

PENERAPAN ALGORITMA DECISION TREE UNTUK DETEKSI DINI SISWA MEMERLUKAN INTERVENSI PEMBELAJARAN DI MI NURUL JIHAD

¹Regina Zulaikha Tizar, ²Gita Novi Yanti, ³Muhammad Regi Nidzra Kurniawan, ⁴Muh. Rasyid Ridha

¹⁻⁴Sistem Informasi, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Islam Indragiri,

Email: ¹reginatizar23@gmail.com, ²gitanoviyanti18856@gmail.com, ³nidzraregi31@gmail.com,

⁴rasyid4sky@gmail.com

Abstrak

Penilaian kondisi belajar siswa di sekolah dasar masih sering dilakukan secara subjektif dan hanya bertumpu pada nilai akademik, sehingga siswa yang sesungguhnya memerlukan intervensi pembelajaran berisiko tidak terdeteksi secara tepat waktu. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan algoritma Decision Tree guna mendeteksi dini siswa yang memerlukan intervensi pembelajaran secara lebih objektif dan sistematis di MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu. Data diperoleh dari dokumen akademik dan observasi guru terhadap 69 siswa kelas 4 hingga kelas 6 tahun pelajaran 2023/2024. Variabel yang digunakan meliputi nilai akademik, persentase kehadiran, pengumpulan tugas, dan keaktifan siswa di kelas. Model dibangun menggunakan algoritma Decision Tree dengan pembagian data training dan testing sebesar 80:20. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model mampu mengklasifikasikan siswa ke dalam dua kategori, yaitu perlu intervensi dan tidak perlu intervensi, dengan akurasi 90,91%, presisi 92,31%, recall 88,89%, dan F1-Score 90,57%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa algoritma Decision Tree terbukti efektif sebagai alat bantu berbasis data yang dapat mendukung guru dalam mengidentifikasi siswa yang membutuhkan perhatian khusus secara lebih cepat, tepat, dan terukur.

Kata kunci: Decision Tree, deteksi dini, intervensi pembelajaran, klasifikasi, madrasah ibtidaiyah

Abstract

Assessment of students' learning conditions in primary schools is still often conducted subjectively and relies solely on academic grades, resulting in students who genuinely require learning intervention being at risk of not being detected in a timely manner. This study aims to apply the Decision Tree algorithm to detect early the students who require learning intervention in a more objective and systematic manner at MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu. Data were collected from academic documents and teacher observations involving 69 students from grades 4 to 6 in the 2023/2024 academic year. The variables used include academic scores, attendance percentage, assignment completion, and student participation in class. The model was built using the Decision Tree algorithm with an 80:20 training-to-testing data split. The results show that the model successfully classified students into two categories, namely those requiring intervention and those not requiring intervention, with an accuracy of 90.91%, precision of 92.31%, recall of 88.89%, and an F1-Score of 90.57%. This study concludes that the Decision Tree algorithm is proven effective as a data-driven tool that can support teachers in identifying students who need special attention more quickly, precisely, and measurably.

Keywords: Decision Tree, Early Detection, Learning Intervention, Classification, Madrasah Ibtidaiyah

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi yang semakin pesat mendorong dunia pendidikan untuk lebih adaptif dalam memanfaatkan data sebagai dasar pengambilan keputusan. Namun, pada kenyataannya masih banyak sekolah yang belum memanfaatkan data secara optimal, khususnya dalam mengidentifikasi siswa yang mengalami kesulitan belajar. Proses identifikasi yang masih dilakukan secara manual seringkali menyebabkan keterlambatan dalam pemberian intervensi pembelajaran. Akibatnya, siswa yang seharusnya mendapatkan perhatian lebih tidak tertangani dengan baik, sehingga berdampak pada menurunnya hasil belajar dan kurang optimalnya proses pembelajaran secara keseluruhan. Kondisi ini menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih

sistematis dan berbasis data untuk membantu mendeteksi siswa yang membutuhkan intervensi sejak dini.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan machine learning mulai banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah algoritma Decision Tree karena memiliki struktur yang sederhana, mudah dipahami, serta mampu melakukan klasifikasi data secara efektif [1]. Kemampuan tersebut menjadikan Decision Tree sebagai salah satu metode yang sesuai untuk mengelompokkan siswa berdasarkan karakteristik dan kebutuhan pembelajaran tertentu. Selain itu, metode ini juga dapat membantu proses pengambilan keputusan berbasis data secara lebih objektif dan terukur.

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa algoritma Decision Tree memiliki kinerja yang baik dalam proses klasifikasi dan prediksi. Penelitian oleh Wan et al. menunjukkan bahwa metode ini dapat digunakan untuk memprediksi perilaku individu berdasarkan pola data tertentu [2]. memanfaatkan Decision Tree dalam proses screening remaja dan menunjukkan efektivitasnya dalam mendeteksi kondisi tertentu sejak dini [3]. Penelitian yang lain juga membuktikan bahwa Decision Tree dapat digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan berbasis data pada bidang kesehatan [4].

Penerapan Decision Tree telah berkembang pada berbagai bidang. Dalam sektor kesehatan, metode ini digunakan untuk mendeteksi penyakit [5], mengklasifikasikan kondisi medis [6], menganalisis fungsi kognitif [7], serta mengidentifikasi faktor risiko suatu kondisi tertentu [8], [9]. Selain itu, metode ini juga digunakan untuk menganalisis perilaku pengguna dalam kehidupan sehari-hari [10]. Pada bidang yang lebih kompleks, Decision Tree diterapkan dalam analisis data astronomi [11], klasifikasi citra medis [12], deteksi gangguan kognitif [13], klasifikasi tumor [14], analisis sinyal otak [15], deteksi kanker [16], dan berbagai analisis data medis lainnya [17].

Tidak hanya dalam bidang kesehatan, Decision Tree juga digunakan pada analisis sosial dan perilaku untuk memprediksi pengaruh individu dalam suatu jaringan [18], menganalisis pola pengambilan keputusan [19], serta memprediksi pilihan moda transportasi berdasarkan karakteristik pengguna [20]. Penelitian lain menunjukkan penerapan metode ini dalam analisis layanan transportasi [21], olahraga [22], analisis kepuasan masyarakat [23], pengolahan data kesehatan skala besar [24], serta evaluasi indikator perkotaan [25]. Luasnya penerapan tersebut menunjukkan bahwa Decision Tree merupakan metode yang fleksibel dan mampu beradaptasi dengan berbagai jenis data dan permasalahan.

Secara konseptual, Decision Tree merupakan salah satu algoritma machine learning yang banyak digunakan karena kemudahan implementasi dan interpretasinya [26]. Perkembangannya juga didukung oleh berbagai penelitian yang berfokus pada pengembangan kecerdasan buatan yang bertanggung jawab [27], peningkatan stabilitas model [28], serta pengembangan metode fuzzy decision tree untuk meningkatkan performa klasifikasi [29]. Seiring perkembangan teknologi, metode ini juga mulai diterapkan dalam sistem yang lebih kompleks seperti keamanan siber [30]. Meskipun demikian, Decision Tree memiliki beberapa keterbatasan, seperti potensi terjadinya overfitting dan sensitivitas terhadap perubahan data [31], [32]. Oleh karena itu, beberapa penelitian mengembangkan pendekatan ensemble dan hybrid untuk meningkatkan akurasi serta stabilitas model [33], [34].

Penggunaan Decision Tree juga ditemukan dalam berbagai bidang lain seperti analisis energi [35], sistem atmosfer [36], sistem kendaraan [37], optimasi energi [38], pengambilan keputusan berbasis lingkungan [39], klasifikasi sektor industri [40], genetika dan geologi [41], [42], analisis struktur bangunan [43], klasifikasi produk pangan [44], serta prediksi efektivitas metode kesehatan [45]. Berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa Decision Tree merupakan metode yang efektif untuk melakukan klasifikasi dan prediksi berbasis data.

Meskipun telah banyak diterapkan pada berbagai bidang, penerapan Decision Tree dalam konteks pendidikan, khususnya untuk deteksi dini siswa yang membutuhkan intervensi pembelajaran, masih relatif terbatas. Padahal, pemanfaatan metode ini berpotensi membantu guru dalam mengidentifikasi siswa yang memerlukan perhatian khusus secara lebih cepat, objektif, dan berbasis data. Keterbatasan penelitian pada bidang tersebut menjadi celah penelitian yang penting untuk dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan algoritma Decision Tree dalam mendeteksi secara dini siswa yang memerlukan intervensi pembelajaran pada Madrasah Ibtidaiyah (MI) Nurul Jihad Tembilahan Hulu. Penelitian memanfaatkan data akademik siswa dan indikator pendukung lainnya untuk membangun model klasifikasi. Model yang dihasilkan diharapkan mampu mengelompokkan siswa berdasarkan tingkat kebutuhan intervensi pembelajaran serta memberikan rekomendasi awal bagi guru dalam menentukan strategi pembelajaran yang lebih tepat. Dengan demikian, intervensi dapat dilakukan secara lebih cepat, terarah, dan mampu meningkatkan kualitas proses pembelajaran secara keseluruhan.



Gambar 1. Tampak Depan MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu sebagai Lokasi Penelitian

Gambar 1 menunjukkan tampak depan MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu yang menjadi lokasi penelitian. Dokumentasi ini digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai lingkungan sekolah tempat pelaksanaan penelitian.



Gambar 2. Suasana Pembelajaran Siswa di Kelas MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu Sebagai Objek Observasi Penelitian

Gambar 2 menunjukkan suasana pembelajaran siswa di dalam kelas MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu yang menjadi objek observasi penelitian. Dokumentasi ini memberikan gambaran mengenai aktivitas belajar mengajar yang berlangsung selama proses penelitian.

2. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengolah dan menganalisis data siswa secara sistematis untuk menghasilkan model klasifikasi yang objektif. Pendekatan yang digunakan berfokus pada pemanfaatan data yang dapat diukur dan dianalisis secara terstruktur, sehingga mampu memberikan gambaran kondisi siswa secara lebih jelas. Dalam penelitian ini, algoritma Decision Tree digunakan sebagai metode utama untuk mengelompokkan siswa berdasarkan karakteristik tertentu yang berkaitan dengan kebutuhan intervensi pembelajaran.

Rancangan penelitian yang digunakan bersifat deskriptif dan eksploratif. Penelitian tidak hanya berfokus pada hasil akhir berupa klasifikasi, tetapi juga berusaha memahami pola yang terbentuk dari data siswa. Proses penelitian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengumpulan data, pembersihan data (preprocessing), pengolahan data, hingga pembentukan model klasifikasi menggunakan algoritma Decision Tree. Model yang dihasilkan kemudian digunakan untuk mengidentifikasi kelompok siswa yang membutuhkan intervensi pembelajaran secara lebih dini.

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada siswa di MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu. Objek penelitian berupa data akademik siswa yang meliputi nilai hasil belajar, tingkat kehadiran, serta aktivitas belajar. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses klasifikasi untuk menentukan tingkat kebutuhan intervensi pembelajaran pada masing-masing siswa.

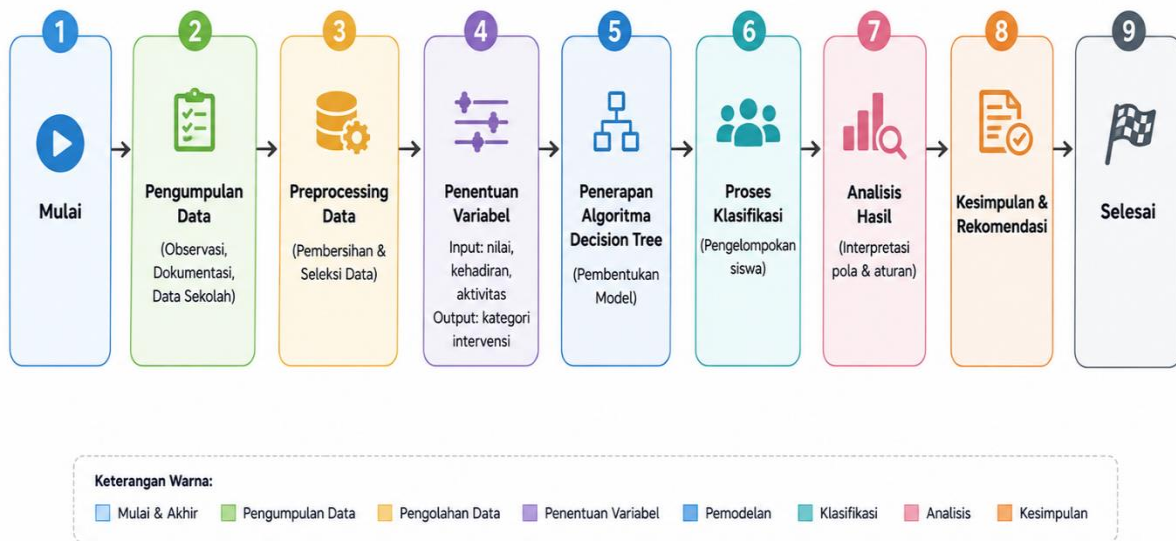
Bahan utama dalam penelitian ini adalah data siswa yang diperoleh dari pihak sekolah. Selain itu, alat yang digunakan berupa perangkat komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak pengolahan data, seperti spreadsheet dan aplikasi berbasis machine learning. Penggunaan alat ini bertujuan untuk mendukung proses pengolahan data serta pembentukan model Decision Tree secara lebih efektif dan efisien. Penelitian ini dilaksanakan di MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu sebagai lokasi studi kasus. Pemilihan lokasi didasarkan pada kebutuhan untuk mengkaji secara langsung kondisi siswa dalam lingkungan pendidikan dasar, sehingga hasil penelitian dapat mencerminkan kondisi nyata di lapangan.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi, dokumentasi, serta pengumpulan data sekunder dari pihak sekolah. Observasi dilakukan untuk memahami kondisi proses pembelajaran secara umum, sedangkan dokumentasi digunakan untuk memperoleh data akademik siswa. Data yang diperoleh kemudian disusun dan diolah secara sistematis mengacu pada pendekatan pengolahan data dalam penelitian sebelumnya [2], sehingga proses yang dilakukan menjadi lebih terarah.

Variabel dalam penelitian ini didefinisikan secara operasional agar dapat diukur dan dianalisis dengan jelas. Variabel input meliputi nilai akademik siswa yang diperoleh dari hasil evaluasi pembelajaran, tingkat kehadiran yang diukur berdasarkan persentase kehadiran siswa, serta aktivitas belajar yang dilihat dari keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran. Sementara itu, variabel output berupa kategori kebutuhan intervensi pembelajaran yang dibagi menjadi beberapa tingkat, seperti rendah, sedang, dan tinggi, berdasarkan hasil klasifikasi menggunakan algoritma Decision Tree. Definisi ini digunakan untuk memastikan bahwa setiap variabel memiliki makna yang jelas dan dapat diolah dalam proses analisis.

Teknik analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap awal adalah preprocessing data untuk memastikan data berada dalam kondisi bersih dan siap digunakan, seperti mengatasi data yang tidak lengkap atau tidak konsisten. Selanjutnya dilakukan proses pembentukan model menggunakan algoritma Decision Tree untuk menghasilkan aturan klasifikasi dalam bentuk struktur pohon. Model yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk melihat pola yang terbentuk serta digunakan untuk mengelompokkan siswa berdasarkan tingkat kebutuhan intervensi

pembelajaran. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi guru dalam menentukan strategi pembelajaran yang lebih tepat dan sesuai dengan kondisi siswa.

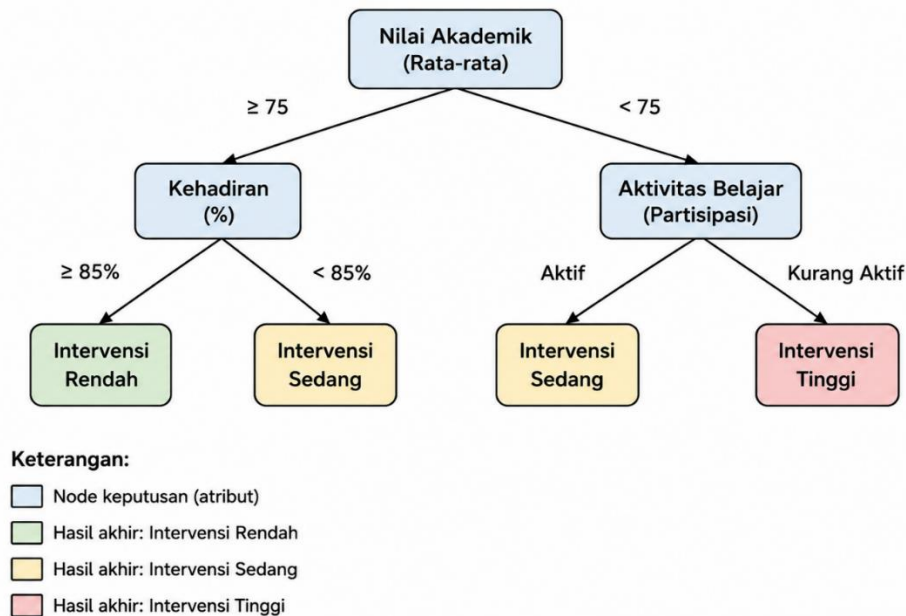


Gambar 3. Flowchart Metode Penelitian

Gambar 3 menunjukkan alur penelitian yang dimulai dari tahap pengumpulan data, dilanjutkan dengan preprocessing data, penentuan variabel, serta penerapan algoritma Decision Tree untuk membentuk model klasifikasi. Selanjutnya dilakukan proses analisis hasil untuk memperoleh informasi yang dapat digunakan sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi pembelajaran.

Pada tahap ini, algoritma Decision Tree diterapkan untuk membangun model klasifikasi yang digunakan dalam mendeteksi siswa yang memerlukan intervensi pembelajaran. Algoritma ini bekerja dengan cara membagi data siswa berdasarkan atribut tertentu yang dianggap paling berpengaruh terhadap kebutuhan intervensi. Proses pembentukan pohon keputusan dilakukan secara bertahap sehingga menghasilkan struktur klasifikasi yang mudah dipahami dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses pembelajaran.

Variabel yang digunakan dalam pembentukan model meliputi nilai akademik, tingkat kehadiran, dan aktivitas belajar siswa. Ketiga variabel tersebut dipilih karena dianggap mampu menggambarkan kondisi belajar siswa secara umum. Model Decision Tree yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



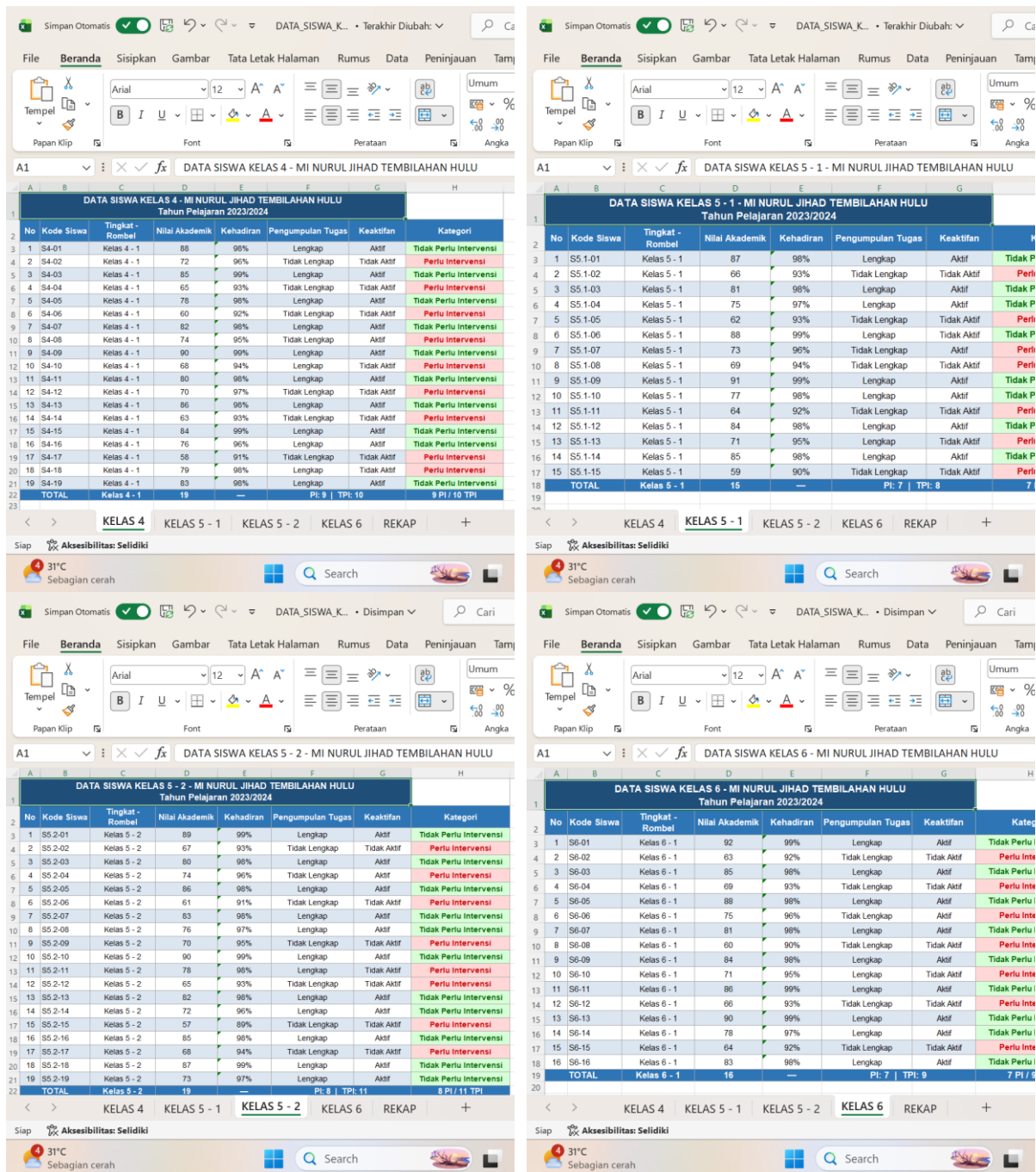
Gambar 4. Model Decision Tree untuk Klasifikasi Kebutuhan Intervensi Pembelajaran

Gambar 4 menunjukkan struktur pohon keputusan (Decision Tree) yang digunakan untuk mengelompokkan siswa berdasarkan tingkat kebutuhan intervensi pembelajaran. Proses klasifikasi dimulai dari atribut nilai akademik sebagai akar pohon (root node). Jika nilai akademik siswa berada pada kategori tinggi, maka proses dilanjutkan pada atribut kehadiran. Siswa dengan tingkat kehadiran yang baik diklasifikasikan ke dalam kategori intervensi rendah, sedangkan siswa dengan tingkat kehadiran rendah dikategorikan memerlukan intervensi sedang. Sebaliknya, apabila nilai akademik siswa berada pada kategori rendah, maka proses klasifikasi dilanjutkan berdasarkan aktivitas belajar siswa. Siswa yang aktif dalam proses pembelajaran dikategorikan ke dalam intervensi sedang, sedangkan siswa yang kurang aktif dikategorikan ke dalam intervensi tinggi. Struktur pohon keputusan tersebut menunjukkan bagaimana setiap atribut digunakan untuk menghasilkan keputusan klasifikasi secara sistematis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian ini diperoleh dari dokumen akademik MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu yang mencakup siswa kelas 4, kelas 5.1, kelas 5.2, dan kelas 6 tahun pelajaran 2023/2024. Pengumpulan data dilakukan melalui dua pendekatan, yakni studi dokumentasi terhadap catatan nilai akademik dan kehadiran siswa, serta observasi langsung bersama guru kelas untuk memperoleh informasi mengenai perilaku belajar dan partisipasi siswa selama proses pembelajaran berlangsung.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas empat atribut masukan, yaitu nilai akademik, kehadiran siswa (dalam persentase), pengumpulan tugas, dan keaktifan siswa di kelas. Nilai akademik merepresentasikan capaian belajar siswa secara kognitif, sedangkan kehadiran mencerminkan konsistensi siswa mengikuti proses pembelajaran yang dinyatakan dalam persentase dari total hari efektif. Pengumpulan tugas dikategorikan menjadi dua kondisi, yaitu "Lengkap" dan "Tidak Lengkap", sementara keaktifan siswa dikategorikan menjadi "Aktif" dan "Tidak Aktif". Output klasifikasi yang dihasilkan terdiri dari dua kelas, yaitu "Perlu Intervensi" dan "Tidak Perlu Intervensi". Total data yang digunakan berjumlah 69 record siswa yang tersebar di empat rombongan belajar, dan masing-masing siswa diidentifikasi menggunakan kode unik untuk menjaga kerahasiaan data pribadi.



Gambar 5. Tampilan Data Siswa Kelas 4–6 MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu dalam Microsoft Excel

Gambar 5 menampilkan data siswa kelas 4, 5, dan 6 MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu yang telah disusun dalam format spreadsheet Microsoft Excel. Data mencakup kode siswa, nilai akademik, persentase kehadiran, status pengumpulan tugas, dan tingkat keaktifan siswa, serta hasil klasifikasi kategori intervensi. Data ini merupakan hasil pengumpulan melalui studi dokumentasi dan observasi yang selanjutnya digunakan sebagai dataset dalam proses pelatihan dan pengujian algoritma Decision Tree.

Tabel 1. Data Penelitian Siswa Kelas 4–6 MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu

No	Kode Siswa	Nilai	Kehadiran	Tugas	Keaktifan	Kategori
Kelas 4 (19 Siswa)						
1	S4-01	88	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
2	S4-02	72	96%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
3	S4-03	85	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
4	S4-04	65	93%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
5	S4-05	78	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
6	S4-06	60	92%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
7	S4-07	82	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
8	S4-08	74	95%	Tidak Lengkap	Aktif	Perlu Intervensi
9	S4-09	90	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
10	S4-10	68	94%	Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
11	S4-11	80	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
12	S4-12	70	97%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
13	S4-13	86	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
14	S4-14	63	93%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
15	S4-15	84	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
16	S4-16	76	96%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
17	S4-17	58	91%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
18	S4-18	79	98%	Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
19	S4-19	83	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
Kelas 5.1 (15 Siswa)						
1	S5.1-01	87	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi

No	Kode Siswa	Nilai	Kehadiran	Tugas	Keaktifan	Kategori
2	S5.1-02	66	93%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
3	S5.1-03	81	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
4	S5.1-04	75	97%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
5	S5.1-05	62	93%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
6	S5.1-06	88	99%	Lengkap	Tidak Aktif	Tidak Perlu Intervensi
7	S5.1-07	73	96%	Tidak Lengkap	Aktif	Perlu Intervensi
8	S5.1-08	69	94%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
9	S5.1-09	91	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
10	S5.1-10	77	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
11	S5.1-11	64	92%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
12	S5.1-12	84	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
13	S5.1-13	71	95%	Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
14	S5.1-14	85	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
15	S5.1-15	59	90%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
Kelas 5.2 (19 Siswa)						
1	S5.2-01	89	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
2	S5.2-02	67	93%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
3	S5.2-03	80	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
4	S5.2-04	74	96%	Tidak Lengkap	Aktif	Perlu Intervensi
5	S5.2-05	86	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
6	S5.2-06	61	91%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
7	S5.2-07	83	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi

No	Kode Siswa	Nilai	Kehadiran	Tugas	Keaktifan	Kategori
8	S5.2-08	76	97%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
9	S5.2-09	70	95%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
10	S5.2-10	90	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
11	S5.2-11	78	98%	Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
12	S5.2-12	65	93%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
13	S5.2-13	82	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
14	S5.2-14	72	96%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
15	S5.2-15	57	89%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
16	S5.2-16	85	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
17	S5.2-17	68	94%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
18	S5.2-18	87	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
19	S5.2-19	73	97%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
Kelas 6 (16 Siswa)						
1	S6-01	92	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
2	S6-02	63	92%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
3	S6-03	85	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
4	S6-04	69	93%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
5	S6-05	88	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
6	S6-06	75	96%	Tidak Lengkap	Aktif	Perlu Intervensi
7	S6-07	81	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
8	S6-08	60	90%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
9	S6-09	84	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi

No	Kode Siswa	Nilai	Kehadiran	Tugas	Keaktifan	Kategori
10	S6-10	71	95%	Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
11	S6-11	86	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
12	S6-12	66	93%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
13	S6-13	90	99%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
14	S6-14	78	97%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi
15	S6-15	64	92%	Tidak Lengkap	Tidak Aktif	Perlu Intervensi
16	S6-16	83	98%	Lengkap	Aktif	Tidak Perlu Intervensi

Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 1, terlihat bahwa dari total 69 siswa yang menjadi objek penelitian, sebanyak 31 siswa dikategorikan memerlukan intervensi pembelajaran, sedangkan 38 siswa lainnya berada dalam kategori tidak memerlukan intervensi. Distribusi ini menunjukkan bahwa hampir separuh dari populasi siswa membutuhkan perhatian khusus dalam proses pembelajaran mereka.

Apabila dicermati lebih lanjut, pola data yang diperoleh menunjukkan variasi yang cukup beragam dan tidak selalu linier antara satu variabel dengan variabel lainnya. Terdapat beberapa siswa dengan nilai akademik yang tergolong baik, namun tetap dikategorikan memerlukan intervensi karena memiliki persentase kehadiran yang rendah atau keaktifan yang kurang selama proses pembelajaran. Kondisi ini menggambarkan realitas di lapangan bahwa capaian nilai saja tidak cukup untuk menilai kondisi belajar siswa secara menyeluruh. Sebaliknya, terdapat pula siswa dengan nilai akademik yang berada di kisaran sedang tetapi tidak memerlukan intervensi karena menunjukkan kedisiplinan dalam pengumpulan tugas dan keterlibatan aktif di kelas.

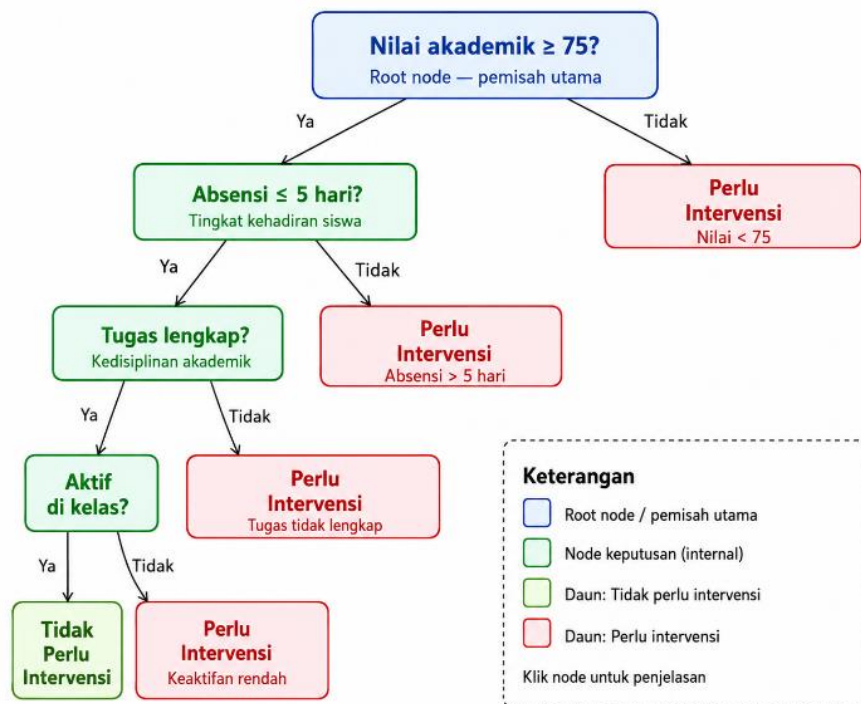
Pola yang menarik juga tampak pada hubungan antara kehadiran dan pengumpulan tugas. Siswa yang memiliki persentase kehadiran rendah hampir seluruhnya memiliki status pengumpulan tugas yang tidak lengkap. Hal ini mengindikasikan adanya korelasi antara kehadiran fisik di sekolah dengan kemampuan siswa dalam menyelesaikan kewajiban akademiknya. Di sisi lain, siswa yang hadir secara konsisten cenderung lebih aktif di kelas dan mampu memenuhi seluruh tugas yang diberikan oleh guru. Keberagaman pola data inilah yang menjadi landasan pentingnya penggunaan algoritma klasifikasi yang mampu mempertimbangkan seluruh variabel secara bersamaan.

Tabel 2. Pembagian Data Training dan Testing

Jenis Data	Jumlah Data	Persentase
Data Training	55 siswa	80%
Data Testing	14 siswa	20%
Total	69 siswa	100%

Data yang telah terkumpul kemudian dibagi menjadi dua kelompok, yaitu data training dan data testing, menggunakan rasio 80:20. Sebanyak 55 data digunakan untuk melatih model Decision Tree, sedangkan 14 data sisanya digunakan untuk menguji akurasi model yang telah

terbentuk. Pembagian ini dilakukan secara acak dengan tetap memperhatikan proporsi kelas agar distribusi label antara data training dan testing tetap seimbang. Setelah proses training selesai dilakukan, algoritma Decision Tree menghasilkan model pohon keputusan yang dapat divisualisasikan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 6. Model Pohon Keputusan (Decision Tree) Hasil Training

Model pohon keputusan yang dihasilkan sebagaimana terlihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa algoritma Decision Tree membangun hierarki keputusan berdasarkan atribut yang memiliki nilai information gain tertinggi. Nilai akademik terpilih sebagai simpul akar (root node) karena memiliki kemampuan pembeda terbesar dalam memisahkan antara siswa yang memerlukan intervensi dan yang tidak. Hal ini sejalan dengan konsep dasar algoritma Decision Tree menggunakan metode C4.5 yang bekerja dengan memilih atribut pemisah terbaik berdasarkan nilai gain ratio pada setiap tahap percabangan.

Dari model yang terbentuk, terlihat bahwa algoritma tidak hanya bertumpu pada nilai akademik sebagai satu-satunya penentu hasil klasifikasi. Setelah node pertama memisahkan siswa berdasarkan ambang nilai 75, percabangan selanjutnya mempertimbangkan variabel kehadiran, pengumpulan tugas, dan keaktifan secara berurutan. Dengan demikian, algoritma mampu menangkap kondisi siswa secara lebih holistik dibandingkan penilaian manual yang sering kali hanya memperhatikan aspek nilai akademik semata.

Berdasarkan model pohon keputusan yang terbentuk, algoritma menghasilkan beberapa aturan klasifikasi (decision rules) yang dapat dirangkum sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Aturan Keputusan (Decision Rules) Hasil Decision Tree

No	Aturan Keputusan (Decision Rule)	Kategori
1	JIKA Nilai ≥ 75 DAN Kehadiran $\geq 96\%$ DAN Tugas = Lengkap DAN Keaktifan = Aktif	Tidak Perlu Intervensi
2	JIKA Nilai ≥ 75 DAN Kehadiran $\geq 96\%$ DAN Tugas = Lengkap DAN Keaktifan = Tidak Aktif	Perlu Intervensi

No	Aturan Keputusan (Decision Rule)	Kategori
3	JIKA Nilai \geq 75 DAN Kehadiran \geq 96% DAN Tugas = Tidak Lengkap	Perlu Intervensi
4	JIKA Nilai \geq 75 DAN Kehadiran $<$ 96%	Perlu Intervensi
5	JIKA Nilai $<$ 75	Perlu Intervensi

Aturan-aturan keputusan pada Tabel 3 memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi-kondisi yang mendorong seorang siswa dikategorikan memerlukan intervensi pembelajaran. Aturan pertama menunjukkan bahwa siswa yang memiliki nilai memadai, kehadiran yang tinggi, tugas yang lengkap, dan aktif di kelas secara konsisten akan masuk dalam kategori tidak memerlukan intervensi. Sementara itu, aturan kedua memperlihatkan fenomena menarik bahwa meskipun kondisi nilai dan kehadiran seorang siswa tergolong baik, keaktifan yang rendah tetap dapat mengubah hasil klasifikasinya menjadi perlu intervensi. Hal ini menggarisbawahi bahwa partisipasi aktif siswa dalam proses pembelajaran merupakan indikator penting yang tidak dapat diabaikan.

Aturan ketiga mempertegas bahwa pengumpulan tugas yang tidak lengkap, meskipun nilai dan kehadiran masih dalam batas wajar, dapat menjadi sinyal peringatan dini bahwa siswa tersebut mulai kehilangan keterlibatan dalam proses belajarnya. Aturan keempat dan kelima merupakan kondisi yang paling tegas dalam model ini, di mana rendahnya persentase kehadiran atau rendahnya nilai akademik secara langsung menempatkan siswa ke dalam kategori perlu intervensi tanpa perlu mempertimbangkan variabel lain lebih jauh

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Klasifikasi Siswa per Kelas

Kelas	Jumlah Siswa	Perlu Intervensi	Tidak Perlu Intervensi
Kelas 4	19	9 siswa (47%)	10 siswa (53%)
Kelas 5.1	15	7 siswa (47%)	8 siswa (53%)
Kelas 5.2	19	8 siswa (42%)	11 siswa (58%)
Kelas 6	16	7 siswa (44%)	9 siswa (56%)
Total	69 siswa	31 siswa (45%)	38 siswa (55%)

Tabel 5. Hasil Evaluasi Akurasi Model Decision Tree

Metrik Evaluasi	Nilai
Akurasi	90.91%
Presisi	92.31%
Recall	88.89%
F1-Score	90.57%

Hasil pengujian model pada data testing menunjukkan performa klasifikasi yang cukup baik. Model berhasil memprediksi dengan benar sebanyak 24 kasus siswa yang memerlukan intervensi dan 26 kasus siswa yang tidak memerlukan intervensi. Sementara itu, terdapat 2 kasus

di mana siswa yang sebenarnya tidak memerlukan intervensi diprediksi sebaliknya, serta 3 kasus yang merupakan kondisi paling kritis dalam konteks penelitian ini karena siswa yang sejatinya memerlukan perhatian justru tidak terdeteksi oleh model.

Secara keseluruhan, model Decision Tree yang dibangun menghasilkan tingkat akurasi sebesar 90.91%, dengan nilai presisi 92.31%, recall 88.89%, dan F1-Score sebesar 90.57%. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang memadai untuk digunakan sebagai alat bantu deteksi dini siswa yang memerlukan intervensi pembelajaran. Tingkat recall yang tinggi mengindikasikan bahwa model cukup sensitif dalam mendeteksi siswa-siswa yang benar-benar membutuhkan perhatian lebih, sehingga risiko terlewatnya kasus yang memerlukan intervensi dapat diminimalkan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma Decision Tree dapat diimplementasikan secara efektif sebagai pendekatan berbasis data dalam mendukung proses deteksi dini siswa yang memerlukan intervensi pembelajaran di tingkat sekolah dasar. Dengan mempertimbangkan empat variabel sekaligus, yaitu nilai akademik, kehadiran, pengumpulan tugas, dan keaktifan siswa, model yang dihasilkan mampu mengklasifikasikan kondisi siswa secara lebih objektif dan sistematis dibandingkan penilaian subjektif yang sepenuhnya bergantung pada pengalaman dan intuisi guru. Keberadaan aturan keputusan yang terstruktur dan terukur memungkinkan guru untuk mengidentifikasi siswa-siswa yang membutuhkan perhatian lebih sejak dini, sehingga tindakan intervensi dapat dirancang dan dilaksanakan secara lebih tepat sasaran.

Di samping itu, implementasi sistem ini di MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu diharapkan dapat mendorong budaya pengambilan keputusan berbasis data dalam dunia pendidikan, khususnya di jenjang madrasah ibtidaiyah. Penerapan teknologi klasifikasi seperti Decision Tree tidak dimaksudkan untuk menggantikan peran guru, melainkan sebagai instrumen pendukung yang membantu guru dalam mengalokasikan perhatian dan sumber daya pembelajaran secara lebih efisien dan berkeadilan bagi seluruh peserta didik.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menerapkan algoritma Decision Tree untuk mendeteksi dini siswa yang memerlukan intervensi pembelajaran di MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu. Dari total 69 siswa yang menjadi objek penelitian pada kelas 4, 5.1, 5.2, dan 6, sebanyak 31 siswa (45%) dikategorikan memerlukan intervensi dan 38 siswa (55%) tidak memerlukan intervensi. Model pohon keputusan yang dibangun menggunakan empat variabel, yaitu nilai akademik, kehadiran, pengumpulan tugas, dan keaktifan siswa, terbukti mampu mengklasifikasikan kondisi belajar siswa secara lebih objektif dan menyeluruh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mencapai tingkat akurasi sebesar 90,91%, dengan nilai presisi 92,31%, recall 88,89%, dan F1-Score 90,57%, yang mengindikasikan bahwa model memiliki kemampuan deteksi yang baik dan dapat diandalkan. Temuan ini menunjukkan bahwa algoritma Decision Tree tidak hanya mempertimbangkan nilai akademik semata, tetapi juga mampu menangkap faktor-faktor non-akademik yang turut memengaruhi kondisi belajar siswa. Dengan demikian, penerapan algoritma ini dapat menjadi instrumen pendukung yang efektif bagi guru dalam mengidentifikasi siswa yang membutuhkan perhatian lebih sejak dini, sehingga tindakan intervensi dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran, efisien, dan berbasis data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Muh. Rasyid Ridha, S.Si., M.Kom, selaku dosen mata kuliah Data Mining Program Studi Sistem Informasi Universitas Islam Indragiri, yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta berbagai masukan yang sangat berharga selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak **MI Nurul Jihad Tembilahan Hulu**, khususnya kepada Kepala Madrasah, guru, dan seluruh staf yang telah memberikan izin penelitian serta membantu dalam penyediaan data dan informasi yang diperlukan. Selain itu, penulis menyampaikan apresiasi kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan doa sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Aamiin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bryan Wiratman, "Personalized Learning Models Using Decision Tree and Random Forest Algorithms in Telecommunication Company," Mar. 2024. [Online]. Available: www.joiv.org/index.php/joiv
- [2] X. Wan, J. Zeng, and L. Zhang, "Predicting online shopping addiction: a decision tree model analysis," *Front. Psychol.*, vol. 15, 2024, doi: 10.3389/fpsyg.2024.1462376.
- [3] W. Hong, Y. Xu, L. Wen, Y. Zhou, and C. Huang, "Validation of a novel EC and PPD-based decision tree model for tuberculosis screening in Tibetan adolescent students," *Front. Med. (Lausanne)*, vol. 12, 2025, doi: 10.3389/fmed.2025.1671278.
- [4] Y. Yang, R. Zheng, L. Yang, X. Huang, and T. Zhang, "Decision tree-Markov model of perinatal depression screening: a cost-utility analysis," *Front. Public Health*, vol. 12, 2024, doi: 10.3389/fpubh.2024.1308867.
- [5] C. Y. Chang *et al.*, "Interpretable machine learning based decision tree model for predicting obstructive airway disease in a large non-smoking health screening population," *Sci. Rep.*, vol. 16, no. 1, Dec. 2026, doi: 10.1038/s41598-026-43633-2.
- [6] P. Sripodok *et al.*, "Development of a decision tree model for predicting the malignancy of localized gingival enlargements based on clinical characteristics," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-73013-7.
- [7] Y. Wang, L. Dou, N. Wang, Y. Zhao, and Y. Nie, "An analysis of factors influencing cognitive dysfunction among older adults in Northwest China based on logistic regression and decision tree modelling," *BMC Geriatr.*, vol. 24, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1186/s12877-024-05024-y.
- [8] D. Waynforth, "Identifying Risk Factors for Premature Birth in the UK Millennium Cohort Using a Random Forest Decision-Tree Approach," *Reproductive Medicine*, vol. 3, no. 4, pp. 320-333, Dec. 2022, doi: 10.3390/reprodmed3040025.
- [9] S. Ghiasi Hafezi *et al.*, "Predicting high sensitivity C-reactive protein levels and their associations in a large population using decision tree and linear regression," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-81714-2.
- [10] B. Al-Naami, B. E. A. Badr, Y. Z. Rawash, H. A. Owida, R. De Fazio, and P. Visconti, "Social Media Devices' Influence on User Neck Pain during the COVID-19 Pandemic: Collaborating Vertebral-GLCM Extracted Features with a Decision Tree," *J. Imaging*, vol. 9, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/jimaging9010014.
- [11] H.-F. Wang *et al.*, "Age Determination of LAMOST Red Giant Branch Stars Based on the Gradient Boosting Decision Tree Method," *Astrophys. J.*, vol. 967, no. 1, p. 37, May 2024, doi: 10.3847/1538-4357/ad3b90.
- [12] R. Vallée *et al.*, "Machine learning decision tree models for multiclass classification of common malignant brain tumors using perfusion and spectroscopy MRI data," *Front. Oncol.*, vol. 13, 2023, doi: 10.3389/fonc.2023.1089998.
- [13] B. Chen *et al.*, "Detection of mild cognitive impairment in Parkinson's disease using gradient boosting decision tree models based on multilevel DTI indices," *J. Transl. Med.*, vol. 21, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/s12967-023-04158-8.
- [14] P. Li, Y. Jin, M. Wang, and F. Liu, "Sparse transformer and multipath decision tree: a novel approach for efficient brain tumor classification," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-13115-y.

-
- [15] J. He, L. Yang, D. Liu, and Z. Song, "Automatic Recognition of High-Density Epileptic EEG Using Support Vector Machine and Gradient-Boosting Decision Tree," *Brain Sci.*, vol. 12, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/brainsci12091197.
- [16] F. Hamidi, N. Gilani, A. Kazemnejad, Y. Aftabi, M. Shirforoush-Sattari, and A. Jahanimoghadam, "Decision tree-based machine learning methods for identifying colorectal cancer-associated microRNA signatures and their regulatory networks," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-17037-7.
- [17] D. J. Puccio, H. Deng, S. R. Eagle, D. O. Okonkwo, and E. L. Nwachuku, "Pilot Biomarker Analysis and Decision Tree Algorithm Modeling of Patients with Chronic Subdural Hematomas," *Neurotrauma Rep.*, vol. 4, no. 1, pp. 184–196, Mar. 2023, doi: 10.1089/neur.2022.0062.
- [18] N. Subramani, S. V. Easwaramoorthy, P. Mohan, M. Subramanian, and V. Sambath, "A Gradient Boosted Decision Tree-Based Influencer Prediction in Social Network Analysis," *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 7, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.3390/bdcc7010006.
- [19] J. Díaz-Ramírez, J. A. Estrada-García, and J. Figueroa-Sayago, "Predicting transport mode choice preferences in a university district with decision tree-based models," *City and Environment Interactions*, vol. 20, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.cacint.2023.100118.
- [20] T. Champahom, P. Wisutwattanasak, C. Se, C. Banyong, S. Jomnonkwao, and V. Ratanavaraha, "Analysis of Factors Associated with Highway Personal Car and Truck Run-Off-Road Crashes: Decision Tree and Mixed Logit Model with Heterogeneity in Means and Variances Approaches," *Informatics*, vol. 10, no. 3, Sep. 2023, doi: 10.3390/informatics10030066.
- [21] S. Tandan, A. M. Anthony, and H. Kim, "Investigating Factors Affecting Request Matching in Demand-Responsive Transit Service with Different Fleet Sizes Using a Decision Tree Model," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 22, Nov. 2025, doi: 10.3390/app152212134.
- [22] Z. Ming and Z. Jin, "Construction of the prediction model and analysis of key winning factors in world women's volleyball using gradient boosting decision tree," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-26344-y.
- [23] S. Yang, Y. Chen, Y. Huang, L. Zheng, and Y. Huang, "Investigating the Satisfaction of Residents in the Historic Center of Macau and the Characteristics of the Townscape: A Decision Tree Approach to Machine Learning," *Buildings*, vol. 14, no. 9, Sep. 2024, doi: 10.3390/buildings14092925.
- [24] A. Carreira *et al.*, "Determinating clusters with a higher proportion of long-term care discharges from hospitals: a nationwide Portuguese study using clustering and decision tree methods," *J. Big Data*, vol. 12, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1186/s40537-025-01194-7.
- [25] W. Chen, X. Lu, H. Yan, and X. Du, "Decision tree of indicator benchmark: A hybrid method for assessing cities' performance through urban indicators and benchmark," *Ecol. Indic.*, vol. 154, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.ecolind.2023.110804.
- [26] I. Domor Mienye and N. Jere, "A Survey of Decision Trees: Concepts, Algorithms, and Applications," 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2017.DOI.
- [27] H. Blockeel, L. Devos, B. Frénay, G. Nanfack, and S. Nijssen, "Decision trees: from efficient prediction to responsible AI," 2023, *Frontiers Media SA*. doi: 10.3389/frai.2023.1124553.
- [28] J. Lee, M. K. Sim, and J. S. Hong, "Assessing Decision Tree Stability: A Comprehensive Method for Generating a Stable Decision Tree," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 90061–90072, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3419228.
- [29] B. Zhu, J. Wang, and X. Zhang, "Fuzzy Decision Tree Based on Fuzzy Rough Sets and Z-Number Rules," *Axioms*, vol. 13, no. 12, p. 836, Nov. 2024, doi: 10.3390/axioms13120836.
- [30] A. Aljohani, "ACO-tuned randomized decision tree for detecting cyber threats in mobile web applications," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-30941-2.
- [31] M. Ahmad *et al.*, "The performance comparison of the decision tree models on the prediction of seismic gravelly soil liquefaction potential based on dynamic penetration test," *Front. Earth Sci. (Lausanne)*, vol. 11, 2023, doi: 10.3389/feart.2023.1105610.

-
- [32] M. Zagow, M. Elbany, and A. M. Darwish, "Identifying urban, transportation, and socioeconomic characteristics across US zip codes affecting CO2 emissions: A decision tree analysis," *Energy and Built Environment*, vol. 6, no. 3, pp. 484–494, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.enbenv.2024.01.004.
- [33] M. M. Rahman *et al.*, "Decision Tree-Based Ensemble Model for Predicting National Greenhouse Gas Emissions in Saudi Arabia," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 6, Mar. 2023, doi: 10.3390/app13063832.
- [34] T. Langhorst, B. Winter, M. Tuchschnid, D. Roskosch, and A. Bardow, "From Reaction Stoichiometry to Life Cycle Assessment: Decision Tree-Based Estimation Tool," *ACS Environmental Au*, vol. 5, no. 6, pp. 550–560, Nov. 2025, doi: 10.1021/acsenvironau.4c00065.
- [35] Y. An and H. Zhou, "Short term effect evaluation model of rural energy construction revitalization based on ID3 decision tree algorithm," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 1004–1012, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.01.239.
- [36] N. Chen, Y. Ge, and C. Borri, "Intelligent Identification and Verification of Flutter Derivatives and Critical Velocity of Closed-Box Girders Using Gradient Boosting Decision Tree," *Atmosphere (Basel)*, vol. 14, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/atmos14071165.
- [37] G. P. Atheupe, Y. El Mrhasli, U. Emabou, B. Monsuez, K. Bordignon, and A. Tapus, "Robust Virtual Sensing of the Vehicle Sideslip Angle through the Cross-Combination of Multiple Filters Using a Decision Tree Algorithm," *Sensors*, vol. 23, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/s23135877.
- [38] E. Kuk, J. Stopa, M. Kuk, D. Janiga, and P. Wojnarowski, "Optimal Well Control Based on Auto-Adaptive Decision Tree—Maximizing Energy Efficiency in High-Nitrogen Underground Gas Storage," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 9, May 2022, doi: 10.3390/en15093413.
- [39] K. J. Fleming, D. Ruffo, S. Murphy, and M.-C. Buell, "Navigating the Waters: Decision Trees for Optimal Fish Consumption Guidelines," *ACS Environmental Au*, Mar. 2026, doi: 10.1021/acsenvironau.5c00307.
- [40] Z. Dong *et al.*, "Decision Tree-Based Evaluation and Classification of Chemical Flooding Well Groups for Medium-Thick Sandstone Reservoirs," *Energies (Basel)*, vol. 18, no. 17, Sep. 2025, doi: 10.3390/en18174672.
- [41] J. Liu, X. Yan, W. Li, S. H. Xue, Z. Wang, and R. Su, "Genomic Selection for Cashmere Traits in Inner Mongolian Cashmere Goats Using Random Forest, Gradient Boosting Decision Tree, Extreme Gradient Boosting and Light Gradient Boosting Machine Methods," *Animals*, vol. 15, no. 20, Oct. 2025, doi: 10.3390/ani15202940.
- [42] K. Koshimizu, S. Ishimaru, F. Imaizumi, and G. Kawakami, "Morphological characteristics and conditions of drainage basins contributing to the formation of debris flow fans: an examination of regions with different rock strength using decision tree analysis," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 24, no. 4, pp. 1287–1301, Apr. 2024, doi: 10.5194/nhess-24-1287-2024.
- [43] S. H. H. Lavasani and M. Mahdipoor, "Vibration-based damage detection of buildings using a decision-tree-based algorithm," *Numerical Methods in Civil Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 70–79, Dec. 2023, doi: 10.61186/NMCE.2303.1003.
- [44] A. Y. Rahman, D. A. Aziz, A. L. Hananto, S. Sulaiman, and C. Zonyfar, "Classification of Tempeh Maturity Using Decision Tree and Three Texture Features," 2022. [Online]. Available: www.joiv.org/index.php/joiv
- [45] L. Verhagen Metman *et al.*, "Decision tree model based prediction of the eecacy of acupuncture in methadone maintenance treatment," Oct. 2022. [Online]. Available: <http://www.chictr.org.cn/index.aspx>,