



Ekliptika : Jurnal Inovasi Teknologi Berkelanjutan

Vol. 6 No. 1 Juli 2025 / Hal. 1–14

doi: <https://doi.org/10.55757/ekliptika.v6i1.889>



Smart Assessment for a Sustainable Future: Pengembangan Teknologi Berkelanjutan dalam Pembelajaran Interaktif Sekolah Menengah Menuju SDGs

Erna Budiarti^{1*}, Rani Darmayanti², Samuel Karim³

¹ Universitas Pancasakti Bekasi, Indonesia

² Universitas Muhammadiyah Malang, Indonesia

³ University of Science and Technology and College of Human Resources Development, Sierra Leone

*Corresponding author: bbudiarti@gmail.com

Received: 1 April 2025; Accepted: 10 Mei 2025

Abstrak

Kajian ini menelaah penilaian cerdas berkelanjutan untuk pembelajaran interaktif sekolah menengah dan SDGs. Literatur 2014–2024 ditelusuri melalui Scopus, Web of Science, dan Google Scholar dengan seleksi beracuan PRISMA serta Publish or Perish. Ringkasan 200 artikel periode 2019–2024 mencakup kuis berbasis kecerdasan buatan (58%), gamifikasi (23%), umpan balik waktu nyata (12%), dan modul elektronik interaktif (7%). Hasil melaporkan peningkatan keterlibatan, literasi lingkungan, perilaku berkelanjutan, dan keterampilan 4C, dengan keterbatasan data per studi, ukuran efek, serta pembobotan. Hambatan mencakup infrastruktur, kesiapan guru, skalabilitas, dan akses. Rekomendasi meliputi pengembangan guru, perangkat efisien, perlindungan data, kemitraan, dan evaluasi jangka panjang untuk mutu, inklusi, serta keberlanjutan.

Kata kunci: pembelajaran interaktif; penilaian cerdas; SDGs; sekolah menengah; teknologi berkelanjutan

Abstract

This review examines sustainable smart assessment for interactive secondary-school learning and the SDGs. Literature from 2014–2024 was retrieved through Scopus, Web of Science, and Google Scholar using PRISMA-informed selection and Publish or Perish. The reported summary of 200 articles from 2019–2024 comprises AI-based quizzes (58%), gamification (23%), real-time feedback (12%), and interactive modules (7%). Results report improved engagement, environmental literacy, sustainable behaviour, and 4C skills, with limitations in study-level data, effect sizes, and weighting. Infrastructure, teacher readiness, scalability, and access remain barriers. Recommendations include teacher development, efficient technology, data protection, partnerships, and long-term evaluation for quality, inclusion, and sustainability.

Keywords: interactive learning; SDGs; secondary schools; smart assessment; sustainable technology

[1] E. Budiarti, R. Darmayanti, and S. Karim, "Smart Assessment for a Sustainable Future: Pengembangan Teknologi Berkelanjutan dalam Pembelajaran Interaktif Sekolah Menengah Menuju SDGs," *Ekliptika: Jurnal Inovasi Teknologi Berkelanjutan*, vol. 6, no. 1, pp. 1–14, 2025, doi: [10.55757/ekliptika.v6i1.889](https://doi.org/10.55757/ekliptika.v6i1.889).



PENDAHULUAN

Transformasi digital mengubah cara sekolah menyusun pengalaman belajar dan menilai capaian siswa. Pada saat yang sama, pendidikan dituntut menumbuhkan kemampuan memahami persoalan lingkungan, mempertimbangkan konsekuensi tindakan, dan mengambil keputusan yang bertanggung jawab. Pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan menghubungkan pengetahuan, keterampilan, sikap, dan tindakan dengan tujuan pembangunan global. Integrasi tersebut perlu diwujudkan melalui kegiatan belajar dan asesmen yang relevan dengan kehidupan siswa [1] [2].

Penilaian cerdas atau smart assessment merupakan pemanfaatan perangkat digital, analisis respons, dan umpan balik untuk mendukung keputusan pembelajaran. Penilaian ini dapat mencakup kuis adaptif, platform respons siswa, gamifikasi, serta modul elektronik interaktif. Nilai pedagogisnya terletak pada informasi yang membantu guru mengenali kesulitan belajar dan membantu siswa memperbaiki pemahaman. Asesmen formatif yang terintegrasi dengan pembelajaran menjadi landasan bagi pengembangan sistem tersebut [3].

Umpan balik perlu menjelaskan tujuan, perkembangan, dan langkah perbaikan yang dapat dilakukan siswa. Kecepatan respons sistem belum menjamin kualitas pembelajaran apabila informasi yang diberikan hanya berupa nilai atau penanda benar dan salah. Oleh sebab itu, desain penilaian perlu menyediakan penjelasan, kesempatan revisi, dan refleksi terhadap strategi belajar [4] [5]. Konsep sustainable assessment juga berkaitan dengan kemampuan siswa menilai kualitas pekerjaannya untuk kebutuhan belajar berikutnya; konsep ini perlu dibedakan dari keberlanjutan lingkungan perangkat digital [6].

Literatur mengenai Kahoot! dan gamifikasi menunjukkan bahwa teknologi interaktif berpotensi mendukung partisipasi, motivasi, dan hasil belajar [7] [8]. Namun, manfaat tersebut bergantung pada rancangan kegiatan, karakteristik peserta didik, durasi penggunaan, dan pendekatan evaluasi. Kajian kritis gamifikasi menekankan perlunya menilai mutu bukti dan membatasi generalisasi dari intervensi yang berbeda [9]. Dengan demikian, penerapan teknologi harus mengikuti kebutuhan pembelajaran yang jelas.

Pengembangan penilaian cerdas menghadapi ketimpangan akses internet, keterbatasan perangkat, kesiapan guru, biaya pemeliharaan, dan tata kelola data. Integrasi pengetahuan teknologi, pedagogi, dan materi menjadi dasar pemilihan perangkat yang sesuai [10]. Persepsi manfaat dan kemudahan penggunaan memengaruhi penerimaan teknologi [11], sedangkan kerangka DigCompEdu memberikan acuan pengembangan kompetensi digital pendidik [12]. Laporan UNESCO menempatkan kesesuaian, pemerataan, keberlanjutan, dan bukti manfaat sebagai pertimbangan utama teknologi pendidikan [13].

Kajian ini membahas hubungan penilaian cerdas, teknologi berkelanjutan, pembelajaran interaktif, dan pencapaian SDGs dalam pendidikan menengah. Fokus analisis meliputi tren publikasi, ragam perangkat, ringkasan dampak, hambatan implementasi, serta rancangan model operasional. Kontribusi kajian terletak pada sintesis kebutuhan pedagogis, kesiapan institusi, dan prinsip keberlanjutan. Penerapan kecerdasan buatan ditempatkan sebagai salah satu pilihan teknologi yang memerlukan pengawasan pendidik, bukan pengganti pertimbangan profesional guru [14] [15].

Kajian aplikasi kecerdasan buatan pada pendidikan tinggi digunakan sebagai pembanding konseptual mengenai peran pendidik, desain sistem, dan evaluasi [16]. Temuan pada pendidikan tinggi tidak langsung dianggap berlaku untuk sekolah menengah. Perbedaan usia siswa, mata pelajaran, dukungan sekolah, dan tata kelola data perlu diperhatikan saat mengadaptasi pendekatan tersebut.

METODE

Desain kajian dan ruang lingkup

Penelitian menggunakan tinjauan literatur sistematis untuk mengidentifikasi pengembangan dan implementasi penilaian cerdas berbasis teknologi berkelanjutan dalam pendidikan menengah. Rentang penelusuran literatur adalah 2014–2024, sedangkan ringkasan bibliometrik dan distribusi topik menggunakan periode 2019–2024. Pemisahan dua rentang tersebut diperlukan agar cakupan konseptual dan kelompok artikel yang dihitung tidak dianggap identik. Literatur metodologis dan kerangka kebijakan digunakan untuk menjelaskan pendekatan analisis, di luar kelompok artikel yang diringkas secara kuantitatif.

Seleksi literatur mengacu pada tahapan identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan inklusi dalam pedoman PRISMA 2020 [17]. Gambar 1 menunjukkan skema tahap seleksi. Diagram tersebut menggambarkan prosedur umum, tanpa menyajikan jumlah rekaman pada setiap tahap karena catatan penghapusan duplikasi dan alasan eksklusi per tahap tidak tersedia dalam dokumentasi kajian.

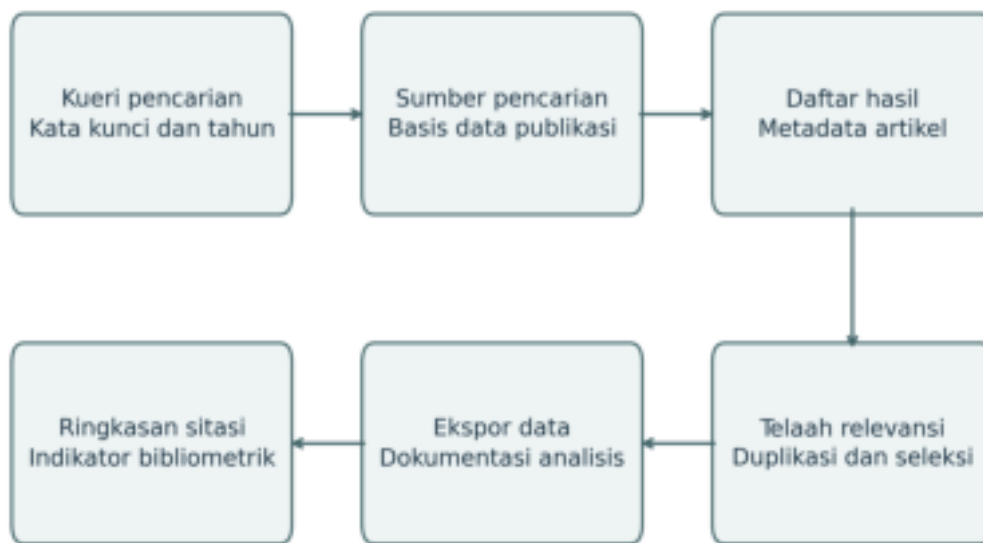


Gambar 1. Skema tahapan seleksi literatur beracuan PRISMA

Penelusuran dan kriteria inklusi

Sumber penelusuran mencakup Scopus, Web of Science, dan Google Scholar. Fokus penelusuran meliputi smart assessment, sustainable technology, interactive learning, secondary education, dan sustainability. Kriteria inklusi meliputi relevansi dengan perangkat asesmen digital, integrasi teknologi berkelanjutan, pembelajaran interaktif, dan konteks pendidikan menengah. Kajian utama membatasi artikel berbahasa Inggris sehingga terdapat kemungkinan bias bahasa dan keterwakilan wilayah.

Publish or Perish digunakan untuk membantu pengambilan serta ringkasan indikator sitasi [18]. Hasil penelusuran perlu ditelaah berdasarkan judul, abstrak, dan teks penuh untuk menghindari masuknya artikel yang menggunakan istilah serupa pada disiplin yang tidak berkaitan dengan pendidikan. Relevansi artikel ditentukan oleh kesesuaian konteks dan tujuan penelitian, bukan hanya jumlah sitasinya.



Gambar 2. Skema penggunaan Publish or Perish dalam pengelolaan hasil penelusuran

Gambar 2 memperlihatkan hubungan antara penelusuran, pengelolaan hasil, dan dokumentasi analisis. Skema tersebut menjelaskan fungsi alat penelusuran serta tahap telaah peneliti dan tidak menggantikan daftar artikel terpilih. Untuk reproduksibilitas, pelaporan analisis bibliometrik memerlukan tanggal pencarian, sumber basis data, batasan tahun, kueri lengkap, dan prosedur deduplikasi. Ringkasan yang tersedia pada kajian ini dibaca dengan memperhatikan keterbatasan dokumentasi tersebut.

Integrasi data lokal dan keterkaitan dengan SDGs

Kerangka implementasi mempertimbangkan data asesmen, penerimaan peserta didik baru (PPDB), rapor pendidikan, dan hasil belajar siswa. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mengenali kebutuhan sekolah, variasi karakteristik siswa, kesenjangan capaian, dan kesiapan layanan pendidikan. Integrasi data lokal diarahkan untuk memperkuat relevansi rancangan penilaian dengan permasalahan yang dihadapi sekolah.



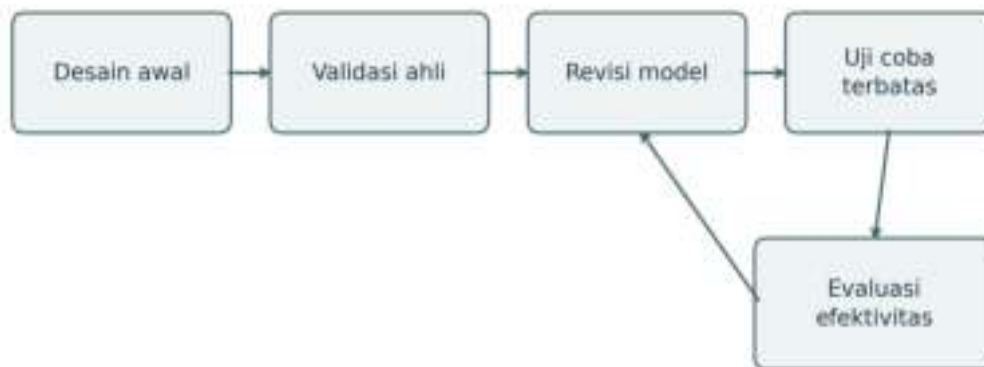
Gambar 3. Kerangka integrasi data lokal untuk penilaian cerdas dan dukungan terhadap SDGs

Keterkaitan utama berada pada SDG 4 melalui kualitas dan inklusi pendidikan serta SDG 9 melalui dukungan inovasi dan infrastruktur. Pertimbangan kesetaraan akses berkaitan dengan SDG 5, sedangkan kolaborasi institusi berkaitan dengan SDG 17. Hubungan tersebut merupakan kerangka konseptual; kontribusi terhadap target SDGs perlu dinilai melalui

indikator yang terukur. Penggunaan data lokal juga perlu memperhatikan tujuan pengumpulan, pembatasan akses, dan penghilangan identitas siswa.

Pengembangan model dan analisis data

Analisis dilakukan melalui pengelompokan teknologi, identifikasi indikator hasil, dan sintesis tantangan implementasi. Model operasional mencakup desain awal, validasi ahli, revisi, uji coba terbatas, dan evaluasi efektivitas. Tahapan tersebut disusun sebagai siklus pengembangan yang memungkinkan perbaikan berdasarkan pengalaman guru dan siswa. Gambar 4 merangkum hubungan antartahap.



Gambar 4. Siklus pengembangan dan evaluasi model penilaian cerdas

Validasi model perlu menilai kesesuaian materi, kejelasan instruksi, relevansi indikator, aksesibilitas, dan kemudahan penggunaan. Uji coba terbatas diarahkan untuk mengetahui kendala teknis serta respons pengguna sebelum penerapan pada cakupan yang lebih luas. Dokumentasi yang tersedia belum memuat jumlah validator, koefisien validitas, reliabilitas instrumen, atau hasil uji statistik lapangan. Karena itu, skema pengembangan dibahas sebagai rancangan operasional dan tidak ditafsirkan sebagai bukti keberhasilan uji coba baru.

Instrumen dan sumber data

Perangkat pengumpulan data dalam kerangka pengembangan terdiri atas angket kebutuhan, lembar validasi ahli, instrumen uji coba, dan rubrik penilaian. Tujuan serta sumber datanya disajikan pada Tabel 1. Setiap instrumen harus diturunkan dari indikator pembelajaran dan indikator keberlanjutan yang relevan agar pengukuran tidak hanya berfokus pada kepuasan penggunaan aplikasi.

Tabel 1. Instrumen dan sumber data dalam kerangka pengembangan

Instrumen	Tujuan penggunaan	Prosedur evaluasi	Sumber data
Angket kebutuhan	Mengidentifikasi kebutuhan sekolah dan siswa	Validasi ahli	Guru dan siswa
Lembar validasi ahli	Menilai kelayakan model	Telaah pakar	Dosen dan praktisi
Instrumen uji coba	Mengukur respons dan efektivitas model	Uji coba lapangan	Siswa
Rubrik penilaian	Menilai hasil belajar dan perilaku	Validasi ahli	Hasil belajar siswa

Sintesis hasil dan batas interpretasi

Data kuantitatif disajikan dalam frekuensi, persentase, serta ringkasan perubahan hasil. Distribusi kategori teknologi diperiksa terhadap jumlah artikel yang dilaporkan. Indikator dampak dibaca secara deskriptif karena tidak tersedia ukuran efek per studi, kesalahan baku, metode pembobotan, maupun ukuran heterogenitas. Dengan demikian, nilai peningkatan dalam tabel tidak diperlakukan sebagai estimasi efek gabungan dari meta-analisis formal.

Keterbatasan kajian mencakup potensi bias publikasi, seleksi bahasa, ketidaklengkapan dokumentasi penelusuran, dan perbedaan desain penelitian. Perbandingan lintas studi mempertimbangkan konteks pendidikan, karakteristik peserta, teknologi yang digunakan, dan durasi intervensi. Pendekatan ini menjaga agar simpulan tidak melampaui bukti yang dapat diperiksa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tren publikasi dan distribusi topik

Ringkasan bibliometrik memuat 200 artikel bertopik penilaian cerdas dan teknologi berkelanjutan untuk periode 2019–2024. Pertumbuhan jumlah publikasi sebesar 172% antara 2019 dan 2024 dilaporkan dalam hasil kajian. Namun, jumlah publikasi pada tahun awal dan akhir tidak disajikan sehingga persentase tersebut belum dapat dihitung ulang. Pertumbuhan publikasi menunjukkan perhatian penelitian terhadap topik, tetapi tidak secara langsung menunjukkan tingkat adopsi teknologi di sekolah.

Tabel 2. Distribusi topik penilaian cerdas dalam 200 artikel periode 2019–2024

Jenis penilaian cerdas	Persentase artikel (%)	Jumlah studi
Kuis berbasis kecerdasan buatan	58	116
Gamifikasi	23	46
Umpan balik waktu nyata	12	24
Modul elektronik interaktif	7	14
Total	100	200

Tabel 2 menunjukkan bahwa kuis berbasis kecerdasan buatan merupakan kategori terbesar, diikuti gamifikasi, umpan balik waktu nyata, dan modul elektronik interaktif. Jumlah kategori mencapai 200 artikel dan total persentasenya 100%. Komposisi ini menggambarkan kelompok artikel yang diringkas, bukan proporsi sekolah pengguna teknologi. Kategori juga perlu dipahami berdasarkan aturan klasifikasi karena satu perangkat dapat sekaligus menyediakan gamifikasi dan umpan balik waktu nyata.

Dominasi kuis dan gamifikasi dapat dikaitkan dengan kemudahan penyelenggaraan aktivitas singkat, pemberian umpan balik, serta pencatatan respons. Tinjauan Kahoot! mendukung pembahasan tentang peluang dan tantangan platform respons siswa [7], sedangkan sintesis gamifikasi menjelaskan variasi hasil pada aspek kognitif, motivasional, dan perilaku [8]. Perbedaan hasil antarkonteks menunjukkan bahwa kategori teknologi saja belum cukup untuk menjelaskan efektivitas pembelajaran.

Studi kasus pembelajaran interaktif

Ringkasan kasus komik digital berbasis karakter pada siswa SMP di Malang melaporkan nilai prates 58 dan pascates 74 pada 120 siswa. Selisihnya adalah 16 poin atau sekitar 27,6% terhadap nilai awal. Angka ini menunjukkan perubahan deskriptif dalam kasus yang

dilaporkan. Tanpa dokumentasi pembandingan, penyebaran skor, dan sumber studi primer yang lengkap, perubahan tersebut tidak dapat diatribusikan sepenuhnya kepada penggunaan komik digital.

Kasus pembelajaran berbasis masalah berbantuan Kahoot! melaporkan peningkatan keterlibatan sebesar 24% dengan 90 siswa. Pemanfaatan platform respons dapat membuka kesempatan partisipasi, diskusi jawaban, dan refleksi. Namun, definisi keterlibatan, instrumen pengukuran, serta kondisi pra-intervensi perlu diperhatikan ketika membaca besarnya perubahan. Kedua kasus menggambarkan kemungkinan penerapan pembelajaran interaktif dan tidak digunakan sebagai dasar generalisasi untuk seluruh sekolah menengah.

Kajian smart board pada pembelajaran transdisipliner memberikan contoh bahwa perangkat asesmen dapat dihubungkan dengan pengalaman belajar di luar kelas [19]. Studi aplikasi pembelajaran bahasa berbasis web bergerak juga memperlihatkan pentingnya memahami penerimaan pengguna [20]. Dua sumber tersebut menjadi pembandingan desain dan konteks; angka hasilnya tidak dipindahkan ke dua kasus di atas.

Proses implementasi penilaian cerdas

Implementasi dimulai dari analisis kebutuhan, pemilihan teknologi, pelatihan guru, pengembangan materi, penerapan, dan evaluasi. Siswa, guru, dan kepala sekolah memiliki peran yang berbeda tetapi saling berkaitan. Siswa menyediakan respons serta pengalaman penggunaan; guru menafsirkan hasil asesmen dan menentukan tindak lanjut; kepala sekolah mendukung kebijakan, sumber daya, serta pengawasan pelaksanaan.



Gambar 5. Alur implementasi penilaian cerdas dan keterlibatan aktor sekolah

Siklus pada Gambar 5 menempatkan evaluasi sebagai bagian dari perbaikan berkelanjutan. Temuan teknis dan pedagogis digunakan untuk memperbaiki desain kegiatan, pilihan perangkat, serta materi pelatihan. Pendekatan ini memungkinkan sekolah mengembangkan sistem secara bertahap sesuai kemampuan sumber daya. Keterlibatan pengguna sejak perencanaan juga membantu mengurangi ketidaksesuaian antara fitur aplikasi dan kebutuhan kelas.

Ringkasan dampak penilaian cerdas

Ringkasan perubahan pada keterlibatan siswa, literasi lingkungan, perilaku berkelanjutan, dan keterampilan 4C disajikan pada Tabel 3. Angka tersebut merupakan nilai peningkatan yang dilaporkan dalam kajian. Jumlah studi pada setiap indikator dapat bertumpang tindih karena sebuah penelitian dapat menilai lebih dari satu hasil; penjumlahannya tidak diperlakukan sebagai jumlah artikel unik.

Tabel 3. Ringkasan peningkatan indikator hasil yang dilaporkan

Indikator hasil	Rata-rata peningkatan (%)	Jumlah studi
Keterlibatan siswa	22	134
Literasi lingkungan	19	98
Perilaku berkelanjutan	15	76
Keterampilan 4C	17	81

Nilai terbesar pada Tabel 3 berada pada keterlibatan siswa, diikuti literasi lingkungan, keterampilan 4C, dan perilaku berkelanjutan. Keterampilan 4C mencakup berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi. Pola ini mengarah pada perlunya membedakan respons partisipasi jangka pendek dari perubahan perilaku yang memerlukan pengamatan lebih lama. Partisipasi aktif tidak otomatis berarti pemahaman yang lebih mendalam atau kebiasaan yang menetap.

Tanpa rincian ukuran efek dan prosedur pembobotan, selisih antarindikator tidak menunjukkan perbedaan yang telah diuji secara statistik. Efektivitas perlu dianalisis berdasarkan kesesuaian tujuan, kualitas instrumen, kondisi pembanding, dan tindak lanjut pembelajaran. Desain asesmen yang menyediakan umpan balik bermakna serta kesempatan perbaikan lebih sesuai untuk mendukung regulasi diri dibandingkan sistem yang hanya menghasilkan peringkat [4] [5].

Tantangan menurut konteks sekolah

Hambatan implementasi mencakup infrastruktur, resistensi guru, skalabilitas, dan kegagalan adopsi. Tabel 4 menyajikan ringkasan berdasarkan konteks perkotaan, perdesaan, negeri, dan swasta. Persentase merupakan nilai yang dilaporkan per konteks; denominasi kelompok dan definisi setiap indikator belum dirinci. Karena itu, kolom-kolom tersebut tidak dijumlahkan dan tidak diperlakukan sebagai satu distribusi yang harus mencapai 100%.

Tabel 4. Tantangan implementasi menurut konteks sekolah

Tantangan	Perkotaan (%)	Perdesaan (%)	Negeri (%)	Swasta (%)	Jumlah studi
Keterbatasan infrastruktur	18	67	41	44	92
Resistensi guru	29	21	33	17	54
Skala implementasi	44	56	48	52	61
Kegagalan adopsi	12	38	19	31	27

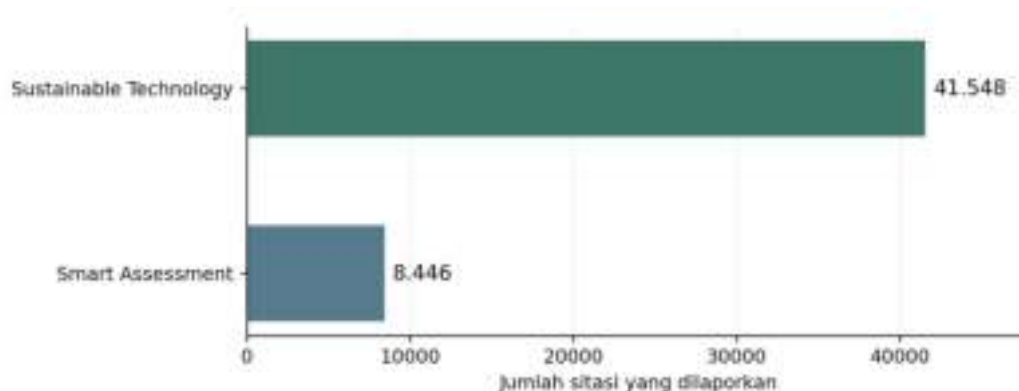
Keterbatasan infrastruktur dilaporkan lebih tinggi pada konteks perdesaan daripada perkotaan. Kegagalan adopsi juga menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada konteks perdesaan. Sebaliknya, resistensi guru dilaporkan lebih besar pada konteks perkotaan. Pola tersebut mengindikasikan bahwa kendala teknis dan kendala penerimaan memerlukan intervensi yang berbeda. Penyediaan perangkat saja belum cukup apabila pengguna tidak memahami manfaat dan cara penerapannya.

Kasus penggunaan media TikTok untuk pembelajaran matematika melaporkan kegagalan penerapan pada dua dari lima sekolah perdesaan akibat keterbatasan internet dan perangkat. Kasus tersebut menegaskan perlunya menilai kebutuhan konektivitas sebelum pemilihan

aplikasi. Alternatif operasional mencakup materi berukuran kecil, perangkat bersama, sinkronisasi berkala, dan akses luring. Kelengkapan informasi kasus tetap menentukan batas penerapan hasilnya pada sekolah lain.

Indikator sitasi dan batas analisis bibliometrik

Ringkasan penelusuran melaporkan 41.548 sitasi untuk topik Sustainable Technology dan 8.446 sitasi untuk Smart Assessment. Gambar 6 menyajikan ulang kedua total tersebut agar dapat dibandingkan tanpa membentuk deret tahunan yang tidak tersedia. Perbedaan total sitasi dapat dipengaruhi keluasan bidang, umur publikasi, basis data, dan strategi penelusuran. Oleh sebab itu, jumlah sitasi tidak ditafsirkan sebagai ukuran langsung keberhasilan pembelajaran atau tingkat adopsi sekolah.



Gambar 6. Perbandingan total sitasi dua topik yang dilaporkan dalam kajian

Analisis bibliometrik membantu mengenali perkembangan literatur ketika cakupan dan prosedur pengumpulan data dinyatakan secara konsisten [21]. Indeks-h memiliki definisi khusus berdasarkan jumlah publikasi dan batas sitasinya [22]. Data artikel terurut menurut sitasi diperlukan untuk menghitung indeks tersebut; total sitasi saja tidak mencukupi. Karena berkas f.csv dan ff.csv tidak tersedia dalam paket data, perkembangan indeks-h tahunan tidak disimpulkan pada kajian ini.

Variasi konteks lokal dan global

Penerapan penilaian cerdas dipengaruhi kondisi sekolah, dukungan kebijakan, kemampuan guru, dan akses siswa. Sekolah yang memiliki jaringan stabil dan layanan teknis dapat menjalankan fitur lebih kompleks, sedangkan sekolah dengan keterbatasan konektivitas memerlukan rancangan yang lebih ringan. Perbedaan tersebut tidak menunjukkan rendahnya kemampuan pedagogis sekolah, tetapi memperlihatkan perlunya kesesuaian teknologi dengan sumber daya yang tersedia.

Dalam konteks Indonesia, desain kegiatan perlu mempertimbangkan bahasa, pengalaman keseharian, budaya sekolah, serta keterlibatan keluarga. Materi mengenai konsumsi energi, pengelolaan sampah, dan kualitas lingkungan sekitar dapat menjadi konteks asesmen. Siswa tidak hanya diminta memilih jawaban, tetapi juga menjelaskan alasan, mengolah data sederhana, dan menilai alternatif tindakan. Pendekatan kontekstual mendukung hubungan antara pengetahuan dan tanggung jawab keberlanjutan [1].

Dukungan institusi mencakup waktu pengembangan materi, pendampingan, akses perangkat, dan evaluasi praktik. Pengembangan kompetensi guru perlu mengintegrasikan tujuan pembelajaran, strategi pedagogis, dan fitur teknologi [10] [12]. Guru tetap bertanggung jawab memeriksa kesesuaian pertanyaan, menafsirkan respons siswa, serta memastikan bahwa keputusan penilaian tidak hanya mengikuti keluaran otomatis.

Sintesis komparatif dan kesiapan pengguna

Perbandingan lintas studi memerlukan kesetaraan indikator dan konteks. Peningkatan nilai, motivasi, keterlibatan, dan literasi lingkungan merupakan hasil yang berbeda sehingga tidak seharusnya digabungkan tanpa kerangka pengukuran yang jelas. Durasi intervensi, jenjang kelas, karakteristik mata pelajaran, dan dukungan guru juga memengaruhi hasil. Kajian gamifikasi menunjukkan adanya variasi menurut unsur permainan, bentuk interaksi sosial, dan rancangan pembelajaran [8] [9].

Pelatihan guru dapat dilaksanakan melalui kombinasi lokakarya, praktik kelas, pendampingan, dan refleksi bersama. Materi pelatihan perlu mencakup penyusunan butir, penafsiran data respons, pemberian umpan balik, aksesibilitas, dan pemeliharaan perangkat. Kesiapan pengguna dapat dinilai melalui kemudahan penggunaan serta manfaat yang dirasakan [11]. Pengukuran tersebut membantu menentukan apakah hambatan muncul dari desain aplikasi, kompetensi pengguna, atau keterbatasan sumber daya.

Kolaborasi antarnegara dan antarinstansi dapat mendukung pertukaran metode serta sumber belajar, tetapi adaptasi tetap diperlukan. Praktik yang berhasil pada satu konteks perlu diuji terhadap kurikulum, kondisi akses, dan budaya belajar setempat. Kolaborasi dapat diarahkan pada pengembangan rubrik bersama, dokumentasi protokol, dan evaluasi lintas konteks. Kualitas kerja sama dinilai dari manfaat pembelajaran dan kemampuan sekolah mempertahankan praktik setelah program pendampingan selesai.

Keberlanjutan teknologi dan efisiensi sumber daya

Digitalisasi asesmen belum otomatis menghasilkan manfaat lingkungan. Pengurangan kertas perlu dibaca bersama konsumsi listrik, kebutuhan jaringan, masa pakai perangkat, dan pengelolaan limbah elektronik. Pada tingkat sekolah, pertimbangan praktis mencakup pemakaian perangkat yang sudah tersedia, pengurangan pemrosesan yang tidak diperlukan, penggunaan format ringan, dan jadwal pemeliharaan. Dampak lingkungan perlu diukur melalui indikator yang sesuai, bukan diasumsikan dari penggunaan aplikasi.

Keberlanjutan operasional juga bergantung pada biaya lisensi, dukungan teknis, interoperabilitas, dan ketersediaan materi. Ketergantungan pada layanan yang sulit dipindahkan dapat menghambat kelanjutan program. Sekolah perlu menilai total kebutuhan sumber daya sebelum memilih platform. Evaluasi biaya dan manfaat sebaiknya mencakup kualitas asesmen, beban kerja guru, keterjangkauan siswa, serta kemampuan institusi mengelola sistem secara mandiri [13].

Etika, privasi, dan keadilan digital

Data penilaian memuat informasi tentang capaian dan pola belajar siswa. Penggunaannya perlu dibatasi pada tujuan pendidikan yang jelas, dengan pengaturan akses sesuai peran. Laporan untuk diskusi kelas dapat disajikan dalam bentuk agregat, sedangkan data individual memerlukan perlindungan yang lebih ketat. Informasi yang tidak diperlukan untuk penilaian tidak perlu dikumpulkan. Pengelolaan data harus memperhatikan periode penyimpanan, keamanan, serta prosedur penghapusan.

Keadilan digital mencakup kesempatan mengikuti asesmen, akses terhadap perangkat, kebutuhan siswa dengan disabilitas, dan kesesuaian bahasa. Penilaian yang mewajibkan perangkat pribadi atau jaringan cepat berpotensi memengaruhi hasil melalui faktor akses. Sekolah perlu menyediakan pilihan cara pengerjaan yang setara dan membedakan kendala teknis dari kemampuan akademik. Prinsip inklusi dan pengawasan manusia menjadi perhatian penting dalam penggunaan kecerdasan buatan untuk pendidikan [14] [15].

Penggunaan sistem otomatis memerlukan pemeriksaan terhadap kesalahan keluaran, bias, dan kejelasan alasan penilaian. Siswa perlu memperoleh kesempatan meminta penjelasan

atau peninjauan hasil. Guru tidak cukup hanya mengoperasikan sistem, tetapi juga menilai kesesuaian keluaran dengan bukti pekerjaan siswa. Ketentuan ini mendukung integritas asesmen dan menjaga agar teknologi berfungsi sebagai alat bantu keputusan pedagogis.

Inovasi teknologi dan potensi pengembangan

Kecerdasan buatan menawarkan peluang untuk menyesuaikan tingkat kesulitan pertanyaan, mengenali pola kesalahan, dan mendukung umpan balik. Realitas virtual dapat menyediakan konteks simulasi untuk masalah yang sulit diamati langsung, sedangkan blockchain dapat mendukung pencatatan tertentu. Namun, penggunaan teknologi tersebut perlu didasarkan pada kebutuhan yang nyata. Kecanggihan fitur tidak menjadi alasan yang cukup apabila tujuan dapat dicapai dengan perangkat yang lebih sederhana.

Pilihan teknologi perlu dinilai berdasarkan manfaat, biaya, aksesibilitas, beban pemeliharaan, dan risiko data. Untuk sekolah dengan sumber daya terbatas, kuis ringan, materi luring, dan rubrik yang jelas dapat lebih layak daripada sistem kompleks. Kajian aplikasi kecerdasan buatan menegaskan perlunya hubungan antara pengembangan teknis dan kepentingan pendidikan [16]. Evaluasi inovasi perlu mencakup kemampuan guru melakukan intervensi ketika sistem menghasilkan respons yang kurang tepat.

Literatur lokal dan adaptasi sosial budaya

Literatur lokal dapat memperkaya pemahaman tentang praktik kelas, hambatan akses, dan bentuk dukungan yang sesuai. Pembatasan bahasa pada penelusuran utama dapat mengurangi keterwakilan pengalaman sekolah Indonesia serta negara berkembang lainnya. Kajian lanjutan perlu memasukkan sumber non-Inggris dengan prosedur seleksi yang konsisten agar perbedaan bahasa tidak menjadi alasan mengecualikan bukti yang relevan.

Adaptasi materi dapat menggunakan persoalan lingkungan yang dekat dengan siswa, seperti pemilahan sampah sekolah, penggunaan air, atau perbandingan konsumsi listrik. Penilaian dapat meminta siswa mengumpulkan informasi, membandingkan alternatif, dan menyusun usulan tindakan. Penggabungan konteks lokal dan indikator yang jelas membantu menjaga relevansi tanpa mengabaikan tujuan pembelajaran. Keragaman konteks perlu dicatat agar hasil dapat dibandingkan secara tepat.

Rekomendasi dan model implementasi operasional

Pertama, sekolah perlu melakukan pemetaan kebutuhan yang mencakup capaian pembelajaran, kemampuan guru, akses siswa, dan kondisi infrastruktur. Hasil pemetaan digunakan untuk menentukan prioritas penerapan. Sekolah dapat memulai dari satu mata pelajaran atau beberapa indikator yang paling membutuhkan umpan balik. Lingkup awal yang jelas membantu mengendalikan biaya dan memudahkan evaluasi.

Kedua, program pengembangan guru perlu menggabungkan pengetahuan asesmen dan keterampilan digital. Pendampingan mencakup penyusunan butir, perancangan umpan balik, pengolahan respons, serta refleksi hasil. Pelatihan tidak hanya berorientasi pada fitur aplikasi. Guru perlu memahami mengapa fitur dipilih dan bagaimana data digunakan untuk memperbaiki pembelajaran [12] [10].

Ketiga, kemitraan sekolah, perguruan tinggi, dan penyedia teknologi dapat diarahkan pada perangkat yang terjangkau, mudah dipelihara, dan sesuai kebutuhan. Kerja sama sebaiknya memuat peran, dukungan teknis, pengelolaan data, serta evaluasi yang jelas. Keputusan penerapan tetap memperhatikan kemampuan sekolah melanjutkan program ketika dukungan eksternal berakhir.

Keempat, tata kelola data dan prosedur penilaian perlu disusun sebelum perluasan implementasi. Ketentuan mencakup akses pengguna, penjelasan kepada siswa, pengamanan

data, mekanisme peninjauan nilai, dan pilihan pengerjaan bagi siswa yang menghadapi kendala akses. Pemantauan dilakukan terhadap mutu pembelajaran, partisipasi, dan kesetaraan kesempatan, bukan hanya frekuensi penggunaan aplikasi.

Kelima, evaluasi berjangka perlu membandingkan kondisi awal dan akhir menggunakan instrumen yang sesuai serta kelompok pembanding bila memungkinkan. Indikator dapat mencakup penguasaan materi, kualitas penalaran, keterlibatan, kebiasaan berkelanjutan, beban kerja guru, biaya, dan konsumsi sumber daya. Dokumentasi per studi, protokol penelusuran, dan berkas analisis perlu disimpan untuk mendukung pemeriksaan hasil. Evaluasi longitudinal diperlukan untuk menilai apakah perubahan bertahan setelah efek kebaruan teknologi berkurang.

KESIMPULAN

Penilaian cerdas berbasis teknologi berkelanjutan berpotensi mendukung pembelajaran interaktif melalui pemberian umpan balik, partisipasi siswa, dan penguatan kegiatan belajar yang relevan dengan SDGs. Ringkasan 200 artikel menunjukkan bahwa kuis berbasis kecerdasan buatan dan gamifikasi merupakan kategori yang paling banyak dibahas. Ringkasan dampak melaporkan perubahan pada keterlibatan, literasi lingkungan, perilaku berkelanjutan, dan keterampilan 4C, tetapi nilai persentasenya belum dapat diperlakukan sebagai estimasi efek gabungan karena dokumentasi per studi dan pembobotan belum tersedia.

Penerapan memerlukan kesesuaian teknologi dengan kebutuhan pembelajaran, pengembangan kompetensi guru, kesiapan infrastruktur, serta perlindungan data siswa. Keberlanjutan perlu dinilai melalui kualitas pedagogis, inklusi, kemampuan pemeliharaan, dan penggunaan sumber daya. Implementasi bertahap serta evaluasi jangka panjang memberikan dasar yang lebih kuat untuk menentukan kelayakan penilaian cerdas pada konteks sekolah menengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada komunitas akademik pendidikan dan teknologi pembelajaran atas kontribusi ilmiah yang menjadi landasan kajian ini. Literatur dan pemikiran yang dikembangkan dalam bidang asesmen, pembelajaran interaktif, serta pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan memberikan dasar bagi penyusunan sintesis dan rekomendasi penelitian.

Pernyataan Kontribusi Penulis (CRediT Statement)

Erna Budiarti, Rani Darmayanti, dan Samuel Karim tercantum sebagai penulis artikel. Pembagian peran individual berdasarkan taksonomi CRediT tidak dirinci dalam dokumentasi penelitian.

Pernyataan Ketersediaan Data

Data ringkasan disajikan dalam tabel dan gambar artikel. Daftar lengkap artikel terpilih, data per studi, serta berkas bibliometrik f.csv dan ff.csv belum tersedia bersama naskah; ketentuan akses data belum dinyatakan.

Persetujuan Etik

Kajian menggunakan literatur dan ringkasan data pendidikan. Dokumentasi yang tersedia tidak memuat nama lembaga atau nomor persetujuan etik maupun rincian persetujuan partisipan untuk kegiatan pengumpulan data primer.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] UNESCO, Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives. Paris: UNESCO, 2017. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>.

- [2] UNESCO, Education for Sustainable Development: A Roadmap. Paris: UNESCO, 2020. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>.
- [3] P. Black and D. Wiliam, "Assessment and classroom learning," *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, vol. 5, no. 1, pp. 7–74, 1998, doi: 10.1080/0969595980050102.
- [4] J. Hattie and H. Timperley, "The power of feedback," *Review of Educational Research*, vol. 77, no. 1, pp. 81–112, 2007, doi: 10.3102/003465430298487.
- [5] D. J. Nicol and D. Macfarlane-Dick, "Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice," *Studies in Higher Education*, vol. 31, no. 2, pp. 199–218, 2006, doi: 10.1080/03075070600572090.
- [6] D. Boud and R. Soler, "Sustainable assessment revisited," *Assessment & Evaluation in Higher Education*, vol. 41, no. 3, pp. 400–413, 2016, doi: 10.1080/02602938.2015.1018133.
- [7] A. I. Wang and R. Tahir, "The effect of using Kahoot! for learning: A literature review," *Computers & Education*, vol. 149, art. 103818, 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2020.103818.
- [8] M. Sailer and L. Homner, "The gamification of learning: A meta-analysis," *Educational Psychology Review*, vol. 32, pp. 77–112, 2020, doi: 10.1007/s10648-019-09498-w.
- [9] C. Dichev and D. Dicheva, "Gamifying education: What is known, what is believed and what remains uncertain: A critical review," *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 14, art. 9, 2017, doi: 10.1186/s41239-017-0042-5.
- [10] P. Mishra and M. J. Koehler, "Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge," *Teachers College Record*, vol. 108, no. 6, pp. 1017–1054, 2006, doi: 10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x.
- [11] F. D. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology," *MIS Quarterly*, vol. 13, no. 3, pp. 319–340, 1989, doi: 10.2307/249008.
- [12] C. Redecker, European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu, Y. Punie, Ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017, doi: 10.2760/159770.
- [13] UNESCO, Global Education Monitoring Report 2023: Technology in Education: A Tool on Whose Terms? Paris: UNESCO, 2023. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723>.
- [14] F. Miao, W. Holmes, R. Huang, and H. Zhang, AI and Education: Guidance for Policy-Makers. Paris: UNESCO, 2021, doi: 10.54675/PCSP7350.
- [15] F. Miao and W. Holmes, Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris: UNESCO, 2023. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>.
- [16] O. Zawacki-Richter, V. I. Marín, M. Bond, and F. Gouverneur, "Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education: Where are the educators?" *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 16, art. 39, 2019, doi: 10.1186/s41239-019-0171-0.
- [17] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, art. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [18] A. W. Harzing, Publish or Perish [perangkat lunak], 2007. <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>.

- [19] P. Ning, D. DeWitt, H.-L. Chin, and N. Alias, "Smart board-based assessment outcomes of implementing outdoor transdisciplinary language instruction for pupils," *Journal of Information Technology Education: Research*, vol. 21, pp. 379–402, 2022, doi: 10.28945/5007.
- [20] M. Rukhiran, A. Phokajang, and P. Netinant, "Development of mobile learning English web application: Adoption of technology in the digital teaching and learning framework," *International Journal of Information Technology and Web Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 1–25, 2022, doi: 10.4018/IJITWE.313571.
- [21] L. Bornmann and R. Mutz, "Growth rates of modern science: A bibliometric analysis based on the number of publications and cited references," *Journal of the Association for Information Science and Technology*, vol. 66, no. 11, pp. 2215–2222, 2015, doi: 10.1002/asi.23329.
- [22] J. E. Hirsch, "An index to quantify an individual's scientific research output," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 102, no. 46, pp. 16569–16572, 2005, doi: 10.1073/pnas.0507655102.

NOMENKLATUR

4C: berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi.

AI: artificial intelligence atau kecerdasan buatan.

GS: Google Scholar.

PPDB: penerimaan peserta didik baru.

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.

SDGs: Sustainable Development Goals atau Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

SLR: systematic literature review atau tinjauan literatur sistematis.

WoS: Web of Science.