

Pengaruh *Sustainable Waste Management Project* Terintegrasi Koding dan Kecerdasan Artifisial (KA) terhadap Pengetahuan Lingkungan Siswa Sekolah Dasar

Luztiara Amanda Sitohang¹⁾, Julia Anis Handayani^{1),*}

¹⁾Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Pelita Bangsa

*Corresponding Author: julia.anis@pelitabangsa.ac.id

ABSTRAK

Pengetahuan lingkungan merupakan bagian penting dalam membentuk pemahaman siswa mengenai permasalahan dan pengelolaan lingkungan, sementara pembelajaran pengelolaan sampah di sekolah dasar masih perlu diperkuat melalui pengalaman belajar yang kontekstual. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *Sustainable Waste Management Project* (SWMP) terintegrasi koding dan kecerdasan artifisial terhadap pengetahuan lingkungan siswa sekolah dasar serta mengetahui perbedaan pengetahuan lingkungan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif melalui metode *quasi experiment* dengan desain *Nonequivalent Control-Group Design*. Sampel terdiri atas 61 siswa kelas V, yaitu 28 siswa kelas eksperimen dan 33 siswa kelas kontrol. Data dikumpulkan melalui tes pengetahuan lingkungan berupa pretest dan posttest dan dianalisis menggunakan *Independent Samples t-Test*. Hasil penelitian menunjukkan nilai *t* sebesar 3,203 dengan signifikansi $0,002 < 0,05$. Nilai rata-rata *posttest* mencapai 67,32 pada kelas eksperimen, sedangkan pada kelas kontrol diperoleh rata-rata sebesar 52,42. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan SWMP terintegrasi koding dan kecerdasan artifisial berpengaruh terhadap pengetahuan lingkungan siswa. Pembelajaran serupa dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan kegiatan pengelolaan lingkungan dan teknologi secara kontekstual pada jenjang sekolah dasar.

Kata Kunci: *Sustainable Waste Management Project*; Koding; Kecerdasan Artifisial; Pengetahuan Lingkungan; Sekolah Dasar.

This is an open access article under the CC - BY license.



PENDAHULUAN

Pengetahuan lingkungan menjadi fondasi kognitif dasar sebelum membentuk kesadaran, sikap, maupun perilaku individu dalam berinteraksi dengan lingkungan. Aspek pengetahuan (*knowledge*) terlebih dahulu menjadi krusial karena mencakup kemampuan memahami sistem alam, hubungan manusia dengan ekosistem, serta prinsip dasar yang berkaitan dengan kelestarian lingkungan (Fang et al., 2023). Pada jenjang sekolah dasar, mengukur pengetahuan lingkungan penting dilakukan sebelum melihat sikap atau perilakunya, sebab pemahaman mengenai lingkungan dapat menjadi dasar bagi siswa untuk mengenali berbagai permasalahan dan memahami pentingnya upaya pelestarian lingkungan (Ramadany et al., 2025). Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada pengetahuan lingkungan untuk mengetahui sejauh mana siswa memahami konsep dan prinsip pengelolaan lingkungan, khususnya pada pengelolaan sampah.

Salah satu permasalahan lingkungan yang relevan dan dekat dengan kehidupan sehari-hari siswa adalah sampah. Pengelolaan sampah yang tidak tepat dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan, seperti pencemaran tanah, air, dan udara (Lintang et al., 2024). Kajian menunjukkan bahwa adanya kesenjangan pengetahuan siswa sekolah dasar mengenai pengelolaan sampah dan keberlanjutan, khususnya dalam memahami konsep keberlanjutan dan sampah organik (Karachalios & Manesis, 2025). Penelitian pada siswa kelas V sekolah dasar di Indonesia menunjukkan bahwa pemahaman mengenai jenis sampah dan konsep 3R masih rendah, masing-masing sebesar 37,38% dan 45,27%, serta penerapannya dalam pengelolaan sampah di sekolah belum optimal (Siskayanti & Chastanti, 2022).

Hasil observasi awal di salah satu sekolah dasar di Kabupaten Bekasi menunjukkan bahwa pengelolaan sampah di lingkungan sekolah belum berjalan secara ideal. Di setiap ruang kelas, fasilitas penampungan sampah yang tersedia masih bersifat seadanya dan bervariasi, mulai dari penggunaan drum plastik, keranjang sampah plastik, hingga ember bekas cat tanpa adanya pemilahan jenis sampah. Tempat sampah terpilah (organik dan

anorganik) hanya ditemukan di satu titik di area sekolah. Namun, hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa keberadaan satu-satunya tempat sampah terpilah masih belum difungsikan sebagaimana mestinya, di mana sampah organik dan anorganik masih ditemukan bercampur dalam wadah yang sama. Kondisi di lapangan tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara ketersediaan sarana pemilahan sampah dengan praktik penggunaannya sehari-hari. Temuan ini menjadi dasar perlunya penguatan pengetahuan lingkungan siswa melalui intervensi pembelajaran yang konkret, interaktif, dan berbasis teknologi agar siswa dapat memahami prinsip pengelolaan sampah secara mendalam.

Permasalahan pengelolaan sampah di lingkungan sekolah dapat diupayakan melalui pendekatan *sustainable waste management*, yaitu pengelolaan sampah yang bertujuan meminimalkan dampak negatif, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan mengurangi timbunan sampah (Debnath et al., 2023). Dalam konteks pendidikan, penguatan *sustainable waste management* penting karena sekolah dapat menjadi lingkungan yang mendukung pembentukan pengetahuan dan kebiasaan pengelolaan sampah sejak dini. Namun, masih terdapat kesenjangan antara sikap, pengetahuan, dan praktik siswa. Debrah et al. (2021) menunjukkan bahwa meskipun sikap terhadap *sustainable waste management* cenderung positif, pengetahuan dan keterampilan praktis masih rendah sehingga diperlukan penguatan pendidikan keberlanjutan di sekolah. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa kesadaran terhadap dampak pengelolaan sampah belum selalu diwujudkan ke dalam praktik pengelolaan sampah secara konsisten (Subri et al., 2025). Kesenjangan antara sikap positif dengan tingkat pengetahuan serta praktik yang belum optimal inilah yang menjadi dasar kuat perlunya inovasi pembelajaran tentang pengelolaan sampah berkelanjutan.

Sejalan dengan perkembangan teknologi dan keterampilan abad ke-21, pembelajaran lingkungan dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan coding dan kecerdasan artifisial (KA). Integrasi ini bukan sekadar penambahan teknologi, melainkan sarana untuk memperkuat pemahaman kognitif siswa melalui aktivitas berpikir terstruktur dan pengalaman belajar yang nyata (Leal Filho et al., 2025). Pelaksanaan integrasi ini dirancang melalui tahapan yang sistematis dan kontekstual. Tahap pertama diawali dengan pemanfaatan kecerdasan artifisial (KA) berbasis pemindaian kamera (*computer vision*) menggunakan platform *Teachable Machine*. Dalam praktiknya, siswa diberikan contoh sampel sampah organik dan anorganik kepada kelompok untuk didiskusikan dan diklasifikasikan secara manual terlebih dahulu. Perwakilan kelompok kemudian menguji sampel sampah tersebut di depan kamera laptop untuk membandingkan hasil prediksi sistem AI dengan keputusan diskusi kelompok. Apabila terdapat ketidaksesuaian hasil atau kesalahan prediksi oleh AI, guru memfasilitasi diskusi untuk menjelaskan alasan teknis di balik kekeliruan sistem sekaligus mengklarifikasi konsep pemilahan yang benar. Dengan demikian, KA berfungsi sebagai alat bantu kritis (*scaffolding*) yang merangsang keaktifan berpikir siswa, bukan menggantikan proses penalaran mereka (Kim & Kim, 2022).

Kemudian dilanjutkan dengan kegiatan coding berbasis *unplugged* (tanpa perangkat digital) untuk melatih alur berpikir komputasional (*computational thinking*) siswa. Secara berkelompok, siswa menyusun dan mengurutkan langkah-langkah pengelolaan sampah menggunakan media kartu instruksi (*flash card*) yang memuat urutan logis dari kartu “start”, “amati sampah”, “tentukan (organik atau anorganik)”, “masukkan ke tempat sampah”, hingga kartu “end”. Jika dalam proses penyusunan terdapat urutan logika yang belum tepat, siswa diarahkan untuk mengevaluasi kembali dan memperbaikinya (*debugging* sederhana) hingga alurnya benar (Syamsiah et al., 2024). Melalui rangkaian aktivitas yang mencakup klasifikasi sampah secara langsung, verifikasi berbasis KA, serta penyusunan dan perbaikan urutan instruksi, integrasi coding dan kecerdasan artifisial dirancang untuk mendukung pemahaman siswa mengenai pengelolaan sampah secara konkret, interaktif, dan sistematis.

Penelitian sebelumnya telah membahas pembelajaran pengelolaan sampah pada siswa sekolah dasar melalui berbagai pendekatan, seperti penggunaan media pembelajaran (Feridyan, 2023) dan kegiatan edukasi serta praktik pemilahan sampah (Purnomo et al., 2023). Namun, kedua penelitian tersebut belum mengintegrasikan kegiatan pengelolaan sampah dengan aktivitas coding dan pemanfaatan kecerdasan artifisial secara bersamaan. Di sisi lain, penelitian mengenai *unplugged coding* pada jenjang sekolah dasar telah diterapkan untuk mendukung pengembangan *computational thinking*, tetapi belum secara langsung dikaitkan dengan proyek pengelolaan sampah (Subawa et al., 2025). Berdasarkan kajian penelitian sebelumnya, masih diperlukan pengujian empiris mengenai pengaruh integrasi *Sustainable Waste Management Project* (SWMP), aktivitas *unplugged coding*, dan kecerdasan artifisial (KA) dalam pembelajaran di sekolah dasar. Secara khusus, belum diketahui

bagaimana integrasi ketiga komponen tersebut berpengaruh terhadap pengetahuan lingkungan siswa terkait pengelolaan sampah berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh SWMP terintegrasi koding dan KA terhadap pengetahuan lingkungan siswa sekolah dasar.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh *Sustainable Waste Management Project* terintegrasi koding dan kecerdasan artifisial terhadap pengetahuan lingkungan siswa sekolah dasar. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengintegrasian SWMP, koding, dan kecerdasan artifisial dalam satu kegiatan pembelajaran berbasis proyek. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang membahas komponen-komponen tersebut secara terpisah, penelitian ini menggabungkan ketiganya dalam pembelajaran pengelolaan sampah yang kontekstual dan sistematis. Selain itu, penelitian ini melibatkan kelas eksperimen dan kelas kontrol untuk memperoleh gambaran empiris mengenai hasil penerapan pembelajaran tersebut terhadap pengetahuan lingkungan siswa.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui metode eksperimen untuk menguji pengaruh suatu perlakuan terhadap variabel terikat dalam kondisi yang terkendali (Sugiyono, 2022). Penelitian ini menggunakan desain *quasi experiment* dengan bentuk *Nonequivalent Control-Group Design*. Desain ini digunakan karena penelitian melibatkan subjek dari kelas yang telah terbentuk sebelumnya tanpa melalui proses pengacakan (*random assignment*). Penelitian dilakukan di salah satu sekolah dasar di Kabupaten Bekasi pada tahun ajaran 2026/2027. Populasi pada penelitian ini adalah seluruh siswa kelas V di sekolah tersebut, yang terbagi ke dalam dua rombongan belajar yaitu kelas VA dan kelas VB dengan total 61 siswa. Karena populasi penelitian terdiri atas dua kelas dan seluruh anggota populasi dilibatkan, teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah sampel total (*sensus*). Penentuan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi pelaksanaan penelitian di lapangan dan efektivitas penerapan perlakuan. Kelas VB yang terdiri atas 28 siswa ditetapkan sebagai kelompok eksperimen yang memperoleh pembelajaran *Sustainable Waste Management Project* (SWMP) terintegrasi koding dan kecerdasan artifisial. Sementara itu, kelas VA yang terdiri atas 33 siswa ditetapkan sebagai kelompok kontrol yang mempelajari materi pengelolaan sampah berkelanjutan melalui pembelajaran konvensional dengan metode ceramah, tanpa integrasi koding dan kecerdasan artifisial.

Pelaksanaan penelitian dilakukan selama empat pertemuan pada masing-masing kelompok dengan alokasi waktu yang setara. Kedua kelompok diberikan *pretest* pada pertemuan pertama dan *posttest* pada pertemuan keempat, serta mengerjakan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) pada setiap pertemuan. Pada kelompok eksperimen, pembelajaran dilaksanakan melalui alur SWMP yang terintegrasi koding dan kecerdasan artifisial. Pertemuan pertama, siswa dikenalkan pada permasalahan dan pengelolaan sampah berkelanjutan melalui kegiatan observasi lingkungan sekolah dan diskusi mengenai upaya pengurangan sampah (*reduce*). Pertemuan kedua, siswa melakukan identifikasi serta klasifikasi sampah secara manual dan menggunakan *Teachable Machine* sebagai bentuk pemanfaatan kecerdasan artifisial. Kemudian membandingkan hasil klasifikasi dan menyusun langkah pemilahan sampah menggunakan kartu instruksi sebagai aktivitas koding sederhana, sekaligus menentukan sampah yang masih dapat digunakan kembali (*reuse*). Pada pertemuan ketiga, siswa merancang dan membuat produk melalui kegiatan *upcycling* secara berkelompok. Pertemuan keempat diisi dengan presentasi hasil proyek, refleksi, serta pembahasan konsep *recovery* dan *disposal*. Sedangkan kelompok kontrol mempelajari materi pengelolaan sampah yang sama melalui pembelajaran konvensional dengan metode ceramah tanpa adanya integrasi koding dan kecerdasan artifisial. Materi disampaikan secara teoritis membahas pengertian pengelolaan sampah serta *reduce* melalui pengamatan gambar lingkungan, jenis sampah organik dan anorganik serta konsep *reuse*, *recycling* atau *upcycling* tanpa praktik pembuatan produk, dan membahas konsep *recovery* dan *disposal*.

Pengetahuan lingkungan siswa dalam penelitian ini diukur melalui instrumen tes berbentuk pilihan ganda. Tes dapat digunakan untuk mengukur kemampuan dan pengetahuan peserta didik (Arikunto, 2018). Indikator pengetahuan lingkungan diadaptasi dari komponen *knowledge* dalam *environmental literacy* menurut Roth (1992) dan disesuaikan dengan konteks penelitian. Empat indikator utama meliputi pemahaman sistem lingkungan, hubungan manusia dengan lingkungan, permasalahan lingkungan, serta upaya pengelolaan dan pelestarian lingkungan. Sebelum digunakan dalam penelitian, instrumen diuji coba kepada 42 siswa di luar

sampel penelitian. Uji instrumen meliputi pengujian validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran dan daya beda. Uji validitas menggunakan korelasi *Pearson Product Moment* dengan kriteria r hitung $> r$ tabel (0,304) dan signifikansi $< 0,05$, dengan hasil 21 dari 30 butir soal dinyatakan valid. Kemudian, 20 butir soal valid dipilih untuk digunakan sebagai instrumen tes dalam penelitian. Satu butir soal valid lainnya tidak digunakan karena memiliki kemiripan substansi dengan butir soal lain. Hal ini dilakukan untuk menghindari pengulangan indikator dan memastikan setiap butir soal benar-benar efektif. Uji reliabilitas menghasilkan *Cronbach's Alpha* sebesar 0,865 yang menunjukkan bahwa instrumen memiliki tingkat reliabilitas sangat tinggi. Hasil uji tingkat kesukaran dari 20 butir soal yang digunakan, terdapat 13 butir berkategori mudah dan 7 butir berkategori sedang. Sementara itu, hasil uji daya beda terdapat 14 butir soal berkategori baik dan 6 butir berkategori cukup. Selanjutnya, analisis data dilakukan dengan berbantuan *IBM SPSS Statistics 26*, meliputi uji normalitas *Shapiro-Wilk*, uji homogenitas *Levene's Test*, serta uji hipotesis menggunakan *Independent Samples t-Test* dengan pengujian dilakukan pada taraf signifikansi 0,05.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian diperoleh melalui pelaksanaan tes pengetahuan lingkungan yang diberikan kepada siswa kelas eksperimen dan kelas kontrol. Tes diberikan dalam bentuk *pretest* dan *posttest* untuk memperoleh gambaran pengetahuan lingkungan siswa sebelum dan setelah pelaksanaan pembelajaran. Data hasil *pretest* digunakan untuk mengetahui kondisi awal pengetahuan lingkungan siswa, sedangkan data *posttest* digunakan sebagai dasar untuk melihat hasil pengetahuan lingkungan siswa setelah pembelajaran. Selanjutnya, analisis kuantitatif dilakukan terhadap data untuk melihat perbedaan pengetahuan lingkungan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Data terlebih dahulu diuji normalitas untuk memastikan bahwa data *pretest* dan *posttest* dari kelas eksperimen maupun kelas kontrol memenuhi asumsi distribusi normal sebagai syarat dalam analisis statistik parametrik. Pengujian ini menggunakan uji *Shapiro-Wilk* dengan taraf signifikansi 0,05. Ringkasan hasil uji normalitas disajikan pada Tabel di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas

Variabel	Kelas	Shapiro-Wilk			Kesimpulan
		Statistic	df	Sig.	
Pretest	Eksperimen	0,979	28	0,837	Normal
	Kontrol	0,959	33	0,238	Normal
Posttest	Eksperimen	0,932	28	0,071	Normal
	Kontrol	0,949	33	0,125	Normal

Berdasarkan hasil uji normalitas, seluruh nilai signifikansi tersebut lebih besar dari 0,05, sehingga data *pretest* dan *posttest* pada kedua kelompok dinyatakan berdistribusi normal. Hasil uji tersebut menunjukkan bahwa persyaratan normalitas data telah terpenuhi dan analisis dapat dilanjutkan pada tahap pengujian prasyarat selanjutnya. Setelah data memenuhi asumsi normalitas, kesamaan varians antara kelas eksperimen dan kelas kontrol selanjutnya diperiksa melalui uji homogenitas. Pengujian menggunakan *Levene's Test* menunjukkan nilai statistik sebesar 0,002 dengan nilai signifikansi 0,963 pada data hasil *pretest*. Sedangkan pada data hasil *posttest*, nilai statistik yang diperoleh adalah 0,185 dengan tingkat signifikansi sebesar 0,669. Kedua nilai signifikansi tersebut lebih besar dari 0,05, sehingga varians data pada kelas eksperimen dan kelas kontrol dinyatakan homogen. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil *pretest* dan *posttest* telah memenuhi asumsi homogenitas, sehingga analisis dapat dilanjutkan menggunakan *Independent Samples t-Test* untuk menguji perbedaan pengetahuan lingkungan antara kedua kelompok. Hasil uji *Independent Sample t-Test* disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Independent Sample t-Test

Keterangan	t	df	Sig. (2-tailed)
Pretest	1,135	59	0,261
Posttest	3,203	59	0,002

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel di atas, pengujian dilakukan pada dua tahap, yaitu data *pretest* dan *posttest*. Pada data *pretest*, diperoleh nilai t sebesar 1,135 dengan df 59 dan nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) sebesar

0,261 ($> 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada kemampuan awal pengetahuan lingkungan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, sehingga kedua kelompok dinilai memiliki titik awal yang relatif seragam. Hasil analisis pada data *posttest*, diperoleh nilai *t* sebesar 3,203 dengan *df* 59 dan nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) sebesar 0,002 ($< 0,05$). Temuan ini menunjukkan bahwa setelah proses pembelajaran berlangsung, terdapat perbedaan pengetahuan lingkungan antara siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun kedua kelompok berangkat dari kemampuan awal yang setara, proses pembelajaran yang diberikan menghasilkan capaian akhir yang berbeda secara signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai tingkat efektivitas peningkatan pada masing-masing kelompok, analisis selanjutnya dilanjutkan dengan perhitungan *N-Gain*.

Tabel 3. Hasil Analisis *N-Gain Score* dan Uji Beda (*t-Test*)

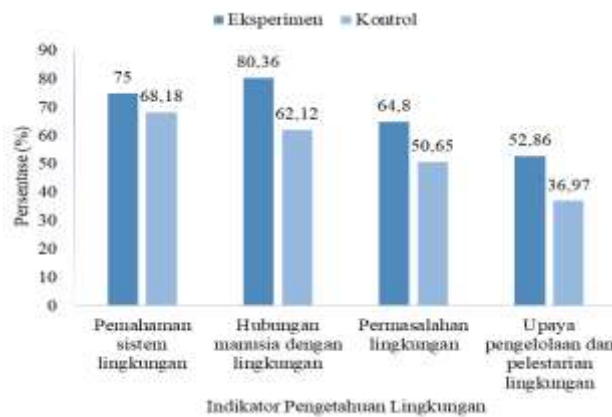
Kelompok	N	Rata-rata <i>N-Gain</i>	Persentase (%)	Kategori	t	df	Sig. (2-tailed)
Eksperimen	28	0,3886	38,86%	Sedang	3,785	59	$< 0,001$
Kontrol	33	0,1383	13,83%	Rendah			

Berdasarkan ringkasan hasil analisis pada Tabel 3, kelas eksperimen yang mendapatkan perlakuan SWMP terintegrasi koding dan kecerdasan artifisial memperoleh rata-rata *N-Gain* sebesar 0,3886 (38,86%) dengan kriteria "Sedang". Sebaliknya, kelas kontrol yang menerapkan pembelajaran konvensional hanya memperoleh rata-rata *N-Gain* sebesar 0,1383 (13,83%) dengan kriteria "Rendah". Untuk menguji apakah selisih peningkatan tersebut signifikan secara statistik, dilakukan uji lanjutan menggunakan *Independent Samples t-Test* pada skor *N-Gain*. Hasil analisis menunjukkan nilai $t = 3,785$ dengan derajat kebebasan (*df*)=59 dan nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) sebesar $p < 0,001$. Karena nilai signifikansi tersebut jauh lebih kecil dari taraf nyata 0,05 ($< 0,05$), menunjukkan bahwa terdapat perbedaan peningkatan yang sangat signifikan secara statistik antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Meskipun peningkatan pada kelas eksperimen berada pada kategori sedang, capaian ini menunjukkan peningkatan yang secara nyata jauh lebih unggul dibandingkan kelas kontrol. Temuan ini mengkonfirmasi secara empiris bahwa integrasi SWMP dengan koding dan kecerdasan artifisial terbukti efektif dalam meningkatkan pengetahuan lingkungan siswa. Hasil pengujian tersebut selanjutnya diperkuat dengan melihat perbandingan hasil rata-rata *pretest* dan *posttest* pada kedua kelompok untuk memperoleh gambaran mengenai perubahan pengetahuan lingkungan siswa sebelum dan sesudah pembelajaran. Hasil rata-rata nilai *pretest* dan *posttest* kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Rata-rata *Pretest* dan *Posttest* Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Tes	Mean (Eksperimen)	Mean (Kontrol)
Pretest	48,57	44,24
Posttest	67,32	52,42

Berdasarkan Tabel 4, perbedaan tersebut dapat dilihat lebih lanjut melalui perbandingan skor rata-rata sebelum dan sesudah pembelajaran pada kedua kelas. Rata-rata hasil tes menunjukkan adanya peningkatan pengetahuan lingkungan pada kelas eksperimen. Terjadi peningkatan skor rata-rata sebesar 18,75 poin, yaitu dari 48,57 pada *pretest* menjadi 67,32 pada *posttest*. Sementara itu, nilai rata-rata kelas kontrol meningkat dari 44,24 menjadi 52,42, atau sebesar 8,18 poin. Pada kondisi awal, rata-rata *pretest* kedua kelas menunjukkan selisih sebesar 4,33 poin, sedangkan setelah pembelajaran selisih rata-rata *posttest* meningkat menjadi 14,90 poin. Peningkatan pengetahuan lingkungan pada kelompok eksperimen menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada kelompok kontrol setelah pembelajaran diberikan. Perbedaan pengetahuan lingkungan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol tidak hanya dapat dilihat melalui hasil uji hipotesis, *n-gain*, dan rata-rata nilai, tetapi juga dapat dilihat berdasarkan capaian pada setiap indikator pengetahuan lingkungan. Analisis terhadap setiap indikator dilakukan untuk mengetahui aspek pengetahuan lingkungan yang menunjukkan capaian berbeda setelah penerapan pembelajaran SWMP. Persentase capaian pada masing-masing indikator kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Persentase Pengetahuan Lingkungan Siswa Berdasarkan Indikator

Perbandingan pada Gambar 1 menunjukkan bahwa penerapan SWMP terintegrasi coding dan kecerdasan artifisial pada kelas eksperimen menghasilkan pengetahuan lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol pada seluruh indikator. Peningkatan yang bervariasi antarindikator mengindikasikan bahwa pengaruh pembelajaran berbeda pada setiap aspek. Pada indikator hubungan manusia dengan lingkungan menjadi capaian tertinggi pada kelas eksperimen, dengan persentase 80,36%, sedangkan kelas kontrol mencapai 62,12%. Capaian ini menunjukkan bahwa siswa pada kelas eksperimen memiliki pemahaman yang lebih baik mengenai keterkaitan aktivitas manusia dengan kondisi lingkungan. Hal ini didorong oleh kegiatan pembelajaran yang melibatkan siswa secara langsung dalam mengamati permasalahan sampah di sekolah, mengidentifikasi penyebabnya, serta mendiskusikan dampaknya. Melalui proses tersebut, siswa tidak hanya memahami pengaruh tindakan manusia terhadap lingkungan, tetapi juga mulai menyadari peran individu dalam menjaga kebersihan dan keberlanjutan lingkungan.

Pada indikator pemahaman sistem lingkungan, persentase rata-rata *posttest* kelas eksperimen mencapai 75,00%, sedangkan kelas kontrol memperoleh 68,18%. Secara deskriptif, hasil tersebut menunjukkan bahwa capaian *posttest* kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol pada indikator ini. Pemahaman yang diukur mencakup konsep dasar sistem lingkungan, seperti jenis-jenis sampah serta karakteristik sampah organik dan anorganik. Dalam pembelajaran SWMP, siswa memperoleh pengalaman belajar melalui observasi lingkungan sekolah, identifikasi dan klasifikasi sampah secara manual, serta perbandingan hasil klasifikasi dengan verifikasi menggunakan *Teachable Machine*. Temuan tersebut selaras dengan penelitian Ridha et al. (2025), yang menjelaskan bahwa pemahaman konsep dasar pengelolaan sampah dapat lebih mudah terbentuk melalui keterkaitannya dengan pengalaman sehari-hari, sedangkan pemahaman yang lebih mendalam membutuhkan kegiatan belajar yang memungkinkan siswa melakukan praktik secara langsung.

Pada indikator permasalahan lingkungan, kelas eksperimen memperoleh persentase *posttest* sebesar 64,80%, sementara kelas kontrol mencapai 50,65%. Selisih capaian tersebut memperlihatkan bahwa pemahaman siswa terhadap permasalahan lingkungan lebih tinggi pada kelas eksperimen. Pemahaman tersebut mencakup permasalahan akibat pengelolaan sampah yang kurang tepat, termasuk pencemaran lingkungan dan dampaknya terhadap kesehatan. Pembelajaran melalui SWMP mendorong siswa untuk mengidentifikasi permasalahan sampah yang ditemukan di lingkungan sekitar, menganalisis penyebab serta dampaknya, kemudian menghubungkan permasalahan tersebut dengan alternatif solusi pengelolaan sampah. Keterlibatan langsung siswa dalam kegiatan eksplorasi, praktik, dan penyelesaian masalah menjadi salah satu faktor yang mendukung peningkatan pengetahuan pengelolaan sampah melalui pembelajaran berbasis proyek (Al-Bahij et al., 2024). Sedangkan capaian terendah terdapat pada indikator upaya pengelolaan dan pelestarian lingkungan sebesar 52,86% pada kelas eksperimen dan kelas kontrol sebesar 36,97%. Meskipun persentase pada indikator ini merupakan yang terendah dibandingkan indikator lainnya, capaian kelas eksperimen masih berada di atas kelas kontrol. Hal tersebut menunjukkan adanya kemampuan awal siswa dalam memahami berbagai upaya pengelolaan sampah dan tindakan pelestarian lingkungan, meskipun kemampuan menentukan solusi terhadap permasalahan lingkungan membutuhkan proses berpikir yang lebih kompleks.

Kondisi tersebut dapat terjadi karena siswa tidak hanya perlu memahami permasalahan lingkungan, tetapi juga perlu mengetahui dan menentukan tindakan yang tepat untuk mengatasinya. Pemanfaatan lingkungan

sekitar sebagai konteks pembelajaran dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih konkret, sehingga siswa lebih mudah memahami permasalahan lingkungan serta terdorong untuk memikirkan solusi terhadap permasalahan tersebut (Izza et al., 2025). Pada proses klasifikasi sampah, siswa terlebih dahulu melakukan identifikasi dan pengelompokan secara manual, kemudian membandingkan hasilnya dengan klasifikasi menggunakan *Teachable Machine*. Proses tersebut memberi kesempatan bagi siswa untuk mendapatkan umpan balik secara langsung melalui hasil klasifikasi kecerdasan artifisial. Secara umum, pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam pembelajaran dapat berfungsi sebagai *scaffolding* kognitif yang memberikan umpan balik langsung untuk memfasilitasi proses refleksi siswa (Setiyono et al., 2025). Dalam penelitian ini, kegiatan membandingkan hasil klasifikasi AI dengan kondisi sampah yang sebenarnya mendorong siswa untuk mengevaluasi kembali analisis mereka. Dengan demikian, peran AI di sini tidak berdiri sendiri secara kausal dalam meningkatkan pemahaman siswa, melainkan berfungsi memperkuat proses refleksi kognitif sebagai bagian dari kesatuan paket pembelajaran SWMP.

Selain itu, aktivitas *unplugged coding* yang terintegrasi dalam alur pembelajaran ini memberikan pengalaman kepada siswa untuk menyusun langkah-langkah pengelolaan sampah secara sistematis. Melalui aktivitas yang sederhana dan sesuai dengan karakteristik siswa sekolah dasar, siswa belajar mengenali masalah, menentukan urutan tindakan, serta memahami hubungan sebab-akibat antar-langkah. Kegiatan *upcycling* kemudian melengkapi pengalaman langsung ini dalam menerapkan konsep pengelolaan sampah melalui pemanfaatan kembali barang yang sudah tidak digunakan. Dari rangkaian kegiatan tersebut, *unplugged coding* berfungsi sebagai salah satu komponen pendukung dalam paket pembelajaran SWMP terintegrasi koding dan kecerdasan artifisial, yang secara kolektif memberikan kesempatan kepada siswa untuk memahami konsep sekaligus menerapkan pengetahuan melalui pengalaman belajar yang nyata.

Keberhasilan pembelajaran tersebut dapat dikaitkan dengan teori perkembangan kognitif Piaget yang menekankan pentingnya menyesuaikan pembelajaran dengan tahap perkembangan kognitif siswa. Pada tahap operasional konkret, pembelajaran IPA perlu melibatkan pengalaman nyata dan manipulasi langsung (Azam et al., 2025). Karakteristik pembelajaran SWMP yang melibatkan objek dan permasalahan lingkungan secara langsung sesuai dengan karakteristik tersebut. Selain itu, teori konstruktivisme sosial Vygotsky menempatkan interaksi sosial sebagai bagian penting dalam proses pembelajaran, melalui proses interaksi bersama guru dan teman sebaya (Suryani & Fauzi, 2025). Dalam penelitian ini, aktivitas mengelompokkan sampah, menyusun alur *unplugged coding*, mendiskusikan hasil klasifikasi, dan menyelesaikan proyek secara berkelompok mendorong siswa untuk saling berinteraksi, bertukar gagasan, serta membangun pemahaman secara bersama-sama. Selanjutnya, teori *experiential learning* Kolb menempatkan pengalaman belajar secara langsung sebagai tahap awal yang dilanjutkan dengan proses refleksi dan membangun konsep (Muliacy et al., 2026). Hal tersebut tercermin melalui aktivitas pembelajaran yang melibatkan siswa secara langsung dalam mengidentifikasi permasalahan sampah, mengklasifikasikan sampah, dan menerapkan pengetahuan melalui kegiatan proyek. Teori Piaget, Vygotsky, dan Kolb memberikan landasan yang saling melengkapi dalam menjelaskan hasil penelitian. Ketiga teori tersebut mendukung hasil penelitian bahwa pembelajaran yang mengintegrasikan proyek, aktivitas koding, dan pemanfaatan kecerdasan artifisial dapat mendukung peningkatan pengetahuan lingkungan siswa.

Hasil penelitian ini mendukung temuan dari Al-Bahij et al. (2024) mengenai penerapan *Project Based Learning* berbasis *eco-enzyme* dapat meningkatkan pengetahuan pengelolaan sampah siswa sekolah dasar. Meskipun sama-sama menggunakan pendekatan berbasis proyek dan berfokus pada topik sampah, penelitian Al-Bahij berfokus pada pengolahan sampah organik tunggal. Berbeda dengan studi tersebut, penelitian ini mengembangkan SWMP yang menggabungkan pengelolaan sampah organik dan anorganik dengan kegiatan koding dan pemanfaatan AI dalam satu rangkaian pembelajaran. Temuan tersebut memperkuat hasil penelitian ini, karena penerapan SWMP melibatkan siswa dalam kegiatan pengelolaan sampah melalui proyek yang berangkat dari permasalahan lingkungan di sekitar siswa. Sementara itu, pemanfaatan *unplugged coding* dalam penelitian ini sejalan dengan temuan Rati et al. (2025) yang menunjukkan bahwa *unplugged coding* berkonteks kearifan lokal/lingkungan dapat menumbuhkan *environmental awareness* dan kemampuan berpikir siswa. Namun, penelitian Rati menempatkan *unplugged coding* sebagai intervensi utama, sedangkan kontribusi penelitian ini terletak pada pemanfaatan *unplugged coding* sebagai elemen pendukung (*scaffolding*) dalam menyusun algoritma pemecahan masalah lingkungan.

Pemanfaatan kecerdasan artifisial sebagai bagian dari pembelajaran juga diperkuat oleh penelitian Aldi & Rianto (2025) yang menunjukkan bahwa penggunaan kecerdasan artifisial melalui “WasteWise” mampu meningkatkan kemampuan siswa dalam memilah sampah dari 60% menjadi 90%. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian ini, di mana penggunaan *Teachable Machine* difungsikan untuk membantu siswa memperoleh umpan balik langsung terhadap hasil klasifikasi sampah. Penggunaan teknologi tersebut memberikan pengalaman belajar yang berbeda karena siswa dapat membandingkan hasil klasifikasi yang dilakukan sendiri dengan hasil yang diberikan oleh sistem kecerdasan artifisial, kemudian mendiskusikan kesesuaian maupun perbedaannya. Berdasarkan perbandingan dengan penelitian terdahulu, kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan proyek lingkungan, *unplugged coding*, dan kecerdasan artifisial dalam satu rangkaian *sustainable waste management project*. Integrasi ketiga komponen tersebut memberikan pengalaman belajar yang menghubungkan kegiatan pengelolaan sampah secara langsung, penyusunan langkah penyelesaian masalah secara sistematis, dan pemanfaatan teknologi untuk mendukung proses pembelajaran. Dengan demikian, SWMP terintegrasi ini berpotensi menjadi salah satu alternatif pendekatan pembelajaran yang relevan untuk mendukung pengembangan pengetahuan lingkungan siswa sekolah dasar.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh *Sustainable Waste Management Project* terintegrasi koding dan kecerdasan artifisial terhadap pengetahuan lingkungan siswa sekolah dasar, dapat disimpulkan bahwa penerapan SWMP berkontribusi secara signifikan dalam meningkatkan pengetahuan lingkungan siswa sekolah dasar. Integrasi ketiga komponen ini memberikan pengalaman belajar yang kontekstual dan holistik melalui keterlibatan langsung siswa dalam kegiatan pengelolaan sampah, penyusunan alur penyelesaian masalah secara sistematis melalui *unplugged coding*, serta proses verifikasi menggunakan kecerdasan artifisial. Melalui alur pembelajaran terpadu tersebut, siswa tidak hanya memahami konsep jenis dan permasalahan sampah secara teoritis, tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam tindakan pengelolaan sampah secara nyata. Namun demikian, temuan penelitian ini terbatas pada siswa kelas V di satu sekolah dasar, sehingga generalisasi hasil penelitian perlu dilakukan secara hati-hati pada konteks atau jenjang pendidikan yang berbeda. Meskipun demikian, SWMP terintegrasi ini berpotensi menjadi salah satu model pembelajaran inovatif yang relevan untuk mendukung pendidikan lingkungan hidup di tingkat sekolah dasar.

Daftar Pustaka

- Al-Bahij, A., Umrotullatifah, N., Qurrotaini, L., & Santi, A. U. P. (2024). Eco-Enzyme Project-Based Learning in the Elementary School: Improving SDGs 12.5 Waste Management Knowledge. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 8(1), 156–164. <https://doi.org/10.23887/jisd.v8i1.63421>
- Aldi, K., & Rianto, Y. (2025). WasteWise: AI-Powered Waste Education for Elementary Students Using YOLOv8 and ESP32-CAM. *Jurnal Pilar Nusa Mandiri*, 21(2), 171–177. <https://doi.org/10.33480/pilar.v21i2.6414>
- Arikunto, S. (2018). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan* (3rd ed.). Bumi Aksara.
- Azam, M. N., Khaula, N. R., & Suparmi, S. (2025). Implementasi Teori Kognitif Jean Piaget Dalam Pembelajaran Di Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan Dasar Dan Manajemen Pendidikan*, 6(2), 161–169. <https://doi.org/10.53565/bahusacca.v6i2.1579>
- Debnath, B., Bari, A. B. M. M., Ali, S. M., Ahmed, T., Ali, I., & Kabir, G. (2023). Modelling the Barriers to Sustainable Waste Management in the Plastic-Manufacturing Industry: An Emerging Economy Perspective. *Sustainability Analytics and Modeling*, 3, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.samod.2023.100017>
- Debrah, J. K., Vidal, D. G., & Dinis, M. A. P. (2021). Raising Awareness on Solid Waste Management Through Formal Education for Sustainability: A Developing Countries Evidence Review. *Recycling*, 6(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/recycling6010006>
- Fang, W. T., Hassan, A., & Lepage, B. A. (2023). The Living Environmental Education: Sound Science Toward a Cleaner, Safer, and Healthier Future. In *Sustainable Development Goals Series: Part F2745*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-4234-1>

- Feridyan, A. (2023). Sosialisasi Pengolahan Sampah Organik dan Anorganik Menggunakan Media Pembelajaran pada Siswa Sekolah Dasar Socialization of Organic and Inorganic Waste Processing Using Learning Media among Elementary School Students. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Indonesia (JPPMI)*, 2, 109–116. <https://doi.org/10.55606/jppmi.v2i3.780>
- Izza, F. R., Saptono, S., & Irsadi, A. (2025). Mini Research Learning on Eco-system Material Based Semarang Local Potential Towards Critical Thinking and Environmental Awareness Among Elementary School Student. *Unnes Science Edu-Cation Journal*, 14(1), 69–78. <https://doi.org/10.15294/usej.v13i1.21135>
- Karachalios, I., & Manesis, N. (2025). Fostering Environmental Awareness in Primary School Students: Evaluating the Impact of a Waste Management Education Program. *European Journal of Education Studies*, 12(4). <https://doi.org/10.46827/ejes.v12i4.5886>
- Kim, N. J., & Kim, M. K. (2022). Teacher's Perceptions of Using an Artificial Intelligence-Based Educational Tool for Scientific Writing. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.755914>
- Leal Filho, W., Kim, E., Borsatto, J. M. L. S., & Marcolin, C. B. (2025). Using Artificial Intelligence in Sustainability Teaching and Learning. *Environmental Sciences Europe*, 37(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01159-w>
- Lintang, A., Yunas, N. S., Sabrina, R., Andiyani, P., Tiviani, Z., Indraputri, A. J., Dwanda, F., & Aisyavarya, C. (2024). Introduction to the Importance of Waste Management for Elementary School Students in Sumberejo Village, Madiun. *Sahwahita: Community Engagement Journal*, 2(1), 34–41. <https://doi.org/10.69965/sahwahita.v2i1.88>
- Muliacy, I., Tuliati, Y., & Mahpudin, M. (2026). Pengaruh Model Experiential Learning terhadap Keterampilan Proses Sains Ditinjau dari Tingkatan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Pendas: Jural Ilmiah Pendidikan Dasar*, 11(3), 373–388. <https://doi.org/10.23969/jp.v11i03.63877>
- Purnomo, E., Darmawati, & Nandra, W. S. (2023). ABSYARA: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Pembimbingan Siswa SD Sekitar Lokasi Pantai Wisata Kastela untuk Smart Berplastik. 4(1). <https://doi.org/10.29408/ab.v4i1.18731>
- Ramadany, L. D., Sujana, A., Sopandi, W., & Hidayat, F. A. (2025). Profile of Sustainable Environmental Awareness of Primary School Students in Sorong District by Gender and School Location. *Journal of Science Education Research*, 9(2), 106–113. <https://doi.org/10.21831/jsr.v9.i2.80466>
- Rati, N. W., Sudatha, I. G. W., Dwiawati, K. A., Lesmana, K. Y. P., Esaputra, I. N. T., & Chiu, C. (2025). Unplugged Coding and Tri Hita Karana in Fostering Computational Thinking and Environmental Awareness. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 14(2), 314–323. <https://doi.org/10.15294/jpii.v14i2.24212>
- Ridha, M., Fannisa, H., Zain, B. P., & Zulkarnain, A. P. (2025). The Level of Environmental Knowledge of Phase C Elementary School Students Regarding Waste Management. *Science and Environmental Journals for Postgraduate*, 7(12), 130–138. <https://doi.org/10.24036/senjop.v7i2.314>
- Roth, C. E. (1992). *Environmental Literacy: Its Roots, Evolution and Directions in the 1990s*.
- Setiyono, Y. C. P., Muntiasih, S., Sholahuddin, U., & Abdullah, F. (2025). Implementasi Pembelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial sebagai Scaffolding Keterampilan Berfikir Kritis Peserta Didik Sekolah Dasar. *Didaktika*, 5(4), 462–475. <https://doi.org/10.17509/didaktika.v5i4.93446>
- Siskayanti, J., & Chastanti, I. (2022). Analisis Karakter Peduli Lingkungan pada Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(2), 1508–1516. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i2.2151>
- Subawa, I. G. B., Agustini, K., Pradnyana, I. M. A., Sugihartini, N., & Hartawan, I. M. W. (2025). Penguatan Kompetensi Dasar Guru Sekolah Dasar Melalui Pengenalan Computational Thinking dan Aktivitas Unplugged Coding di Desa Ngis-Karangasem. *Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat (SENADIMAS)*, 10(1).
- Subri, U. S., Ghani, N. M., Rus, R. C., Zakaria, A. F., & Affandi, H. M. (2025). Waste No More: Empowering Communities Through Education and Participation in Sustainable Waste Management. *Multidisciplinary*

Reviews, 8(7). <https://doi.org/10.31893/MULTIREV.2025204>

Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D* (2nd ed.). Alfabeta.

Suryani, D. A., & Fauzi, F. (2025). Meningkatkan Kemampuan Literasi dengan Pendekatan Teori Vygotsky Anak Sekolah Dasar. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(4), 347–361. <https://doi.org/doi.org/10.23969/jp.v10i04.38404>

Syamsiah, N. O., Firmansyah, Y., Mustika, Y., Burhanudin, B., Gani, A., & Fitriani, N. (2024). Pengaruh Edukasi Unplugged Coding Terhadap Kemampuan Computational Thingking Anak Usia Sekolah Dasar. *VOX EDUKASI: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 15(2), 365–373. <https://doi.org/10.31932/ve.v15i2.4048>