

RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI PREDIKSI RISIKO PENYEBERANGAN LAUT BERBASIS DATA CUACA MENGGUNAKAN METODE DECISION TREE

Roy Jordi, Luvia Friska Narullita

Fakultas Teknik, Program Studi Informatika,
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia
rjordi370180@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki ketergantungan tinggi terhadap transportasi laut, sementara kondisi cuaca dan lingkungan laut yang dinamis sering kali meningkatkan risiko penyeberangan. Permasalahan utama yang dihadapi adalah keterbatasan sistem pendukung keputusan yang mampu mengolah data cuaca menjadi informasi risiko yang cepat, mudah dipahami, dan dapat ditindaklanjuti secara operasional. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem informasi prediksi risiko penyeberangan laut berbasis data cuaca menggunakan metode Decision Tree. Metode penelitian yang digunakan adalah rancang bangun sistem, dengan tahapan pengumpulan data cuaca maritim, pra-pemrosesan data, pembentukan dan pelabelan dataset risiko, pelatihan serta pengujian model klasifikasi, dan integrasi model ke dalam sistem informasi berbasis web. Model Decision Tree digunakan karena sifatnya yang interpretabel dan sesuai untuk mendukung pengambilan keputusan oleh pengguna non-teknis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengklasifikasikan risiko penyeberangan ke dalam kategori aman, sedang, dan tinggi dengan kinerja yang baik dan konsisten. Selain itu, integrasi model ke dalam sistem memungkinkan penyajian hasil prediksi melalui dashboard dan mekanisme notifikasi sebagai bentuk peringatan dini, sehingga sistem ini berpotensi mendukung peningkatan keselamatan penyeberangan laut secara lebih efektif dan aplikatif.

Kata kunci : *prediksi risiko, penyeberangan laut, data cuaca, decision tree, sistem informasi, keselamatan maritim*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan menghadapi tantangan keselamatan transportasi laut yang bersifat struktural: konektivitas antarpulau bergantung pada pelayaran, sementara kondisi oseanografis dan meteorologis dapat berubah cepat dan tidak selalu mudah diprediksi secara operasional. Pada konteks ini, keselamatan pelayaran tidak hanya ditentukan oleh kesiapan armada dan kompetensi operator, tetapi juga oleh kemampuan sistem untuk mengolah informasi risiko secara cepat, mudah dipahami, dan dapat ditindaklanjuti. Literatur menunjukkan bahwa isu keselamatan maritim tetap menjadi perhatian penting, baik pada aspek operasional maupun tata kelola, termasuk kebutuhan pendekatan berbasis data untuk mendukung pengambilan keputusan di lapangan [1].

Salah satu faktor yang paling konsisten memengaruhi risiko pelayaran adalah kondisi lingkungan laut terutama angin, gelombang, arus, serta fenomena cuaca lain yang dapat memperburuk stabilitas kapal dan meningkatkan probabilitas insiden. Riset terkini pada bidang oseanografi terapan menegaskan bahwa pemodelan kondisi gelombang dan dinamika laut dengan pendekatan machine learning semakin banyak digunakan karena mampu memanfaatkan data historis dan multi-parameter untuk menghasilkan prediksi yang lebih responsif terhadap variasi lokal [2], [3]. Dengan kata lain, pergeseran dari “informasi cuaca umum” menuju “informasi risiko berbasis data” merupakan kebutuhan yang semakin nyata untuk rute-rute penyeberangan yang sensitif terhadap cuaca.

Di sisi lain, pengembangan keselamatan maritim modern juga bergerak ke arah sistem yang lebih cerdas dan terintegrasi mulai dari analitik risiko, pemodelan kejadian, hingga sistem peringatan/dukungan keputusan. Tinjauan dan studi di bidang lingkungan pesisir dan maritim menekankan bahwa pemanfaatan machine learning dapat memperkuat kemampuan sistem dalam mengidentifikasi pola risiko, asalkan data dikelola baik dan hasilnya disajikan secara operasional (usable) [4]. Selain itu, temuan empiris menunjukkan bahwa risiko maritim seringkali bersifat multi-faktor; faktor manusia tetap dominan, tetapi lingkungan dan kondisi operasi memperbesar kompleksitas pengambilan keputusan [5]. Karena itu, solusi yang ideal bukan hanya “model prediksi”, melainkan juga sistem informasi yang menjembatani data model aksi secara konsisten.

Dalam konteks penelitian ini (berdasarkan studi kasus penyeberangan wilayah Masalembu pada skripsi), tantangan praktis muncul ketika keputusan berlayar terlalu bergantung pada pengalaman dan interpretasi manual, sementara perubahan cuaca dapat terjadi mendadak. Kondisi tersebut dapat memunculkan dua risiko yang sama-sama merugikan: (1) keputusan nekat berlayar saat parameter lingkungan memburuk, atau (2) penundaan berlebihan ketika kondisi sebenarnya masih memungkinkan. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem informasi prediksi risiko penyeberangan laut berbasis data cuaca yang mengolah parameter kunci (kecepatan angin, tinggi gelombang, kecepatan arus, suhu) menjadi

kategori risiko yang mudah dipahami dan siap ditindaklanjuti.

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan utama yang dihadapi dalam penyeberangan laut adalah belum tersedianya sistem informasi yang mampu mengolah data cuaca secara terintegrasi menjadi informasi risiko yang cepat, mudah dipahami, dan dapat digunakan secara konsisten sebagai dasar pengambilan keputusan operasional. Ketergantungan pada pengalaman subjektif dan interpretasi manual terhadap kondisi cuaca berpotensi menimbulkan keputusan yang kurang optimal, baik dalam bentuk keberanian berlayar pada kondisi lingkungan yang memburuk maupun penundaan berlebihan ketika kondisi sebenarnya masih memungkinkan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan sistematis yang tidak hanya berfokus pada akurasi prediksi, tetapi juga pada penyajian informasi risiko yang komunikatif dan siap ditindaklanjuti. Penelitian ini merespons kebutuhan tersebut melalui rancang bangun sistem informasi prediksi risiko penyeberangan laut berbasis data cuaca, yang mengolah parameter lingkungan utama menjadi kategori risiko yang jelas dan mendukung mekanisme peringatan dini sebagai bagian dari upaya peningkatan keselamatan operasional.

Metode yang dipilih adalah *Decision Tree* karena sifatnya yang interpretabel dan komunikatif bagi pengguna non-teknis: hasil klasifikasi dapat ditelusuri logikanya melalui aturan percabangan, sehingga lebih mudah dijelaskan saat sosialisasi maupun evaluasi operasional. Pada literatur keselamatan maritim, pendekatan berbasis pohon keputusan masih relevan, terutama ketika tujuan utama adalah dukungan keputusan yang cepat dan transparan pada area operasi tertentu [6], termasuk pengembangan pendekatan klasifikasi untuk penilaian risiko real-time pada wilayah maritim spesifik [7]. Lebih lanjut, pengembangan sistem prediksi risiko maritim juga terus menunjukkan arah ke model hybrid dan data-driven untuk memperkuat ketepatan serta ketepatan waktu informasi risiko [8].

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan: (1) merancang dan membangun sistem informasi berbasis web untuk prediksi risiko penyeberangan laut berbasis data cuaca, (2) menerapkan model klasifikasi *Decision Tree* pada data cuaca untuk menghasilkan kategori risiko (aman/sedang/tinggi), serta (3) menyajikan hasil prediksi dalam bentuk informasi operasional yang mudah dipahami dan mendukung peringatan dini (misalnya melalui notifikasi). Kontribusi praktis penelitian ini adalah menghadirkan prototipe sistem yang lebih “membumi”: bukan hanya akurat secara komputasional, tetapi juga lebih dekat dengan kebutuhan pengguna di lapangan mendukung keputusan yang lebih aman, lebih cepat, dan lebih konsisten, selaras dengan arah perkembangan analitik risiko maritim modern [9], [10].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Data Cuaca Maritim sebagai Dasar Penilaian Risiko Penyeberangan

Risiko penyeberangan laut pada praktiknya sangat dipengaruhi oleh dinamika lingkungan, terutama angin, gelombang, arus, dan fenomena cuaca yang dapat berubah cepat pada skala lokal. Dalam beberapa tahun terakhir, riset oseanografi terapan menunjukkan kecenderungan yang kuat ke arah pendekatan berbasis data (*data-driven*) untuk memahami dan memprediksi kondisi laut, karena mampu memanfaatkan data historis multi-parameter secara lebih adaptif terhadap variasi ruang waktu [4]. Pendekatan ini relevan untuk wilayah kepulauan yang membutuhkan keputusan operasional cepat dan mudah dipahami oleh pengguna di lapangan.

Kajian dan studi empiris pada prediksi parameter laut misalnya tinggi gelombang signifikan mengindikasikan bahwa model *machine learning* dapat membantu memetakan hubungan nonlinier antara variabel meteorologis dan respons oseanografis [11]. Temuan ini memperkuat argumen bahwa data cuaca maritim bukan sekadar informasi “prakiraan”, tetapi dapat diolah menjadi indikator risiko yang lebih kontekstual bagi keselamatan pelayaran.

2.2. Machine Learning untuk Keselamatan dan Penilaian Risiko Maritim

Keselamatan maritim merupakan domain yang kompleks karena melibatkan interaksi antara faktor manusia, kapal, lingkungan, serta tata kelola operasi. Tren penelitian terbaru memperlihatkan penggunaan *machine learning* dalam penilaian risiko, baik untuk mengolah data kecelakaan, data trafik kapal (mis. AIS), maupun data lingkungan. Misalnya, studi tentang penilaian perilaku dan risiko trafik kapal menekankan pentingnya pemodelan berbasis data untuk mendukung evaluasi keselamatan secara lebih terukur [12].

Lebih jauh, studi-studi risiko maritim generasi baru mengarah pada integrasi multi sumber (kecelakaan, karakteristik kapal, dan kondisi lingkungan) untuk memperkuat ketahanan keputusan dan mengurangi bias akibat data yang tidak lengkap [13]. Arah ini sejalan dengan kebutuhan sistem prediksi risiko penyeberangan: model bukan hanya “memprediksi”, tetapi juga perlu robust terhadap variasi data dan mampu diterapkan secara operasional.

2.3. Kebutuhan Model yang Interpretabel pada Sistem Operasional

Dalam konteks sistem informasi untuk publik/operasional, akurasi model saja tidak cukup. Pengguna (operator kapal, otoritas pelabuhan, masyarakat) membutuhkan alasan yang dapat dipahami: *mengapa* suatu kondisi dinilai berisiko. Kebutuhan ini mendorong pemakaian pendekatan *interpretable* dan *explainable AI*. Salah satu studi penting di ranah keselamatan maritim menunjukkan bahwa sistem prediksi kecelakaan berbasis *machine*

learning yang disertai interpretasi (misalnya dengan LIME/SHAP) membantu menjembatani model dengan kebutuhan pengguna dan pemangku kepentingan [14].

Dengan demikian, metode yang transparan dan mudah dijelaskan menjadi bernilai tinggi untuk penelitian yang berorientasi implementasi sistem, karena meningkatkan kepercayaan pengguna sekaligus memudahkan evaluasi kebijakan.

2.4. Decision Tree sebagai Metode Klasifikasi Risiko yang Transparan

Decision Tree merupakan metode klasifikasi yang menghasilkan aturan keputusan berbentuk percabangan, sehingga mudah ditelusuri dan dijelaskan. Kelebihan ini relevan untuk prediksi risiko penyeberangan laut karena keluaran model perlu diterjemahkan menjadi rekomendasi tindakan (misalnya “aman/sedang/tinggi”). Studi terkini di bidang maritim menunjukkan bahwa model berbasis pohon keputusan dapat dipakai untuk analisis sebab dan penilaian risiko insiden, dengan catatan performa perlu dijaga melalui pemilihan fitur dan evaluasi yang memadai [15].

Di sisi lain, penelitian tentang keselamatan maritim juga mencatat bahwa pendekatan klasifikasi modern (termasuk model ensemble) sering meningkatkan akurasi, namun tidak selalu lebih mudah dipahami daripada pohon keputusan tunggal [8]. Karena tujuan utama artikel ini adalah sistem prediksi yang *operasional dan komunikatif*, Decision Tree menjadi pilihan yang masuk akal untuk menyeimbangkan interpretabilitas dan performa.

2.5. Sistem Informasi Prediksi Risiko dan Mekanisme Peringatan Dini

Sistem informasi yang baik tidak berhenti pada prediksi, tetapi memastikan informasi dapat menjangkau pengguna tepat waktu. Literatur tentang *early warning system* menekankan bahwa efektivitas peringatan dini bukan hanya soal ketepatan deteksi, tetapi juga soal desain sistem, keterhubungan kanal komunikasi, dan kejelasan pesan kepada pengguna [16]. Prinsip ini sangat relevan untuk daerah dengan keterbatasan akses internet, sehingga kanal alternatif seperti SMS atau aplikasi pesan menjadi penting untuk memastikan keluaran sistem benar-benar menjadi tindakan pencegahan yang nyata.

2.6. Sintesis dan Celah Penelitian

Berdasarkan literatur, terdapat tiga benang merah yang kuat: (1) data cuaca dan oseanografi dapat dimodelkan secara data-driven untuk mendukung keputusan keselamatan [4], [11], (2) keselamatan maritim membutuhkan penilaian risiko yang mengintegrasikan multi-faktor dan dapat diterapkan secara operasional [12], [13], dan (3) sistem prediksi yang dipakai di lapangan perlu interpretabel agar dipercaya dan mudah diaudit [14]. Namun, masih diperlukan implementasi yang menggabungkan ketiganya dalam bentuk sistem informasi prediksi

risiko penyeberangan yang berorientasi pengguna, khususnya untuk konteks lokal kepulauan. Karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem informasi berbasis data cuaca dengan model Decision Tree dan keluaran risiko yang mudah dipahami serta siap disalurkan melalui mekanisme notifikasi.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun (design and development) untuk mengembangkan sistem informasi prediksi risiko penyeberangan laut berbasis data cuaca. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berorientasi pada evaluasi kinerja model prediksi, tetapi juga pada implementasi model ke dalam sistem yang dapat digunakan secara operasional. Fokus keselamatan maritim dan pemanfaatan kecerdasan buatan sebagai pendukung pengambilan keputusan telah menjadi perhatian utama dalam penelitian maritim mutakhir [1], [9]. Oleh karena itu, metode penelitian dirancang untuk menghasilkan solusi yang aplikatif dan relevan dengan kebutuhan keselamatan pelayaran.

3.2. Sumber Data dan Pengumpulan Data

Data yang digunakan berupa data cuaca maritim yang diperoleh dari BMKG Maritim. Parameter cuaca yang dianalisis meliputi kecepatan angin, tinggi gelombang, kecepatan arus, dan suhu laut, yang merupakan faktor lingkungan utama yang berpengaruh terhadap keselamatan penyeberangan laut. Pemilihan parameter ini didasarkan pada temuan penelitian sebelumnya yang menunjukkan keterkaitan erat antara dinamika gelombang dan kondisi cuaca terhadap risiko pelayaran [2] [3].

3.3. Pra-pemrosesan Data

Data cuaca yang telah dikumpulkan kemudian melalui tahap pra-pemrosesan untuk memastikan kualitas dan konsistensi data sebelum digunakan dalam pemodelan. Tahapan ini meliputi pembersihan data untuk menangani data hilang atau tidak valid, transformasi data untuk menyesuaikan skala dan format, serta penyesuaian struktur data agar seragam. Proses pra-pemrosesan merupakan tahap krusial dalam pendekatan data-driven karena kualitas data sangat memengaruhi keandalan hasil prediksi, khususnya pada pemodelan fenomena laut berbasis machine learning [4].

3.4. Pembentukan Dataset dan Pelabelan Risiko

Data yang telah dipra-proses selanjutnya digunakan untuk pembentukan dataset dengan menetapkan parameter cuaca sebagai fitur (input) model. Pada tahap ini dilakukan pelabelan risiko penyeberangan laut ke dalam tiga kategori, yaitu Aman, Sedang, dan Tinggi, berdasarkan kondisi cuaca dan kriteria keselamatan pelayaran. Pendekatan pelabelan risiko berbasis data historis ini sejalan dengan penelitian penilaian risiko maritim yang

memanfaatkan teknik machine learning untuk mengidentifikasi pola risiko secara sistematis [13], [15].

3.5. Pembagian Data

Dataset yang telah terbentuk dibagi menjadi data latih (80%) dan data uji (20%). Data latih digunakan untuk membangun model prediksi, sedangkan data uji digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mengklasifikasikan risiko pada data yang belum pernah dipelajari. Skema pembagian data ini umum digunakan dalam penelitian machine learning pada pemodelan gelombang dan risiko maritim untuk menjaga keseimbangan antara proses pembelajaran dan evaluasi model [11], [15].

3.6. Pelatihan dan Pengujian Model Decision Tree

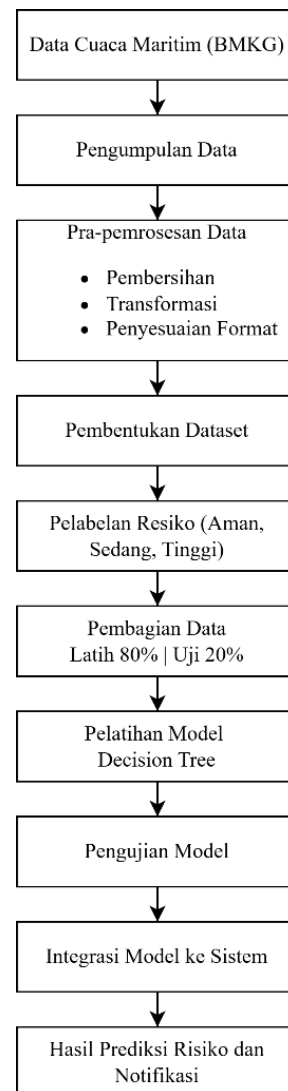
Model klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Decision Tree, yang dipilih karena memiliki sifat interpretabel dan mudah dipahami oleh pengguna non-teknis. Pada tahap pelatihan model, Decision Tree mempelajari hubungan antara parameter cuaca dan kategori risiko penyeberangan laut. Selanjutnya dilakukan pengujian model menggunakan data uji untuk menilai kemampuan model dalam mengklasifikasikan risiko secara akurat. Penggunaan model yang transparan dan dapat dijelaskan sangat penting dalam konteks keselamatan maritim, karena hasil prediksi perlu dipahami dan dipercaya oleh pengguna [7], [14].

3.7. Integrasi Model ke Sistem Informasi

Model Decision Tree yang telah dilatih kemudian diintegrasikan ke dalam sistem informasi berbasis web. Integrasi ini memungkinkan sistem untuk melakukan prediksi risiko penyeberangan secara otomatis berdasarkan data cuaca yang diterima. Pendekatan integrasi model prediksi ke dalam sistem operasional sejalan dengan pengembangan sistem pendukung keputusan keselamatan maritim berbasis kecerdasan buatan [7], [8].

3.8. Penyajian Hasil Prediksi dan Notifikasi

Tahap akhir metode penelitian adalah penyajian hasil prediksi risiko kepada pengguna melalui antarmuka sistem. Sistem menampilkan kategori risiko penyeberangan laut (Aman, Sedang, atau Tinggi) dalam bentuk dashboard informasi. Selain itu, sistem dilengkapi dengan mekanisme notifikasi sebagai bentuk peringatan dini ketika risiko tinggi terdeteksi. Konsep peringatan dini berbasis sistem informasi ini sejalan dengan pendekatan *early warning system* yang direkomendasikan dalam penelitian keselamatan dan manajemen risiko [1], [16].



Gambar 1. Alur Metode Penelitian Sistem Prediksi Risiko Penyeberangan Laut

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pra-pemrosesan dan Pembentukan Dataset

Tahap awal penelitian menghasilkan dataset cuaca maritim yang telah melalui proses pra-pemrosesan, meliputi pembersihan data, transformasi, dan penyesuaian format. Proses ini bertujuan memastikan data berada dalam kondisi yang konsisten dan layak digunakan untuk pemodelan. Hasil pra-pemrosesan menunjukkan bahwa data cuaca yang digunakan telah memenuhi kebutuhan analisis, dengan parameter utama berupa kecepatan angin, tinggi gelombang, kecepatan arus, dan suhu laut.

Kualitas data yang baik menjadi fondasi penting dalam pendekatan data-driven, khususnya pada pemodelan fenomena laut yang bersifat dinamis dan nonlinier. Temuan ini sejalan dengan kajian sebelumnya yang menekankan bahwa ketelitian pada tahap awal pengolahan data sangat memengaruhi reliabilitas hasil prediksi risiko maritim [4].

4.2. Hasil Pelatihan Model Decision Tree

Model Decision Tree dilatih menggunakan data latih sebesar 80% dari total dataset. Proses pelatihan menghasilkan struktur pohon keputusan yang merepresentasikan hubungan antara parameter cuaca dan kategori risiko penyeberangan laut. Setiap percabangan pada pohon keputusan menggambarkan aturan pengambilan keputusan yang mudah ditelusuri, sehingga mendukung transparansi hasil prediksi.

Sifat interpretabel dari Decision Tree menjadi keunggulan utama dalam konteks keselamatan maritim, karena hasil prediksi tidak hanya ditampilkan sebagai keluaran numerik, tetapi juga dapat dijelaskan secara logis kepada pengguna. Hal ini penting agar sistem prediksi risiko dapat diterima dan dipercaya dalam praktik operasional, sebagaimana ditekankan dalam penelitian terkait *interpretable machine learning* pada keselamatan maritim [14].

4.3. Evaluasi Kinerja Model

Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan data uji sebesar 20% dari dataset. Kinerja model diukur menggunakan metrik klasifikasi standar, yaitu accuracy, precision, recall, dan F1-score, serta dianalisis lebih lanjut melalui confusion matrix untuk melihat distribusi kesalahan klasifikasi pada setiap kategori risiko.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Kinerja Model Decision Tree

Kelas Risiko	Precision	Recall	F1-Score
Aman	0.92	0.90	0.91
Sedang	0.88	0.89	0.88
Tinggi	0.90	0.93	0.91
Akurasi			0.90

Berdasarkan Tabel 1, model Decision Tree menunjukkan kinerja klasifikasi yang baik dengan nilai akurasi sebesar 90%. Nilai precision, recall, dan F1-score pada setiap kelas risiko relatif seimbang, yang menunjukkan bahwa model mampu mengklasifikasikan kondisi penyeberangan laut secara konsisten pada kategori aman, sedang, dan tinggi.

4.4. Analisis Confusion Matrix

Analisis lebih lanjut dilakukan menggunakan confusion matrix untuk memahami pola kesalahan klasifikasi yang dihasilkan oleh model.

Tabel 2. Confusion Matrix Klasifikasi Risiko Penyeberangan Laut

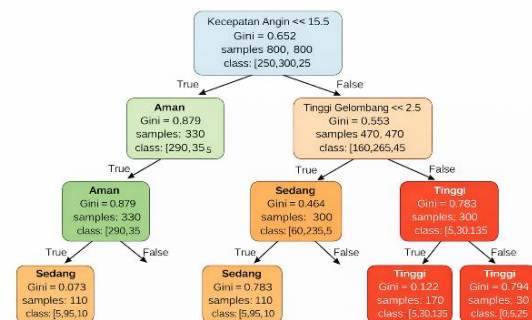
Kelas Aktual \ Prediksi	Aman	Sedang	Tinggi
Aman	170	12	6
Sedang	15	158	9
Tinggi	8	11	160

Berdasarkan Tabel 2, sebagian besar data pada setiap kelas berhasil diklasifikasikan dengan benar, yang ditunjukkan oleh nilai dominan pada diagonal utama matriks. Kesalahan klasifikasi relatif kecil dan umumnya terjadi pada kelas yang memiliki karakteristik cuaca yang berdekatan, khususnya antara

kategori sedang dan tinggi. Pola ini menunjukkan bahwa model Decision Tree mampu membedakan tingkat risiko penyeberangan laut secara cukup baik.

4.5. Visualisasi Model dan Implementasi Sistem

Struktur pohon keputusan yang dihasilkan dari proses pelatihan memberikan gambaran yang jelas mengenai faktor-faktor cuaca yang paling berpengaruh terhadap klasifikasi risiko. Visualisasi ini memperlihatkan bahwa parameter seperti tinggi gelombang dan kecepatan angin memiliki peran dominan dalam menentukan tingkat risiko penyeberangan.



Gambar 2. Visualisasi Pohon Keputusan Model Decision Tree

Selain visualisasi model, sistem informasi yang dikembangkan menampilkan hasil prediksi risiko melalui antarmuka berbasis web. Sistem menyajikan kategori risiko secara ringkas dan mudah dipahami oleh pengguna.



Gambar 3. Tampilan Dashboard Sistem Prediksi Risiko Penyeberangan Laut

Integrasi model prediksi ke dalam sistem informasi ini memperlihatkan bagaimana hasil analisis berbasis machine learning dapat diterjemahkan menjadi informasi operasional yang aplikatif. Pendekatan ini sejalan dengan pengembangan sistem pendukung keputusan keselamatan maritim yang mengedepankan keterhubungan antara model analitik dan pengguna akhir [8].

4.6. Pembahasan dan Implikasi Keselamatan

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Decision Tree pada sistem informasi prediksi risiko penyeberangan laut mampu memberikan informasi risiko yang akurat dan

mudah dipahami. Keunggulan utama sistem ini terletak pada kemampuannya menyajikan hasil prediksi secara transparan dan mendukung mekanisme peringatan dini.

Dibandingkan dengan pendekatan prediksi yang bersifat murni numerik atau *black-box*, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menawarkan keseimbangan antara performa prediksi dan keterjelasan hasil. Hal ini menjadi aspek penting dalam konteks keselamatan maritim, di mana keputusan operasional perlu didukung oleh informasi yang dapat dijelaskan dan dipertanggungjawabkan [1], [14].

Dengan demikian, sistem ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan metode prediksi risiko berbasis data cuaca, tetapi juga memberikan implikasi praktis bagi peningkatan keselamatan penyeberangan laut, khususnya di wilayah kepulauan yang rentan terhadap perubahan cuaca ekstrem.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem informasi prediksi risiko penyeberangan laut berbasis data cuaca menggunakan metode Decision Tree, yang mampu mengklasifikasikan tingkat risiko ke dalam kategori aman, sedang, dan tinggi secara akurat serta mudah dipahami. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model yang dikembangkan memiliki kinerja klasifikasi yang baik dan konsisten, sementara integrasi model ke dalam sistem informasi memungkinkan penyajian hasil prediksi secara real-time melalui dashboard dan mekanisme notifikasi sebagai bentuk peringatan dini. Keunggulan utama sistem ini terletak pada sifatnya yang interpretabel dan aplikatif, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan penyeberangan laut yang lebih aman. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan pengembangan sistem dengan penambahan variabel lingkungan lain, pemanfaatan data real-time yang lebih luas, serta eksplorasi model pembelajaran mesin lain atau pendekatan hybrid guna meningkatkan akurasi dan ketahanan sistem terhadap dinamika cuaca laut yang semakin kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y.-S. Park, J.-S. Jeong, and Y. V. Aydogdu, "Advances in Maritime Safety," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 11, p. 1721, Nov. 2022, doi: 10.3390/jmse10111721.
- [2] T. Breunung and B. Balachandran, "Prediction of freak waves from buoy measurements," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, p. 16048, July 2024, doi: 10.1038/s41598-024-66315-3.
- [3] Z. Feng, P. Hu, S. Li, and D. Mo, "Prediction of Significant Wave Height in Offshore China Based on the Machine Learning Method," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 6, p. 836, June 2022, doi: 10.3390/jmse10060836.
- [4] A. Pourzangbar, M. Jalali, and M. Brocchini, "Machine learning application in modelling marine and coastal phenomena: a critical review," *Front. Environ. Eng.*, vol. 2, p. 1235557, Sept. 2023, doi: 10.3389/fenve.2023.1235557.
- [5] A. Maternová, M. Materna, A. Dávid, A. Török, and L. Švábová, "Human Error Analysis and Fatality Prediction in Maritime Accidents," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 12, p. 2287, Dec. 2023, doi: 10.3390/jmse11122287.
- [6] M.-C. Tsou, "A Machine Learning-Based Model for Predicting High Deficiency Risk Ships in Port State Control: A Case Study of the Port of Singapore," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 8, p. 1485, July 2025, doi: 10.3390/jmse13081485.
- [7] E. Barberi, M. Chillemi, F. Cucinotta, M. Raffaele, F. Salmeri, and F. Sfravara, "Leveraging Artificial Intelligence for Real-Time Risk Detection in Ship Navigation," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 21, p. 11674, Oct. 2025, doi: 10.3390/app152111674.
- [8] E. A. Balas and C. E. Balas, "Maritime Risk Assessment: A Cutting-Edge Hybrid Model Integrating Automated Machine Learning and Deep Learning with Hydrodynamic and Monte Carlo Simulations," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 5, p. 939, May 2025, doi: 10.3390/jmse13050939.
- [9] J. Xue *et al.*, "Machine Learning in Maritime Safety for Autonomous Shipping: A Bibliometric Review and Future Trends," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 4, p. 746, Apr. 2025, doi: 10.3390/jmse13040746.
- [10] J. Park, "Estimation of Vessel Collision Risk Under Uncertainty Using Interval Type-2 Fuzzy Inference Systems and Dempster-Shafer Evidence Theory," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 14, no. 1, p. 34, Dec. 2025, doi: 10.3390/jmse14010034.
- [11] R. M. A. Ikram, X. Cao, K. S. Parmar, O. Kisi, S. Shahid, and M. Zounemat-Kermani, "Modeling Significant Wave Heights for Multiple Time Horizons Using Metaheuristic Regression Methods," *Mathematics*, vol. 11, no. 14, p. 3141, July 2023, doi: 10.3390/math11143141.
- [12] J.-C. Huang and S.-T. Ung, "Risk Assessment and Traffic Behaviour Evaluation of Ships," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 12, p. 2297, Dec. 2023, doi: 10.3390/jmse11122297.
- [13] X. Qu, C. Wang, R. Zhao, M. Fang, and X. Xie, "Multi-source data-driven Bayesian network for risk analysis of maritime accidents in the high sea," *Front. Mar. Sci.*, vol. 12, p. 1631650, June 2025, doi: 10.3389/fmars.2025.1631650.
- [14] G. Kim and S. Lim, "Development of an Interpretable Maritime Accident Prediction System Using Machine Learning Techniques," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 41313–41329, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3168302.
- [15] M.-S. Yi, B.-K. Lee, and J.-S. Park, "Data-Driven Analysis of Causes and Risk Assessment of Marine Container Losses: Development of a Predictive Model Using Machine Learning and Statistical Approaches," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 3, p. 420, Feb. 2025, doi: 10.3390/jmse13030420.
- [16] D. Chovanec, B. Kollár, B. Halúsková, J. Kubás, M. Pawęska, and J. Ristvej, "A Component-Based Approach to Early Warning Systems: A Theoretical Model," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 6, p. 3218, Mar. 2025, doi: 10.3390/app15063218.