



Analisis Tingkat Keberhasilan Pelaksanaan Program 3R di Tingkat Satuan Pendidikan Menggunakan Data Mining dengan Algoritma C4.5

Siti Nurjannah^{1*}, Adam Abdillah², Cynthia Maulida Sari³, Nadya Nurchayanti⁴,
Sakti Rangga Ramadan⁵, Annida Purnamawati⁶

¹⁻⁶ Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Bina Sarana Informatika, Indonesia

Email: sitinurjannah.space@gmail.com^{1*}; adam.abd33@gmail.com²; cynthiams017@gmail.com³;
nadyachaya3@gmail.com⁴; sakti.rangga.ramadhan@gmail.com⁵; annida.npr@bsi.ac.id⁶

*Penulis korespondensi: sitinurjannah.space@gmail.com

Abstract. *The implementation of the Reduce, Reuse, and Recycle (3R) program in educational institutions plays a strategic role in fostering environmental awareness from an early age; however, its evaluation has often relied on descriptive approaches rather than objective data-driven analysis. This study aims to analyze the level of success of the 3R program implementation in schools and to identify the key factors influencing its success using a data mining approach with the C4.5 algorithm. A quantitative descriptive-analytic method was employed, utilizing primary data collected through observation and documentation of 3R program activities in schools. The data analysis followed the knowledge discovery in databases (KDD) process, including data selection, preprocessing, transformation, modeling, and evaluation. The results indicate that the C4.5 algorithm achieved a classification accuracy of 98.94%, demonstrating excellent model performance. The generated decision tree reveals that student participation is the most influential factor in determining the success of the 3R program, followed by parental involvement and teacher support. These findings suggest that the success of the 3R program is not solely determined by school policies, but largely depends on the active participation of key educational stakeholders. This study provides practical implications for schools and policymakers by offering a data-driven evaluation model that supports more objective decision-making and promotes the integration of environmental programs into the learning process within educational institutions.*

Keywords: C4.5 Algorithm; Data Mining; Environmental Education; Schools; 3R Program.

Abstrak. Pelaksanaan program Reduce, Reuse, dan Recycle (3R) di satuan pendidikan memiliki peran strategis dalam membentuk perilaku peduli lingkungan sejak dini, namun evaluasi keberhasilannya masih banyak dilakukan secara deskriptif dan belum berbasis analisis data yang objektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R di tingkat satuan pendidikan serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhinya menggunakan pendekatan data mining dengan algoritma C4.5. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif-analitik dengan data primer yang diperoleh melalui teknik observasi dan dokumentasi terhadap pelaksanaan program 3R di sekolah. Proses analisis data mengikuti tahapan knowledge discovery in databases (KDD), meliputi seleksi data, pra-pemrosesan, transformasi, pemodelan, dan evaluasi model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma C4.5 mampu mengklasifikasikan tingkat keberhasilan program 3R dengan tingkat akurasi sebesar 98,94%, yang menunjukkan performa model sangat baik. Pohon keputusan yang dihasilkan mengungkapkan bahwa partisipasi siswa merupakan faktor paling dominan dalam menentukan keberhasilan program, diikuti oleh partisipasi orang tua murid dan dukungan guru. Temuan ini menunjukkan bahwa keberhasilan pelaksanaan program 3R tidak hanya bergantung pada kebijakan sekolah, tetapi sangat ditentukan oleh keterlibatan aktif seluruh pemangku kepentingan pendidikan. Penelitian ini memberikan implikasi praktis bagi sekolah dan pengambil kebijakan dalam merancang evaluasi program lingkungan yang lebih terukur, objektif, dan berbasis data, serta mendorong penguatan integrasi program 3R dalam proses pembelajaran di satuan pendidikan.

Kata kunci: C4.5; Data Mining; Pendidikan Lingkungan; Program 3R; Sekolah.

1. LATAR BELAKANG

Lingkungan sekolah bukan hanya ruang untuk mentransfer pengetahuan akademik, namun juga laboratorium kehidupan di mana perilaku sosial-ekologis mulai dibentuk. Seiring dengan meningkatnya urbanisasi, konsumsi, dan aktivitas manusia, timbulan sampah di

Indonesia telah mencapai angka puluhan juta ton per tahun, di mana timbunan limbah padat domestik dan publik merupakan tantangan besar bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Berdasarkan data nasional, pengurangan sampah melalui program 3R (Reduce, Reuse, Recycle) sejauh ini masih berjalan namun belum optimal: pengurangan sampah nasional setiap tahun hanya sekitar 13,67 % dari total timbunan di berbagai kabupaten/kota, menunjukkan bahwa strategi pengelolaan limbah berbasis 3R perlu terus diperkuat secara struktural dan budaya di berbagai segmen masyarakat, termasuk sekolah. (Rahmah et al., 2024)

Sekolah sebagai unit pendidikan formal memiliki peran strategis dalam membentuk perilaku ramah lingkungan sejak dini (Retno Handayani et al., 2024). Program pengelolaan sampah berbasis 3R di lingkungan pendidikan mencakup pengurangan limbah, penggunaan ulang material yang masih layak, dan pendauran ulang sampah yang dihasilkan aktivitas sekolah. Beberapa studi tentang pelaksanaan program ini di sekolah-sekolah Indonesia menunjukkan adanya berbagai hasil implementasi: di satu sekolah program berbasis 3R dinilai layak dan efektif menurut penilaian responden dan ahli, namun hasil partisipasi aktif serta perilaku nyata pelaksanaannya tidak cukup komprehensif diukur secara kuantitatif. Selain itu, penelitian lain menemukan bahwa meskipun siswa, guru, dan staf sekolah memiliki pengetahuan tentang prinsip 3R, ada kesenjangan antara sikap positif dan perilaku aktif dalam pengelolaan sampah, yang dipengaruhi oleh fasilitas sekolah, kebiasaan, dan infrastruktur pengelolaan limbah. (Nisa et al., 2025) Situasi ini menunjukkan trend bahwa perencanaan program 3R belum cukup untuk memastikan tingkat keberhasilan pelaksanaannya, khususnya jika diukur dari perilaku nyata, partisipasi aktif warga sekolah, dan hasil kuantitatif pengurangan timbunan sampah.

Meskipun implementasi pengelolaan sampah berbasis 3R terus didorong di DKI Jakarta melalui program Sekolah Adiwiyata, edukasi lingkungan, dan kolaborasi komunitas, evaluasi keberhasilan program tersebut masih didominasi oleh pendekatan deskriptif dan belum berbasis data objektif yang komprehensif; meskipun Pemerintah Provinsi DKI Jakarta menjadikan 3R sebagai strategi pengurangan sampah dari sumbernya, tingginya produksi limbah harian menunjukkan bahwa kontribusi satuan pendidikan terhadap penurunan volume sampah belum terukur secara konsisten dan sistematis (“Jakpus Tingkatkan Pengelolaan Sampah Dari Sumbernya Lewat Sistem 3R,” 2024). Kondisi ini terlihat pada praktik pengelolaan sampah di sekolah dasar seperti SDN 03 Cipulir yang lebih menonjolkan aktivitas pemilahan dan komposting tanpa disertai evaluasi kuantitatif keberhasilan program (Silmi et al., 2024). Temuan serupa juga muncul pada studi edukasi pengelolaan sampah di tingkat menengah atas di Jakarta Barat, yang menunjukkan peningkatan pengetahuan dan keterampilan

siswa, namun belum menganalisis faktor-faktor penentu keberhasilan program secara empiris (Isradi et al., 2024). Kesenjangan tersebut menegaskan perlunya pendekatan analitik berbasis data, seperti data mining, untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R secara objektif dan mendalam di lingkungan pendidikan.

Dalam kajian literatur sebelumnya, pendekatan *data mining* telah banyak digunakan untuk mengeksplorasi pola dan temuan dari dataset pendidikan yang kompleks. Misalnya, penelitian oleh (Putra, 2023) menerapkan algoritma C4.5 untuk memprediksi masa studi mahasiswa berdasarkan atribut akademik, menunjukkan bahwa algoritma tersebut efektif dalam mengekstraksi aturan klasifikasi dari data pendidikan. (Amalia et al., 2020) menggunakan C4.5 untuk memahami kinerja siswa dan menarik informasi yang membantu institusi memperbaiki strategi pembelajaran. (Alfyandri et al., 2025) membangun model prediksi keberhasilan mahasiswa dalam mata kuliah tertentu dengan C4.5 dan melaporkan tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam klasifikasi prediktif. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian ini berfokus pada prediksi atau klasifikasi terkait aspek akademik atau operasional akademis, dan bukan pada evaluasi serta pengukuran keberhasilan implementasi program kebijakan lingkungan seperti 3R di sekolah. Dalam konteks *waste management* sekolah, penelitian yang ada cenderung bersifat deskriptif atau memetakan pengetahuan dan sikap, tetapi kurang menggunakan teknik *data mining* atau algoritma klasifikasi untuk menjelaskan pola determinan yang memengaruhi hasil pelaksanaan program 3R di tingkat satuan pendidikan (Ortega et al., 2022).

Gap ini menghasilkan *research gap* penting: belum ada penelitian yang secara empiris menggabungkan analisis data pendidikan dengan algoritma *data mining*—khususnya *decision tree* C4.5 untuk mengukur tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R di sekolah berdasarkan dataset operasional yang komprehensif (misalnya data pemilahan sampah, partisipasi warga sekolah, jumlah limbah yang berhasil dikurangi/didaur ulang, dan variabel determinan lain). Analisis semacam ini dapat mengidentifikasi pola, faktor utama, dan aturan klasifikasi yang tidak mudah terlihat melalui pendekatan statistik tradisional. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru melalui pendekatan yang menghubungkan evaluasi program dengan teknik *data mining* untuk menyediakan pemahaman lebih dalam, berbasis bukti, dan preskriptif bagi pembuat kebijakan pendidikan, pengelola sekolah, dan peneliti lingkungan pendidikan.

Berdasarkan fenomena dan gap tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R di tingkat satuan pendidikan dengan memanfaatkan algoritma C4.5 untuk mengklasifikasi dan menganalisis faktor-faktor yang

memengaruhi hasil pelaksanaan program ini. Penelitian diharapkan tidak hanya menilai keberhasilan secara deskriptif, tetapi juga menggali pola determinan yang paling dominan yang memengaruhi tingkat keberhasilan pelaksanaan 3R di sekolah.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan empiris untuk menilai dan meningkatkan efektivitas program ramah lingkungan yang ada di sekolah melalui pendekatan kuantitatif yang kuat. Sementara program 3R di sekolah merupakan bagian dari upaya besar Indonesia menuju pengelolaan limbah berkelanjutan, Studi ini memperkenalkan pendekatan teknologi data yang dapat mendukung pengambilan keputusan, perbaikan kebijakan, dan desain intervensi berbasis bukti. Secara teoretis, penelitian ini menguatkan jembatan antara *educational data mining*, ilmu lingkungan pendidikan, dan evaluasi kebijakan; secara praktis, hasil penelitian dapat membantu sekolah dan pemangku kepentingan menentukan strategi yang lebih tepat sasaran untuk meningkatkan keberhasilan pelaksanaan program 3R di lapangan.

2. KAJIAN TEORITIS

Kajian teoritis penelitian ini dibangun di atas tiga landasan utama yang saling terhubung, yaitu teori pengelolaan sampah berkelanjutan berbasis 3R, teori perilaku lingkungan dalam konteks pendidikan, serta teori *data mining* dan pembelajaran mesin khususnya algoritma C4.5 sebagai pendekatan analitis. Ketiga kerangka ini digunakan untuk menjelaskan secara konseptual bagaimana keberhasilan pelaksanaan program 3R di tingkat satuan pendidikan dapat dipahami, diukur, dan dianalisis secara sistematis berbasis data.

Teori pengelolaan sampah berkelanjutan berakar dari paradigma *sustainable development* yang diperkenalkan secara global melalui *Brundtland Report* pada tahun 1987. Dalam perkembangannya, konsep ini diterjemahkan secara operasional ke dalam hierarki pengelolaan sampah yang menempatkan Reduce, Reuse, dan Recycle (3R) sebagai strategi prioritas sebelum pembuangan akhir. Tchobanoglous dan Kreith menegaskan bahwa 3R bukan sekadar pendekatan teknis, melainkan sistem pengelolaan yang menuntut perubahan perilaku, tata kelola, dan partisipasi aktor (George Tchobanoglous, 2002). Penelitian empiris nasional terbaru menunjukkan bagaimana program 3R di sekolah mempengaruhi kesadaran dan tindakan nyata siswa: studi di SDN Sukasari 4 mencatat bahwa integrasi program 3R dalam aktivitas sekolah menciptakan perubahan perilaku nyata dan kesadaran lingkungan yang lebih tinggi, tidak sekadar aktivitas simbolik semata (Siti Meiliana Syahra Iswandi et al., 2025). Penelitian lain menyajikan implementasi 3R sebagai mekanisme bank sampah di sekolah menengah yang menunjukkan pengecilan timbulan sampah dan pemanfaatan kembali material

sebagai produk bernilai, sehingga melibatkan siswa secara aktif dalam pengelolaan limbah (Hapsari et al., 2025).

Untuk menjelaskan mengapa keberhasilan pelaksanaan program 3R berbeda antar satuan pendidikan, penelitian ini juga bertumpu pada teori perilaku lingkungan, khususnya *Theory of Planned Behavior* (TPB). TPB dikembangkan oleh (Icek Ajzen, 1991) sebagai pengembangan dari *Theory of Reasoned Action*, dengan postulat utama bahwa perilaku dipengaruhi oleh niat, yang dibentuk oleh sikap terhadap perilaku, norma subjektif, dan persepsi kontrol perilaku. Dalam empat tahun terakhir, TPB mengalami perkembangan signifikan melalui integrasi faktor kontekstual dan struktural, terutama dalam studi perilaku pengelolaan sampah dan pengurangan limbah. Penelitian (Nguyen et al., 2025) dan (Khan et al., 2022) menunjukkan bahwa sikap positif terhadap pengelolaan sampah tidak cukup untuk menghasilkan perilaku nyata apabila tidak didukung oleh persepsi kontrol seperti ketersediaan fasilitas dan dukungan institusional. Dalam konteks sekolah, hal ini berarti bahwa keberhasilan 3R tidak hanya bergantung pada kesadaran siswa dan guru, tetapi juga pada dukungan kebijakan sekolah, ketersediaan sarana pemilahan, serta konsistensi implementasi program. TPB dengan demikian memberikan kerangka konseptual untuk memahami variabel-variabel laten yang memengaruhi tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R, sekaligus menjadi dasar logis dalam pemilihan atribut atau variabel prediktor pada tahap analisis data mining.

Seiring meningkatnya kompleksitas evaluasi program pendidikan dan lingkungan, teori *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) dan *data mining* menjadi landasan metodologis yang relevan. KDD dipahami sebagai proses sistematis untuk mengekstraksi pengetahuan dari data melalui tahapan seleksi, pra-pemrosesan, transformasi, pemodelan, dan interpretasi (Baskar et al., 2013). Literatur terkini menekankan bahwa evaluasi program berbasis data memerlukan pendekatan analitik yang mampu menangkap hubungan nonlinier dan pola laten antar variabel, yang sering tidak terdeteksi melalui analisis statistik konvensional (Sunarya et al., 2025). Dalam konteks penelitian ini, KDD menjadi kerangka untuk mengolah data pelaksanaan program 3R—seperti tingkat partisipasi warga sekolah, frekuensi kegiatan 3R, ketersediaan fasilitas, dan capaian pengurangan sampah—menjadi pengetahuan yang bermakna mengenai tingkat keberhasilan program.

Algoritma C4.5, yang diperkenalkan oleh (J. Ross Quinlan, 1993) sebagai pengembangan dari ID3, merupakan salah satu algoritma *decision tree* yang hingga kini tetap relevan dan banyak digunakan. Perkembangannya dalam dua dekade terakhir menempatkan C4.5 sebagai algoritma klasifikasi yang unggul dalam hal interpretabilitas, khususnya ketika tujuan analisis tidak hanya prediksi, tetapi juga penarikan aturan keputusan yang dapat digunakan sebagai

dasar kebijakan. Penelitian-penelitian dalam empat tahun terakhir menunjukkan bahwa C4.5 masih kompetitif dalam berbagai domain terapan, termasuk pendidikan dan lingkungan, karena kemampuannya mengidentifikasi atribut paling dominan melalui *gain ratio* dan menyajikan hasil dalam bentuk pohon keputusan yang mudah dipahami oleh pengambil keputusan non-teknis (Alfyandri et al., 2025; Sintawati et al., 2023). Dalam penelitian ini, C4.5 diposisikan bukan hanya sebagai alat klasifikasi, tetapi sebagai instrumen konseptual untuk menjelaskan bagaimana kombinasi faktor perilaku dan operasional membentuk tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R di satuan pendidikan.

Keterkaitan antara teori 3R, teori perilaku lingkungan, dan teori data mining membentuk kerangka pemikiran integratif penelitian ini. Program 3R dipahami sebagai intervensi kebijakan lingkungan di sekolah; teori perilaku menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi respons warga sekolah terhadap intervensi tersebut; sementara data mining dengan algoritma C4.5 memungkinkan pengukuran dan pemodelan keberhasilan program secara objektif berbasis data empiris. Dengan kerangka ini, keberhasilan pelaksanaan program 3R tidak diperlakukan sebagai variabel tunggal, melainkan sebagai hasil dari interaksi multidimensi yang dapat diklasifikasikan dan dianalisis secara sistematis.

Berdasarkan kajian teoritis tersebut, penelitian ini secara implisit berpijak pada asumsi bahwa tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R di tingkat satuan pendidikan dipengaruhi oleh kombinasi variabel perilaku, struktural, dan operasional, serta bahwa algoritma C4.5 mampu mengidentifikasi pola dan aturan keputusan yang menjelaskan hubungan antar variabel tersebut secara akurat dan interpretatif. Asumsi ini menjadi dasar konseptual bagi perancangan penelitian, pemilihan variabel, dan pendekatan analisis yang digunakan, sekaligus memperkuat kontribusi teoretis dan praktis penelitian dalam pengembangan evaluasi program lingkungan berbasis data di sektor pendidikan.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian deskriptif-analitik berbasis *data mining*. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R di tingkat satuan pendidikan secara objektif dan berbasis data numerik yang dapat dianalisis menggunakan algoritma klasifikasi. Sementara itu, sifat deskriptif-analitik digunakan untuk menggambarkan kondisi pelaksanaan program 3R di sekolah sekaligus menganalisis pola dan hubungan antar variabel yang memengaruhi tingkat keberhasilan program tersebut. Pendekatan *data mining* dipilih karena mampu mengolah data dalam jumlah besar dan kompleks untuk

menemukan pola tersembunyi yang tidak mudah diidentifikasi melalui analisis statistik konvensional, khususnya dalam konteks evaluasi program yang melibatkan banyak indikator perilaku dan operasional.

Penelitian ini menggunakan algoritma C4.5 sebagai metode utama dalam analisis data. Pemilihan algoritma C4.5 didasarkan pada kemampuannya dalam melakukan klasifikasi data dengan menghasilkan pohon keputusan yang mudah diinterpretasikan. Karakteristik ini sangat relevan dengan tujuan penelitian yang tidak hanya ingin mengetahui tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R, tetapi juga mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang memengaruhi keberhasilan tersebut dalam bentuk aturan keputusan yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar rekomendasi kebijakan bagi satuan pendidikan.

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi dan dokumentasi, dengan sumber data utama berupa data primer. Observasi dilakukan secara langsung pada satuan pendidikan yang menjadi objek penelitian untuk memperoleh gambaran nyata mengenai pelaksanaan program 3R. Observasi difokuskan pada aktivitas pengelolaan sampah di lingkungan sekolah, seperti praktik pemilahan sampah, kegiatan reduce dan reuse dalam aktivitas pembelajaran, pelaksanaan program daur ulang, keterlibatan warga sekolah, serta ketersediaan dan pemanfaatan sarana pendukung seperti tempat sampah terpilah dan fasilitas pengolahan sampah. Observasi dilakukan secara sistematis menggunakan lembar observasi yang disusun berdasarkan indikator pelaksanaan program 3R, sehingga data yang diperoleh bersifat terstruktur dan dapat diolah secara kuantitatif.

Selain observasi, teknik dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data primer yang berasal dari dokumen resmi sekolah yang berkaitan dengan pelaksanaan program 3R. Dokumen tersebut meliputi laporan kegiatan lingkungan sekolah, data volume atau berat sampah yang dihasilkan dan dikelola, catatan kegiatan 3R, program kerja sekolah terkait lingkungan, serta dokumentasi kebijakan atau surat keputusan yang mendukung pelaksanaan program 3R. Data dokumentasi ini berfungsi untuk melengkapi dan memverifikasi hasil observasi, sekaligus menyediakan data numerik dan kategorikal yang dibutuhkan dalam proses analisis menggunakan algoritma C4.5.

Prosedur penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang saling berkesinambungan. Tahap pertama adalah tahap perencanaan, yang diawali dengan identifikasi masalah dan perumusan tujuan penelitian berdasarkan fenomena rendahnya evaluasi kuantitatif terhadap keberhasilan program 3R di satuan pendidikan. Pada tahap ini dilakukan penentuan objek penelitian, penyusunan indikator keberhasilan program 3R, serta perancangan instrumen observasi dan format pengumpulan data dokumentasi. Selain itu, pada tahap perencanaan juga

ditentukan atribut atau variabel yang akan digunakan dalam proses *data mining*, seperti tingkat partisipasi warga sekolah, frekuensi kegiatan 3R, ketersediaan fasilitas, dan hasil pengelolaan sampah.

Tahap kedua adalah tahap pelaksanaan penelitian, yang meliputi pengumpulan data melalui observasi dan dokumentasi di satuan pendidikan yang telah ditetapkan. Data yang diperoleh kemudian direkapitulasi dan disusun dalam bentuk dataset yang terstruktur. Pada tahap ini dilakukan pula proses *data preprocessing*, yang mencakup pemeriksaan kelengkapan data, penanganan data yang tidak lengkap, transformasi data ke dalam bentuk kategorikal atau numerik sesuai kebutuhan algoritma C4.5, serta seleksi atribut yang relevan. Proses ini bertujuan untuk memastikan kualitas data sehingga layak digunakan dalam analisis *data mining*.

Tahap ketiga adalah tahap analisis data, yang dilakukan dengan menerapkan algoritma C4.5 untuk mengklasifikasikan tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R di satuan pendidikan. Proses analisis diawali dengan perhitungan *information gain ratio* untuk menentukan atribut yang paling berpengaruh dalam pembentukan pohon keputusan. Selanjutnya, model pohon keputusan dibangun berdasarkan atribut-atribut terpilih, sehingga menghasilkan klasifikasi tingkat keberhasilan program 3R beserta aturan keputusan yang menyertainya. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang memengaruhi keberhasilan pelaksanaan program 3R, serta untuk menjelaskan pola hubungan antar variabel yang ditemukan dalam data.

Secara keseluruhan, metode penelitian ini dirancang untuk memberikan gambaran yang komprehensif dan berbasis data mengenai tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R di tingkat satuan pendidikan. Melalui pendekatan kuantitatif berbasis *data mining* dengan algoritma C4.5, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan temuan yang objektif, terukur, dan mudah dipahami, sehingga dapat memberikan kontribusi yang bermakna bagi pengembangan kebijakan dan praktik pengelolaan lingkungan di lingkungan pendidikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat keberhasilan pelaksanaan Program 3R (Reduce, Reuse, Recycle) di tingkat satuan pendidikan menggunakan teknik data mining dengan algoritma C4.5. Proses pemodelan dan evaluasi dilakukan menggunakan perangkat lunak **Altair RapidMiner Studio**.

Hasil Model Klasifikasi Algoritma C4.5

Hasil pemodelan menghasilkan sebuah **pohon keputusan (decision tree)** yang menggambarkan hubungan antar variabel partisipasi dan dukungan terhadap tingkat keberhasilan Program 3R. Berdasarkan hasil pemrosesan, atribut **Partisipasi Siswa** memiliki nilai *information gain* tertinggi dan ditetapkan sebagai **node akar (root node)**.

Struktur pohon keputusan menunjukkan bahwa keberhasilan Program 3R dipengaruhi secara berurutan oleh:

- 1) Partisipasi siswa
- 2) Partisipasi orang tua murid
- 3) Dukungan guru

Model klasifikasi yang dihasilkan membagi tingkat keberhasilan ke dalam dua kelas, yaitu **Tinggi** dan **Rendah**.

Evaluasi Kinerja Model

Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan operator **Performance (Classification)** pada RapidMiner. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model C4.5 memiliki performa yang sangat baik.

Tabel 1. Confusion Matrix Model C4.5.

Kelas Aktual / Prediksi	Rendah	Tinggi
Rendah	429	5
Tinggi	0	36

(Sumber: Hasil Pengolahan Data Menggunakan Altair RapidMiner)

Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa:

- 1) Sebanyak **429 data kelas Rendah** berhasil diklasifikasikan dengan benar.
- 2) Tidak terdapat kesalahan klasifikasi pada kelas **Tinggi** (false negative = 0).
- 3) Kesalahan klasifikasi hanya terjadi pada **5 data**, di mana data aktual Rendah diprediksi sebagai Tinggi.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Performa Model.

Metrik Evaluasi	Nilai
Accuracy	98,94%
Precision (Rendah)	100,00%
Precision (Tinggi)	87,80%
Recall (Rendah)	98,85%
Recall (Tinggi)	100,00%

(Sumber: Performance Vector Altair RapidMiner)

Nilai akurasi sebesar **98,94%** menunjukkan bahwa algoritma C4.5 sangat efektif dalam mengklasifikasikan tingkat keberhasilan Program 3R. Nilai recall kelas *Tinggi* mencapai **100%**, yang berarti seluruh data dengan tingkat keberhasilan tinggi berhasil dikenali oleh model tanpa kesalahan.

Interpretasi Pohon Keputusan

Interpretasi pohon keputusan dilakukan untuk memahami pola dan aturan klasifikasi yang dihasilkan oleh algoritma C4.5.

Node Akar: Partisipasi Siswa

Atribut **Partisipasi Siswa** menjadi faktor utama penentu tingkat keberhasilan Program 3R.

- 1) Jika **Partisipasi Siswa = Rendah**, maka tingkat keberhasilan Program 3R diklasifikasikan sebagai **Rendah**.
- 2) Jika **Partisipasi Siswa = Tinggi**, maka proses klasifikasi dilanjutkan ke atribut berikutnya.

Temuan ini menunjukkan bahwa keterlibatan aktif peserta didik merupakan prasyarat utama keberhasilan pelaksanaan Program 3R di lingkungan sekolah.

Node Tingkat Kedua: Partisipasi Orang Tua Murid

Pada kondisi **Partisipasi Siswa = Tinggi**, atribut **Partisipasi Orang Tua Murid** menjadi penentu lanjutan.

- 1) Jika **Partisipasi Orang Tua Murid = Rendah**, maka tingkat keberhasilan diklasifikasikan sebagai **Rendah**.
- 2) Jika **Partisipasi Orang Tua Murid = Tinggi**, maka klasifikasi dilanjutkan ke atribut dukungan guru.
- 3) Hal ini menunjukkan bahwa dukungan dari lingkungan keluarga berperan penting dalam memperkuat implementasi Program 3R di sekolah.

Node Tingkat Ketiga: Dukungan Guru

Atribut **Dukungan Guru** menjadi penentu akhir pada pohon keputusan.

- 1) Jika **Dukungan Guru = Tinggi**, maka tingkat keberhasilan Program 3R diklasifikasikan sebagai **Tinggi**.
- 2) Jika **Dukungan Guru = Rendah**, maka tingkat keberhasilan diklasifikasikan sebagai **Rendah**.

Hasil ini menegaskan bahwa peran guru sebagai fasilitator, pengawas, dan teladan memiliki kontribusi signifikan terhadap keberhasilan program lingkungan di satuan Pendidikan.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma C4.5 mampu mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang memengaruhi keberhasilan pelaksanaan Program 3R secara akurat dan interpretatif. Dengan tingkat akurasi mencapai **98,94%**, model yang dihasilkan tergolong sangat baik dan layak digunakan sebagai alat bantu analisis kebijakan pendidikan lingkungan.

Temuan utama penelitian ini menegaskan bahwa **partisipasi siswa** merupakan faktor paling dominan, diikuti oleh **partisipasi orang tua murid** dan **dukungan guru**. Keberhasilan Program 3R tidak hanya bergantung pada keberadaan program secara administratif, tetapi lebih pada keterlibatan aktif seluruh pemangku kepentingan pendidikan.

Keunggulan algoritma C4.5 terletak pada kemampuannya menghasilkan aturan klasifikasi yang transparan dan mudah dipahami. Hal ini memberikan nilai praktis bagi pihak sekolah dan pembuat kebijakan dalam merancang strategi peningkatan Program 3R secara berkelanjutan.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada jumlah atribut dan ruang lingkup data. Penelitian lanjutan disarankan untuk menambahkan variabel lain, seperti sarana prasarana dan kebijakan sekolah, serta membandingkan performa C4.5 dengan algoritma klasifikasi lainnya untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berlandaskan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa pelaksanaan Program 3R di tingkat satuan pendidikan dapat dievaluasi secara objektif dan akurat melalui pendekatan data mining dengan algoritma C4.5, yang terbukti memiliki kinerja klasifikasi sangat baik dengan tingkat akurasi 98,94%. Temuan utama menunjukkan bahwa keberhasilan program 3R tidak ditentukan semata oleh keberadaan kebijakan atau aktivitas simbolik, melainkan sangat dipengaruhi oleh keterlibatan aktif siswa sebagai faktor paling dominan, yang selanjutnya diperkuat oleh partisipasi orang tua murid dan dukungan guru. Struktur pohon keputusan yang dihasilkan mengonfirmasi bahwa kombinasi ketiga faktor tersebut membentuk pola determinan yang jelas dalam membedakan tingkat keberhasilan program 3R di sekolah. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengukur tingkat keberhasilan pelaksanaan program 3R sekaligus mengidentifikasi faktor penentunya telah tercapai, dan hasil ini menjawab permasalahan penelitian secara empiris tanpa melakukan generalisasi berlebihan, mengingat keterbatasan atribut dan ruang lingkup data yang digunakan. Temuan ini menegaskan signifikansi penggunaan pendekatan analitik berbasis data sebagai dasar evaluasi dan perbaikan kebijakan pengelolaan lingkungan di satuan pendidikan.

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar program 3R di sekolah diintegrasikan secara berkelanjutan dalam proses pembelajaran melalui pendekatan kontekstual dan berbasis proyek, sehingga siswa tidak hanya memahami konsep tetapi juga terlibat aktif dalam praktik pengelolaan sampah. Guru diharapkan memanfaatkan data hasil pelaksanaan program sebagai bahan evaluasi pembelajaran, sementara pihak sekolah perlu memperkuat dukungan fasilitas dan kolaborasi dengan orang tua serta komunitas lingkungan. Pendekatan analitik berbasis data yang diterapkan dalam penelitian ini dapat dikembangkan untuk mengevaluasi program pendidikan lainnya, dan penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas variabel serta metode analisis guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif dan aplikatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak penyandang dana penelitian yang telah memberikan dukungan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi juga disampaikan kepada institusi dan pihak-pihak yang telah menyediakan fasilitas, data, serta akses yang diperlukan selama proses pengumpulan dan pengolahan data. Selain itu, penulis berterima kasih kepada para penelaah dan rekan sejawat yang telah memberikan masukan, saran, dan ulasan konstruktif terhadap naskah ini. Penelitian ini merupakan bagian dari hasil penelitian akademik yang disusun dalam rangka penyelesaian studi pada jenjang pendidikan tertentu dan telah disesuaikan untuk publikasi ilmiah.

DAFTAR REFERENSI

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211.
- Alfyandri, N. P., Musril, H. A., & Derta, S. (2025). Implementation of the C4.5 algorithm to build a prediction model for student success in database courses. 5(2), 132–144.
- Amalia, H., Yunita, P., Puspitasari, A., Ade, A., & Lestari, F. (2020). Student performance analysis using C4.5 algorithm to optimize selection. *Jurnal PILAR Nusa Mandiri*, 16(2), 149–154.
- Baskar, S. S., Arockiam, L., & Charles, S. (2013). A systematic approach on data pre-processing in data mining. *International Journal of Advanced Computer Technology*, 2(11), 335–339.

- Handayani, R., Noor, I. G., & Dewi, R. S. (2024). Karakter peduli lingkungan. *Aina Indonesian Journal*, 5(September), 1–6. <http://journal.ainarapress.org/index.php/ainj>
- Hapsari, D. P., Kurnia, D., & Winasis, P. H. (2025). Sekolah bebas sampah: Pemberdayaan warga sekolah melalui edukasi dan aksi lingkungan berbasis 3R di MTs Nurul Islam Kota Serang. *Kaibon Abhinaya: Jurnal Pengabdian Masyarakat*.
- Isradi, M., Dwiarmoko, H., Firdaus, H. Y., Hasdian, E., Andraiko, H., Munthe, A. T., Sudrajat, K. M., & Syafwandi, S. (2024). Edukasi pengelolaan sampah guna meningkatkan pelestarian lingkungan pada siswa SMU Al-Huda Cengkareng Jakarta. *I-Com: Indonesian Community Journal*, 4(2), 654–663. <https://doi.org/10.33379/icom.v4i2.4262>
- Jakpus tingkatkan pengelolaan sampah dari sumbernya lewat sistem 3R. (2024). *ANTARA News*. <https://www.antaranews.com/berita/4414685/jakpus-tingkatkan-pengelolaan-sampah-dari-sumbernya-lewat-sistem-3r>
- Khan, F., Ahmed, W., & Najmi, A. (2019). Understanding consumers' behavior intentions towards dealing with plastic waste: Perspective of a developing country. *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.020>
- Nguyen, G. T. T., & Nguyen, H. G. (2025). Extended theory of planned behavior and demographics in household food waste reduction: Evidence from Vietnam. *Cleaner Waste Systems*, 12, 100349. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100349>
- Nisa, K., Aflahah, S., Aldeia, A. M. S., Witteveen, L., & Lie, R. (2025). Waste management literacy in Indonesian secondary schools: Assessing knowledge, attitudes, and behavior. *Cakrawala Pendidikan*, 44(2), 324–336. <https://doi.org/10.21831/cp.v44i2.78725>
- Ortega-Dela Cruz, R. A., & Nabor Jr., A. P. (2022). Pupils' awareness, knowledge, attitude, and practice of school-based solid waste management in a public elementary school in the Philippines. *University of Wah Journal of Social Sciences*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.56220/uwjss2022/0501/01>
- Putra, A. R. (2023). The implementation of data mining techniques for predicting student study period using the C4.5 algorithm. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy*, 3(2), 96–100. <https://journal.irpi.or.id/index.php/ijeere/article/view/986>
- Quinlan, J. R. (1993). *Programs for machine learning*. Morgan Kaufmann.
- Rahmah, S. P., Hendro, R. L., Koestoer, & Yusuf, R. (2024). Application of reduce, reuse, recycle (3R) and urban waste management: A systematic literature review. *Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan*, 5(2), 189–197.
- Silmi, A., Dewi, Y. S., Nurhayati, & Zoelaeha, B. D. (2024). Pengelolaan sampah dengan metode komposting di Sekolah Dasar Negeri 03 Cipulir Kecamatan Kebayoran Lama Jakarta Selatan. *Jurnal Abdimas Satya Widyakarya*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.59408/jasw.v2i1.15>

- Sintawati, I. D., Widiarina, W., & Mariskhana, K. (2023). Application of the C4.5 algorithm to determine security guard work schedules. *SinkrOn*, 8(2), 915–922.
<https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i2.12247>
- Sunarya, P. A., Asri, M., Azizah, N., & Lim, C. P. (2025). Evaluasi sistem informasi pendidikan untuk pengelolaan data dan keputusan. *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan dan Teknologi Informasi*, 3(2), 118–126.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management* (2nd ed.). McGraw-Hill.