}$

1.7.3 Literasi Keberlanjutan Siswa SMP

A. Definisi Operasional

Dalam Penelitian ini, literasi keberlanjutan siswa SMP didefinisikan sebagai tingkat pemahaman, keterampilan, sikap, dan pola pikir siswa terkait isu keberlanjutan, khususnya dalam konteks tema *green energy*. Pengukuran dilakukan dengan instrumen yang disusun berdasarkan *framework* Decamps (2017) dan diadaptasi dari penelitian Wahyuni Adam (2022). Instrument ini dirancang untuk menangkap empat dimensi utama literasi keberlanjutan.

B. Indikator/Dimensi Literasi Keberlanjutan

Tabel 1.4 Dimensi dan Indikator Literasi Keberlanjutan yang digunakan pada Penelitian

Dimensi	Aspek Literasi Keberlanjutan	Indikator Literasi Keberlanjutan	Instrumen Pengukuran
Pengetahuan	Pengetahuan tentang kemanusiaan dan ekosistem yang berkelanjutan	Pengetahuan tentang siklus produksi energi, konsep jejak ekologi, dan perhitungan ekologi.	Tes-Pilihan Ganda
		Kesadaran tentang dampak lingkungan dari berbagai sumber energi	
Keterampilan berbasis pengetahuan	Keterampilan bekerja sama dan berpikir secara sistematis.	Penilaian implikasi pilihan gaya hidup	Tes-Pilihan Ganda

Dimensi	Aspek Literasi Keberlanjutan	Indikator Literasi Keberlanjutan	Instrumen Pengukuran
	Keterampilan dalam berpikir kritis dan bertindak secara sistematis terhadap isu keberlanjutan	terhadap konsumsi energi	
	Keterampilan dalam membuat keputusan yang berkelanjutan dan bertanggung jawab	Keterampilan dalam membuat keputusan yang berkelanjutan dan bertanggung jawab	
Sikap	Sikap proaktif terhadap isu keberlanjutan dan energi	Partisipasi dalam proyek-proyek energi bersih di komunitas	Non Tes
	Motivasi untuk bertindak dan mendorong perubahan positif	Keterlibatan dalam diskusi dan proyek energi hijau	
Pola Pikir	Pola pikir terhadap keberlanjutan dan tanggung jawab pribadi atas pilihan hidup yang berkelanjutan.	Aksi Kolektif dan kerjasama untuk mendorong perubahan dalam penggunaan energi	Non Tes
	Pola pikir yang mendukung inisiatif keberlanjutan	penerapan praktik hemat energi di rumah dan sekolah	

Skor hasil pengukuran literasi keberlanjutan siswa, baik melalui tes maupun non-tes, dianalisis menggunakan Model Rasch dengan bantuan perangkat lunak Winsteps 5.7.1. Nilai yang diperoleh dinyatakan dalam logit (LVP) yang mencerminkan kemampuan siswa secara objektif dan interval. Kategori interpretasi skor dilakukan berdasarkan rumus distribusi normal merujuk pada tabel 1.4.

1.7.4 Keterlaksanaan Pembelajaran Menggunakan PSSD Bermuatan ESD

A. Definisi Operasional

Keterlaksanaan diukur melalui observasi langsung selama pelaksanaan pembelajaran menggunakan lembar observasi terstruktur yang mencakup beberapa indikator utama: (1) penggunaan komponen perangkat (modul ajar, media, LKPD

digital); (2) penerapan tahapan RADEC; (3) integrasi nilai-nilai keberlanjutan (lingkungan, sosial, ekonomi); dan (4) respons dan keterlibatan aktif siswa

B. Instrumen Pengukuran

Digunakan untuk menilai sejauh mana PSSD dapat diimplementasikan oleh guru di kelas. Penilaian dilakukan melalui lembar observasi terstruktur berdasarkan indikator aktivitas pembelajaran RADEC dan keterpaduan nilai ESD.

Tabel 1.5 Kategori keterlaksanaan pembelajaran

Rentang	Kategori
86% - 100%	Sangat Baik
76% - 85%	Baik
60% - 75%	Cukup
< 60%	Kurang

1.7.5 Tanggapan Guru dan Siswa terhadap Implementasi PSSD berbasis ESD

A. Definisi Konseptual

Tanggapan guru dan siswa merujuk pada persepsi, penilaian, dan sikap mereka terhadap proses, konten, dan dampak implementasi pembelajaran menggunakan Subject Specific Pedagogy Digital (PSSD) bermuatan Education for Sustainable Development (ESD). Tanggapan ini mencerminkan aspek relevansi, kemudahan penggunaan, daya tarik, dan efektivitas PSSD dalam mendukung pemahaman dan sikap terhadap keberlanjutan.

B. Definisi Operasional

Tanggapan guru dan siswa terhadap implementasi PSSD berbasis ESD diukur menggunakan instrumen kuisioner skala Likert 5 poin, yang mencakup aspek persepsi terhadap: (1) Kesesuaian materi dengan konteks pembelajaran; (2) Integrasi nilai-nilai keberlanjutan; (3) Kemudahan penggunaan perangkat digital; (4) Keterlibatan dan motivasi belajar siswa; dan (5) Dampak terhadap pemahaman konsep dan kesadaran keberlanjutan.

C. Instrumen Pengukuran

Instrumen pengukuran disusun terpisah untuk guru dan siswa, guru 10 butir pernyataan dan siswa 10 butir pernyataan dengan skala penilaian 1 (sangat tidak

Ismail, 2025

setuju) sampai 5 (sangat setuju). Selain itu, untuk memperdalam data temuan kuantitatif dan mengidentifikasi faktor pendukung maupun kendala implementasi PSSD dilakukan wawancara reflektif semi-terstruktur terhadap sampel guru dan siswa.