

EVALUASI TINGKAT KEDISIPLINAN SISWA PADA SMK NAHDHATUL UMAM BERDASARKAN DATA ABSENSI DIGITAL MENGGUNAKAN ALGORITMA DECISION TREE

Nur Janah¹, Rudi Kurniawan², Bani Nurhakim³, Agus Bahtiar⁴.

Program Studi Teknik Informatika¹²
Program Studi Manajemen Informatika³
Program Studi Sistem Informasi⁴

STMIK IKMI Cirebon
<https://ikmi.ac.id/page/18/?lang=de>
nujan0303@gmail.com

(*) Corresponding Author : nujan0303@gmail.com
Published : 30 Mei 2026

Abstract—Student discipline is a fundamental aspect that supports the success of the learning process and contributes to the overall quality of education. SMK Nahdhatul Umam has implemented a digital attendance system to record student presence in real time; however, the recorded data has not been utilized optimally as a basis for evaluating discipline. The main problem addressed in this study is the absence of an analytical method capable of transforming digital attendance records into accurate and easily interpretable information about student discipline levels. Therefore, this research aims to evaluate students' discipline levels using digital attendance data by applying the Decision Tree algorithm as a classification technique. The dataset used consists of 951 attendance records collected during October 2025. The research stages include data collection, preprocessing, labeling discipline levels into two categories (disciplined and undisciplined), and implementing the Decision Tree algorithm using Google Colab and the Scikit-Learn library. Model performance was measured using accuracy and F1-score to assess the overall reliability of the classification results. The key features analyzed in the model include absenteeism (alfa), lateness (minutes), TAP, and TAM, which serve as primary indicators of student discipline. The findings of this study show that the Decision Tree algorithm demonstrates excellent classification performance, achieving an accuracy of 98.42% and an F1-score of 98.60%. These results indicate that the model is highly reliable in distinguishing between disciplined and undisciplined students based on their attendance patterns. This also highlights that a digital attendance system can function not only as a recording tool but also as an objective evaluation instrument for student discipline. In conclusion, the Decision Tree algorithm is effective for evaluating student discipline using digital attendance data. It is recommended that schools integrate this classification model into their discipline monitoring systems to support more precise decision-making. Future research may incorporate additional variables or compare multiple machine learning algorithms to further improve model performance and produce broader insights.

Keywords : student discipline, digital attendance, Decision Tree, classification, machine learning.

Abstrak—Kedisiplinan siswa merupakan aspek fundamental dalam mendukung keberhasilan proses pembelajaran dan peningkatan mutu pendidikan. SMK Nahdhatul Umam telah menerapkan sistem absensi digital untuk mencatat kehadiran siswa secara real time, namun data tersebut belum dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan evaluasi kedisiplinan. Masalah utama dalam penelitian ini adalah belum tersedianya metode analitis yang mampu mengolah data absensi digital menjadi informasi tingkat kedisiplinan yang akurat dan mudah dipahami. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kedisiplinan siswa berdasarkan data absensi digital dengan menerapkan algoritma *Decision Tree* sebagai teknik klasifikasi. Penelitian ini menggunakan dataset berisi 951 data absensi siswa selama bulan Oktober 2025. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, praproses data, penentuan label kedisiplinan menjadi dua kategori (disiplin dan tidak disiplin), serta penerapan algoritma *Decision Tree* menggunakan Google Colab dan Scikit-Learn. Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik akurasi dan *F1-score* untuk mengukur performa klasifikasi secara menyeluruh. Fitur yang dianalisis dalam model meliputi alfa, keterlambatan (menit), TAP, dan TAM sebagai indikator utama kedisiplinan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma *Decision Tree* memiliki kemampuan klasifikasi yang sangat baik, dibuktikan dengan nilai

akurasi sebesar 98,42% dan *F1-score* sebesar 98,60%. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa model sangat andal dalam membedakan siswa yang disiplin dan tidak disiplin berdasarkan pola absensi mereka. Temuan ini juga menunjukkan bahwa sistem absensi digital dapat berfungsi lebih dari sekadar pencatatan kehadiran, tetapi juga sebagai alat evaluasi perilaku kedisiplinan siswa secara objektif. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa algoritma *Decision Tree* efektif digunakan untuk mengevaluasi tingkat kedisiplinan siswa berdasarkan data absensi digital. Penelitian ini menyarankan agar sekolah mengintegrasikan model klasifikasi ke dalam sistem monitoring kedisiplinan sebagai pendukung pengambilan keputusan. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menambah variabel lain atau membandingkan berbagai algoritma machine learning untuk meningkatkan performa model.

Kata Kunci : kedisiplinan siswa, absensi digital, Decision Tree, klasifikasi, machine learning.

INTRODUCTION

Kedisiplinan siswa sangat penting untuk proses pembelajaran karena membentuk iklim kelas, kehadiran, dan hubungan guru-siswa memengaruhi prestasi akademik, kesejahteraan psikososial, dan pemerataan hasil Pendidikan (S. A. Moore et al., 2022). Studi terbaru menunjukkan bahwa intervensi yang berfokus pada hubungan sosial dan empati dapat mengurangi hukuman eksklusif dan mengurangi perbedaan rasial dalam sanksi disiplin (Okonofua et al., 2022). Persepsi iklim sekolah, perilaku dan prestasi siswa juga berkorelasi dengan faktor kehadiran dan karakteristik struktural sekolah (Kearney et al., 2023). Selain itu, lingkungan kedisiplinan memengaruhi perilaku prososial yang dimediasi oleh dukungan sosial dan ketahanan psikologis, yang berkontribusi pada hubungan antara guru dan siswa tentang suasana sekolah (Hirata et al., 2024). Hasil menunjukkan bahwa praktik disiplin dan lingkungan sekolah adalah faktor utama dalam interpretasi dan hasil belajar analitik disiplin berbasis data digital.

Data absensi digital dapat berfungsi sebagai indikator perilaku disiplin dalam konteks digitalisasi pendidikan karena memungkinkan pengukuran kuantitatif terhadap kehadiran, keterlambatan, konsistensi, dan pola absensi siswa. Menurut penelitian jangka panjang, tingkat ketidakhadiran yang lebih tinggi berkorelasi negatif dengan prestasi akademik dan merupakan bukti masalah kedisiplinan yang lebih luas (Hirata et al., 2024). Kajian (Kearney et al., 2023) menunjukkan bahwa masalah kehadiran dapat menjadi sinyal awal dari masalah perilaku dan emosional siswa. Penelitian (Santoso et al., 2024) menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran mesin pada data absensi dapat mendeteksi pola kepatuhan siswa. Sementara itu, (Maulana et al., 2024) menunjukkan bahwa sistem absensi digital dengan pemantauan dan peringatan otomatis dalam waktu

nyata meningkatkan akuntabilitas dan responsivitas administrasi sekolah. Secara umum, algoritma seperti Decision Tree dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku kedisiplinan dari data absensi digital yang diolah secara sistematis. Ini akan menjadi dasar untuk membangun model evaluasi kedisiplinan di SMK Nahdhatul Umam.

Dari perspektif teknis, algoritma Decision Tree sangat cocok untuk analisis data pendidikan karena transparan, mudah untuk memahami aturan (rule extraction), dan dapat membuat klasifikasi yang mudah dipahami oleh praktisi. (S. Chen & Lin, 2023) menunjukkan bahwa mereka dapat mengkategorikan perilaku belajar di pendidikan tinggi berdasarkan karakteristik akademik, demografis, dan perilaku. Decision Tree digunakan oleh (Lee & Liu, 2021) untuk menilai intervensi pendidikan holistik untuk anak berkebutuhan khusus. Sementara (W. Wang, 2021) membuat sistem pendukung keputusan pendidikan berbasis Decision Tree untuk melacak kehadiran dan partisipasi siswa. Karena mudah dan efektif dalam memprediksi risiko siswa, analisis sistematis (Roslan & Chen, 2021) mengonfirmasi bahwa algoritma ini paling banyak digunakan dalam data mining pendidikan. Oleh karena itu, algoritma Decision Tree dinilai tepat untuk digunakan pada data absensi digital siswa SMK Nahdhatul Umam karena mampu membuat model evaluasi kedisiplinan yang dapat diukur, jelas, dan mudah diimplementasikan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat dan mengevaluasi model analitik berbasis algoritma Decision Tree untuk menentukan tingkat kedisiplinan siswa di SMK Nahdhatul Umam berdasarkan data absensi digital. Secara ilmiah, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah antara metode administratif tradisional dan metode analitik berbasis data yang lebih obyektif dalam menilai perilaku disiplin. Studi ini mendukung pengembangan manajemen sekolah berbasis data, di mana bukti empiris dari hasil pemodelan data akan mendukung pengambilan keputusan (Safitri et al., 2022). Diharapkan model ini dapat membantu institusi pendidikan mengidentifikasi pola

keterlambatan dan ketidakhadiran siswa sejak dini dan membuat solusi preventif yang lebih baik (Santoso et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya memberikan manfaat akademik untuk pendidikan Data Mining, tetapi juga menawarkan manfaat praktis untuk membantu mengelola disiplin siswa yang berbasis digital dan adaptif untuk era pendidikan 4.0.

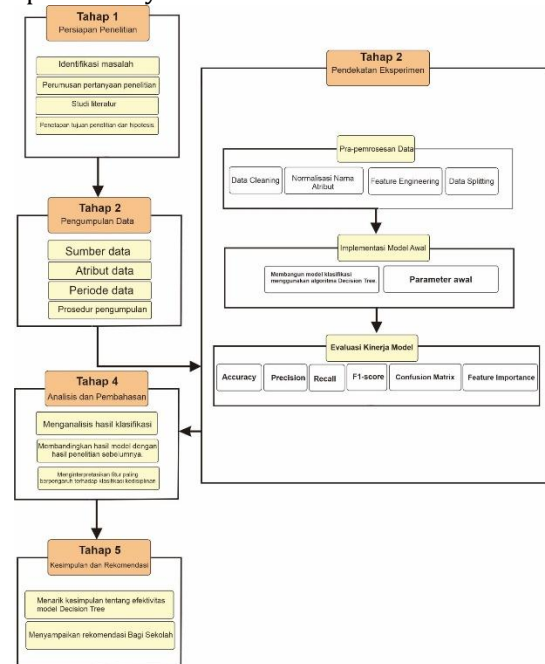
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental berbasis pembelajaran mesin. Sebelum dimasukkan ke dalam proses preprocessing, yang mencakup pembersihan, normalisasi, dan encoding, data absensi digital siswa dimasukkan ke dalam algoritma Decision Tree untuk membangun model klasifikasi kedisiplinan. Sebagaimana disarankan dalam penelitian analitik pendidikan oleh (W. Wang, 2021), evaluasi model dilakukan dengan metrik ketepatan, ketepatan, recall, dan skor F1. Metode ini memungkinkan peneliti untuk menghasilkan model yang tidak hanya akurat tetapi juga dapat ditafsirkan, karena struktur pohon keputusan memudahkan visualisasi aturan klasifikasi (if-then rules) yang dapat dipahami oleh sekolah (Safitri et al., 2022). Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan proses optimasi parameter untuk mendapatkan model yang optimal melalui pencarian grid. Metode ini sesuai dengan pendekatan terbaik untuk pembelajaran mesin pipeline Pendidikan (Santoso et al., 2024).

Apabila penelitian ini berhasil mencapai tujuannya, ia dapat memberikan kontribusi yang signifikan untuk pengembangan sistem informasi akademik dan analitik pembelajaran di sekolah menengah kejuruan. Menurut (Moodley et al., 2020), untuk melakukan evaluasi kedisiplinan siswa secara otomatis dan real-time, model klasifikasi berbasis Decision Tree dapat dimasukkan ke dalam sistem manajemen sekolah. Sementara itu, (Santoso et al., 2024) menekankan bahwa hasil penelitian seperti ini dapat meningkatkan pemahaman tentang bagaimana big data pendidikan dan algoritma pembelajaran mesin digunakan untuk mengidentifikasi pola perilaku berisiko pada siswa. Selain itu, studi ini juga dapat membantu guru dan wali kelas membuat dashboard interaktif untuk melacak kehadiran siswa dan mendukung kebijakan berbasis data institusi. Dalam konteks yang lebih luas, penelitian ini dapat membantu agenda pendidikan pintar di Indonesia dengan memasukkan analitik prediktif dan artificial intelligence ke dalam manajemen kedisiplinan siswa. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki dampak terhadap teori

dan praktik pengelolaan pendidikan di era digital.

MATERIALS AND METHODS

Desain penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan secara sistematis dan terstruktur seluruh proses pelaksanaan penelitian, mulai dari tahap perencanaan hingga tahap evaluasi hasil. Metode kuantitatif eksperimental berbasis data digunakan. Setiap tahap penelitian menghasilkan keluaran khusus yang berfungsi sebagai dasar bagi tahap berikutnya.



Gambar 1 Alur penelitian

Pada Tahap 1 (Persiapan Penelitian), peneliti melakukan identifikasi masalah yang akan dikaji, merumuskan pertanyaan penelitian, serta melakukan studi literatur untuk memperkuat landasan teori. Selain itu, pada tahap ini juga ditetapkan tujuan penelitian dan hipotesis yang akan diuji, sehingga arah penelitian menjadi jelas dan sistematis.

Selanjutnya, pada Tahap 2 (Pengumpulan Data), peneliti mengumpulkan data yang dibutuhkan dengan memperhatikan sumber data, atribut yang digunakan, periode data, serta prosedur pengumpulan data. Tahap ini sangat penting karena kualitas data akan sangat memengaruhi hasil analisis dan performa model yang akan dibangun.

Memasuki Tahap 3 (Pendekatan Eksperimen), dilakukan serangkaian proses pengolahan data sebelum pemodelan. Tahapan ini meliputi *data cleaning* untuk mengatasi data yang tidak lengkap atau tidak konsisten, *normalisasi* nama atribut agar seragam, *feature engineering* untuk meningkatkan kualitas fitur, serta *data splitting* untuk membagi data menjadi data latih dan data uji. Setelah itu,

dilakukan pembangunan model awal menggunakan algoritma Decision Tree dengan parameter awal yang telah ditentukan. Model yang dihasilkan kemudian dievaluasi menggunakan berbagai metrik kinerja seperti accuracy, precision, recall, F1-score, confusion matrix, dan feature importance untuk mengetahui seberapa baik model dalam melakukan prediksi.

Pada Tahap 4 (Analisis dan Pembahasan), hasil evaluasi model dianalisis secara mendalam dengan membandingkan performa model terhadap kondisi sebelumnya atau baseline. Peneliti juga mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap hasil klasifikasi serta memberikan interpretasi terhadap temuan yang diperoleh.

Terakhir, pada Tahap 5 (Kesimpulan dan Rekomendasi), peneliti menarik kesimpulan mengenai efektivitas model Decision Tree dalam menyelesaikan permasalahan yang diteliti. Selain itu, disampaikan pula rekomendasi yang dapat digunakan sebagai acuan bagi pihak terkait, seperti institusi atau peneliti selanjutnya, untuk pengembangan lebih lanjut atau penerapan model dalam konteks nyata.

RESULTS AND DISCUSSION

Untuk mengetahui proporsi setiap kategori kedisiplinan pada dataset, pemeriksaan distribusi target dilakukan. Distribusi ini sangat penting untuk memastikan bahwa data berada dalam kondisi seimbang atau tidak seimbang. Ini karena ketidakseimbangan kelas dapat memengaruhi bagaimana model Decision Tree bekerja selama proses klasifikasi.

Gambar 2 menunjukkan visual distribusi target. Siswa dalam kategori Disiplin lebih sedikit daripada siswa dalam kategori Kurang Disiplin, seperti yang ditunjukkan pada grafik. Meskipun tidak termasuk dalam kategori ketidakseimbangan ekstrem, ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan kelas.



Gambar 2 Distribusi Kategori Kedisiplinan Siswa

Tabel 1 berikut menampilkan perhitungan frekuensi dan persentase kelas untuk menjelaskan proporsi jumlah siswa pada masing-masing kategori. Nilai ini diperoleh dari dataset absensi digital yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 1 Frekuensi Setiap Kategori Kedisiplinan

No	Kategori Kedisiplinan	Jumlah Siswa	Persentase
1	Kurang Disiplin	540 siswa	56.2%
2	Disiplin	420 siswa	43.8%
Total	—	960 siswa	100%

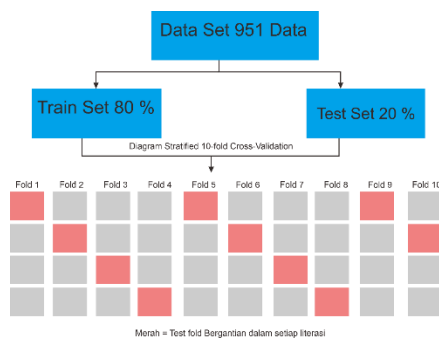
Berdasarkan tabel di atas: Kategori Kurang Disiplin mendominasi dataset (lebih dari 55%). Kategori Disiplin merupakan kelas minoritas (kurang dari 45%). Adanya ketidakseimbangan ini berpotensi membuat model cenderung memprediksi kelas mayoritas apabila tidak dilakukan evaluasi dan validasi yang tepat.

Ketidakseimbangan seperti ini dalam data perilaku dan kehadiran siswa dianggap wajar dalam penelitian machine learning modern. Dalam penelitian terbaru [1], penting untuk memahami distribusi target sebelum membuat model untuk: Evaluasi model tidak bias Penggunaan metrik performa yang tepat (misalnya *F1-score*, AUPRC) Model tidak hanya menghafal pola kelas mayoritas

Oleh karena itu, pemeriksaan distribusi target ini sangat penting sebelum pengujian model Decision Tree dengan data kedisiplinan siswa.

Pembagian Data Latih dan Uji

Tiga metode pembagian data digunakan dalam penelitian ini: Cross-Validation Stratified K-Fold ($K=10$), Repeated Stratified K-Fold tiga kali, dan metode hold-out 80/20 sebagai validasi tambahan. Mengingat dataset yang digunakan hanya berjumlah 951 data, teknik stratifikasi bertujuan untuk menjaga keseimbangan proporsi kelas pada setiap fold. Jika hanya menggunakan split satu bagian, seperti 70/30, model dapat mengalami bias karena distribusi kelas mungkin tidak merata. Akibatnya, metode cross-validation digunakan untuk memberikan estimasi performa yang lebih representatif dan stabil.



Gambar 3 Skema Pembagian Data Latih dan Uji.

Algoritma Decision Tree dipilih dalam penelitian ini karena memiliki sejumlah keunggulan yang relevan dengan kebutuhan analisis pada konteks pendidikan. Salah satu keunggulan utamanya adalah sifatnya yang interpretatif, di mana hasil model dapat dengan mudah diterjemahkan ke dalam bentuk aturan "IF-THEN" yang sederhana dan mudah dipahami. Hal ini menjadikan Decision Tree sangat cocok digunakan oleh guru maupun pihak sekolah yang mungkin tidak memiliki latar belakang teknis di bidang data science. Selain itu, algoritma ini mampu menangani variabel kategorikal tanpa memerlukan proses encoding yang kompleks, sehingga lebih efisien dalam pengolahan data. Decision Tree juga sangat sesuai untuk menganalisis data yang berkaitan dengan perilaku dan kehadiran siswa, karena mampu mengidentifikasi pola dan hubungan antar variabel secara jelas. Keunggulan lainnya adalah transparansi dalam proses pengambilan keputusan, sehingga setiap hasil prediksi dapat ditelusuri dan dijelaskan dengan mudah. Oleh karena itu, metode ini dinilai paling tepat untuk mendukung tujuan penelitian, yaitu memprediksi tingkat kedisiplinan siswa dalam konteks institusi pendidikan.

Pada tahap pengembangan model, dilakukan pengaturan parameter dan konfigurasi untuk mengoptimalkan kinerja algoritma Decision Tree. Hiperparameter utama yang dituning meliputi *max_depth* untuk mengontrol kedalaman pohon, *min_samples_split* dan *min_samples_leaf* untuk mengatur jumlah minimum sampel pada proses pembentukan node, *criterion* (Gini atau Entropy) sebagai dasar pengukuran kualitas split, serta *ccp_alpha* yang digunakan dalam proses *pruning* guna menghindari overfitting. Penyesuaian parameter-parameter ini bertujuan untuk mencapai keseimbangan antara akurasi,

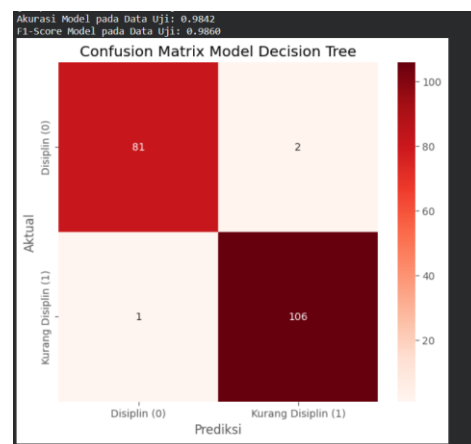
kemampuan generalisasi model terhadap data baru, serta tetap menjaga interpretabilitas model. Konfigurasi akhir yang digunakan merupakan hasil terbaik yang diperoleh melalui proses *cross-validation*, sehingga model yang dihasilkan lebih robust dan tidak hanya optimal pada data latih saja.

Hasil pelatihan model kemudian dievaluasi menggunakan berbagai metrik kinerja untuk memberikan gambaran yang komprehensif. Evaluasi mencakup akurasi training, confusion matrix untuk melihat distribusi prediksi, serta metrik precision, recall, dan F1-score yang menggambarkan keseimbangan antara kesalahan positif dan negatif. Selain itu, digunakan juga balanced accuracy untuk mengakomodasi ketidakseimbangan kelas, serta kurva ROC-AUC dan PR-AUC guna menilai kemampuan model dalam membedakan kelas. Analisis juga dilengkapi dengan feature importance untuk mengidentifikasi variabel yang paling berpengaruh dalam prediksi. Mengingat distribusi target yang tidak seimbang, interpretasi hasil tidak hanya berfokus pada akurasi, tetapi juga mempertimbangkan metrik lain seperti recall dan AUPRC agar evaluasi model menjadi lebih adil dan representatif.

Hasil Prediksi pada Data Uji

Berdasarkan hasil pengujian pada data uji (total 190 sampel), Model *Decision Tree* menunjukkan kinerja klasifikasi yang **sangat tinggi**. Hasil ini disajikan melalui matriks konfusi dan metrik evaluasi:

Metrik	Nilai
Akurasi Uji	98.42%
F1-score Uji	98.60%



Gambar Confusion Matrik

Prediksi kategori terbanyak berada pada kelas Tinggi Model menunjukkan kemampuan untuk mengklasifikasikan siswa pada dua

kategori kedisiplinan meskipun data target tidak seimbang.

CONCLUSION

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kedisiplinan siswa SMK Nahdhatul Umam dengan memanfaatkan data absensi digital sebagai dasar analisis. Data absensi digital diketahui memiliki potensi besar dalam menggambarkan perilaku kedisiplinan melalui pola kehadiran, keterlambatan, dan ketidakhadiran siswa, sebagaimana dinyatakan pada penelitian sebelumnya bahwa data kehadiran dapat menjadi indikator perilaku disiplin dan masalah akademik [2]. Hasil penelitian ini memperkuat temuan terdahulu yang menyatakan bahwa pola absensi dapat dianalisis secara sistematis menggunakan pendekatan machine learning [3].

Berdasarkan analisis terhadap 951 baris data absensi digital siswa pada bulan Oktober 2025, model Decision Tree berhasil dibangun dan menunjukkan performa yang sangat baik. Model tersebut mampu mengklasifikasikan tingkat kedisiplinan siswa ke dalam dua kategori, yaitu disiplin dan tidak disiplin, dengan akurasi sebesar **98.42%** dan *F1-score* sebesar **98.60%**. Hasil ini sejalan dengan studi-studi yang menyatakan bahwa algoritma Decision Tree merupakan metode yang efektif untuk klasifikasi berbasis data perilaku [4].

Model juga mengidentifikasi fitur yang paling berpengaruh terhadap tingkat kedisiplinan, yaitu *alfa*, *TL (menit)*, *TAM*, dan *TAP*. Temuan ini konsisten dengan penelitian lain yang menekankan bahwa faktor ketidakhadiran, keterlambatan, dan ketidakteraturan waktu sekolah merupakan indikator kedisiplinan yang signifikan [5]. Dengan demikian, penelitian ini mengonfirmasi efektivitas algoritma Decision Tree dalam mengevaluasi kedisiplinan berbasis data absensi digital, serta memberikan kontribusi penting dalam pengembangan praktik Educational Data Mining [6].

REFERENCE

- [1] W. Chen, K. Yang, Z. Yu, Y. Shi, and C. L. P. Chen, "A survey on imbalanced learning: Latest research, applications and future directions," *Artificial Intelligence Review*, vol. 57, p. 137, 2024, doi: 10.1007/s10462-024-10759-6.
- [2] M. Moore, "Classroom climate, attendance, and academic performance," 2022.
- [3] R. Moodley, F. Chiclana, J. Carter, and F. Caraffini, "Using data mining in

educational administration: A case study on improving school attendance," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 9, p. 3116, 2020, doi: 10.3390/app10093116.

- [4] T.-T. Huynh-Cam, L.-S. Chen, and H. Le, "Using decision trees and random forest algorithms to predict and determine factors contributing to first-year university students' learning performance," *Algorithms*, vol. 14, no. 11, p. 318, 2021, doi: 10.3390/a14110318.
- [5] K. Battista, K. A. Patte, L. Diao, J. A. Dubin, and S. T. Leatherdale, "Using decision trees to examine environmental and behavioural factors associated with youth anxiety, depression, and flourishing," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 17, p. 10873, 2022, doi: 10.3390/ijerph191710873.
- [6] H. Almaghrabi, B. Soh, A. Li, and I. Alsolbi, "SoK: The impact of educational data mining on organisational administration," *Information*, vol. 15, no. 11, p. 738, 2024, doi: 10.3390/info15110738.