

Analisis Pengaruh Kondisi Cuaca Terhadap Efisiensi Manuver Kapal di Perairan Sempit

Sarah Putri Maharani^{1*}, Eka Perdana²

^{1,2} Akademi Maritim Belawan, Indonesia

Abstract. *This study analyzes the influence of weather conditions on the efficiency of ship maneuvering in narrow waters. Maneuvering in confined areas such as rivers, straits, or ports becomes increasingly complex due to external environmental factors, particularly weather elements such as wind speed, wave height, and current direction. The research aims to identify and quantify how these weather variables affect the time, accuracy, and safety of maneuvering operations. A combination of field observations, ship maneuvering simulations, and data analysis was used to assess vessel performance under varying weather scenarios. The findings reveal that strong crosswinds and high waves significantly reduce maneuvering efficiency by increasing turning radius and delaying response times. These results imply the need for enhanced decision-making strategies and weather-adaptive navigational planning in narrow waterways. The study provides practical insights for shipmasters, pilots, and maritime authorities in optimizing maneuver operations under adverse weather conditions.*

Keywords: *maneuvering efficiency, narrow waterways, ship handling, vessel navigation, weather impact.*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis pengaruh kondisi cuaca terhadap efisiensi manuver kapal di perairan sempit. Manuver di wilayah terbatas seperti sungai, selat, atau pelabuhan menjadi lebih kompleks akibat faktor lingkungan eksternal, terutama elemen cuaca seperti kecepatan angin, tinggi gelombang, dan arah arus. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan mengukur sejauh mana variabel cuaca memengaruhi waktu, akurasi, dan keselamatan dalam proses manuver kapal. Pendekatan yang digunakan mencakup observasi lapangan, simulasi manuver kapal, dan analisis data terhadap kinerja kapal dalam berbagai skenario cuaca. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angin silang yang kuat dan gelombang tinggi secara signifikan menurunkan efisiensi manuver dengan meningkatkan radius putar dan memperlambat respons kapal. Temuan ini menunjukkan pentingnya strategi pengambilan keputusan yang adaptif terhadap cuaca serta perencanaan navigasi yang responsif di perairan sempit. Studi ini memberikan wawasan praktis bagi nakhoda, juru mudi, dan otoritas maritim dalam mengoptimalkan manuver kapal pada kondisi cuaca yang tidak bersahabat.

Kata kunci: efisiensi manuver, navigasi kapal, pengaruh cuaca, pengendalian kapal, perairan sempit.

1. LATAR BELAKANG

Manuver kapal merupakan salah satu aspek penting dalam operasional pelayaran, terutama ketika kapal harus melalui perairan sempit seperti selat, sungai, kanal, atau pelabuhan. Dalam kondisi ini, kemampuan kapal untuk melakukan manuver dengan efisien dan aman sangat tergantung pada berbagai faktor teknis dan lingkungan, termasuk kondisi cuaca. Cuaca yang tidak menentu seperti angin kencang, gelombang tinggi, dan arus yang berubah-ubah dapat mempersulit proses manuver kapal, sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan, risiko tabrakan, atau bahkan kecelakaan laut (Sitorus, 2020). Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap pengaruh cuaca terhadap manuver kapal menjadi hal yang sangat krusial bagi pelaut, operator pelabuhan, maupun pihak berwenang di bidang kelautan.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti angin dan arus dapat memengaruhi radius putar kapal, kestabilan arah, dan waktu respon dalam pengendalian kapal (Prasetyo & Hadi, 2019). Namun, sebagian besar studi tersebut masih

berfokus pada kondisi perairan terbuka, bukan pada perairan sempit yang memiliki karakteristik yang lebih kompleks, seperti ruang gerak terbatas dan kepadatan lalu lintas yang tinggi. Perairan sempit menuntut manuver yang lebih presisi, sehingga gangguan kecil dari faktor cuaca pun dapat berdampak besar terhadap efisiensi dan keselamatan pelayaran. Selain itu, minimnya kajian yang mengintegrasikan data empiris dari simulasi manuver dan observasi lapangan dalam konteks cuaca ekstrem menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu diisi.

Dalam konteks Indonesia sebagai negara kepulauan, pelayaran di perairan sempit menjadi bagian penting dari distribusi logistik dan mobilitas antarwilayah. Banyak pelabuhan dan jalur pelayaran domestik yang terletak di wilayah dengan kontur geografis sempit dan cuaca tropis yang cenderung fluktuatif. Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG, 2022), peningkatan frekuensi cuaca ekstrem akibat perubahan iklim turut meningkatkan tantangan bagi kapal yang beroperasi di wilayah tersebut. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis yang komprehensif terhadap pengaruh kondisi cuaca terhadap efisiensi manuver kapal dalam skenario yang realistis, termasuk dengan mempertimbangkan variabel-variabel lingkungan yang dinamis.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menggabungkan simulasi manuver kapal dengan data cuaca aktual di perairan sempit, serta analisis kuantitatif terhadap kinerja manuver berdasarkan indikator waktu, radius putar, dan deviasi arah. Penelitian sebelumnya cenderung bersifat deskriptif atau menggunakan pendekatan umum tanpa mempertimbangkan kondisi lokal dan karakteristik kapal tertentu (Wibowo & Santosa, 2021). Selain itu, belum banyak penelitian yang menawarkan rekomendasi strategis berbasis data untuk meningkatkan efisiensi manuver dalam kondisi cuaca buruk di jalur sempit. Dengan demikian, penelitian ini memiliki urgensi yang tinggi dalam menjawab tantangan operasional pelayaran masa kini yang semakin dipengaruhi oleh dinamika lingkungan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis secara kuantitatif pengaruh kondisi cuaca terhadap efisiensi manuver kapal di perairan sempit melalui pendekatan observasi, simulasi, dan pemodelan data. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam penyusunan prosedur navigasi yang lebih adaptif terhadap cuaca, serta mendukung pengambilan keputusan bagi pelaut dan pihak berwenang untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi pelayaran di wilayah sempit dan padat lalu lintas. Penelitian ini juga diharapkan menjadi acuan dalam pengembangan sistem pendukung navigasi berbasis teknologi dan informasi cuaca terkini.

2. KAJIAN TEORITIS

Efisiensi manuver kapal sangat dipengaruhi oleh kemampuan kapal dalam merespon perintah kemudi secara tepat dan cepat, terutama ketika melintasi perairan sempit. Menurut teori dasar manuverabilitas kapal, terdapat beberapa parameter penting yang menentukan kemampuan manuver kapal, di antaranya adalah turning circle (radius putar), stopping distance (jarak henti), dan yaw response (respon arah haluan) (Santosa & Wibowo, 2021). Parameter-parameter ini tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik fisik kapal, seperti panjang, lebar, dan desain lambung, tetapi juga oleh faktor lingkungan, seperti kecepatan angin, tinggi gelombang, dan arah arus (Simatupang, 2020). Teori ini menjadi acuan utama dalam memahami bagaimana lingkungan eksternal dapat memengaruhi performa kapal, khususnya di perairan sempit dengan ruang gerak terbatas.

Cuaca sebagai faktor eksternal memiliki peran signifikan dalam memengaruhi kondisi navigasi dan manuver kapal. Angin silang, arus melintang, serta gelombang dengan arah tidak sejajar dengan haluan kapal dapat menyebabkan deviasi arah yang signifikan dan memperbesar radius putar kapal (Yusuf, 2021). Dalam konteks perairan sempit, situasi ini memperbesar risiko terhadap tabrakan dengan struktur pelabuhan, kapal lain, maupun daratan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap teori interaksi kapal dengan lingkungan sangat diperlukan dalam proses evaluasi efisiensi manuver. Selain itu, menurut Sitorus (2020), kondisi cuaca ekstrem tidak hanya mempengaruhi aspek teknis manuver, tetapi juga berimplikasi pada pengambilan keputusan nahkoda yang harus mempertimbangkan keamanan kapal dan kru.

Penelitian-penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa keterbatasan ruang di perairan sempit memperbesar dampak dari faktor lingkungan terhadap manuver kapal. Prasetyo dan Hadi (2019) menemukan bahwa kecepatan angin lebih dari 15 knot di area pelabuhan dapat menyebabkan keterlambatan manuver hingga 30% dibandingkan kondisi tenang. Penelitian lain oleh Wibowo dan Santosa (2021) yang menggunakan simulasi manuver kapal di kanal sempit juga memperlihatkan bahwa kondisi arus melintang dapat meningkatkan risiko kegagalan manuver terutama pada kapal dengan sistem kemudi konvensional. Meskipun demikian, belum banyak penelitian yang mengkaji secara mendalam pengaruh cuaca terhadap efisiensi manuver kapal dengan pendekatan kuantitatif di wilayah sempit, sehingga menunjukkan adanya kebutuhan akan studi lebih lanjut di bidang ini.

Selain itu, pendekatan berbasis teknologi dalam bentuk simulasi manuver kapal telah menjadi salah satu metode yang efektif untuk mengevaluasi performa kapal di bawah pengaruh berbagai kondisi lingkungan. Simulasi ini memungkinkan pemodelan berbagai skenario cuaca dan arus tanpa harus menunggu kondisi aktual di lapangan (Yusuf, 2021). Oleh karena itu,

pemanfaatan data simulasi yang dikombinasikan dengan data cuaca aktual memberikan keunggulan dalam pengambilan keputusan berbasis bukti (*evidence-based navigation decision*). Hal ini juga memungkinkan dilakukan analisis prediktif terhadap kondisi yang berpotensi menghambat manuver di masa mendatang, sehingga pelaut dapat melakukan perencanaan yang lebih matang.

Berdasarkan teori-teori dan studi sebelumnya, dapat diasumsikan bahwa terdapat hubungan signifikan antara kondisi cuaca dan efisiensi manuver kapal, terutama dalam konteks perairan sempit yang penuh tantangan. Meskipun tidak secara tersurat dirumuskan dalam bentuk hipotesis, kajian ini berangkat dari asumsi bahwa variasi kondisi cuaca seperti angin dan gelombang memiliki pengaruh yang dapat diukur terhadap indikator manuver kapal, seperti waktu manuver, deviasi arah, dan stabilitas kapal. Kajian teoritis ini menjadi fondasi penting dalam mendesain metodologi penelitian yang mampu menjawab pertanyaan utama terkait pengaruh cuaca terhadap efisiensi manuver kapal di wilayah perairan terbatas.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif dan eksplanatori untuk menganalisis pengaruh kondisi cuaca terhadap efisiensi manuver kapal di perairan sempit. Desain ini dipilih untuk menggambarkan secara sistematis hubungan antara variabel-variabel lingkungan (seperti kecepatan angin, tinggi gelombang, dan arah arus) dengan variabel-variabel manuver kapal (seperti waktu manuver, radius putar, dan deviasi arah haluan) yang diobservasi melalui simulasi dan data lapangan. Pendekatan ini didasarkan pada panduan desain kuantitatif yang dikembangkan oleh Sugiyono (2018) dalam konteks penelitian teknik dan rekayasa.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh aktivitas manuver kapal niaga berbobot antara 500–3000 GT yang dilakukan di perairan sempit, khususnya di jalur pelayaran kanal dan pelabuhan dalam wilayah Indonesia. Sampel dipilih secara purposive berdasarkan kriteria kapal yang memiliki sistem navigasi elektronik (ECDIS) dan Automatic Identification System (AIS), serta mampu merekam data manuver secara real-time. Jumlah sampel sebanyak 15 kegiatan manuver yang dilakukan oleh kapal berbeda dalam kondisi cuaca bervariasi, yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan perangkat Transas Navi-Trainer Pro dan data observasi di Pelabuhan X (nama disamarkan untuk menjaga kerahasiaan operasional).

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui dua metode utama, yaitu observasi lapangan dan simulasi manuver. Observasi dilakukan terhadap aktivitas manuver kapal pada kondisi cuaca berbeda (angin, gelombang, dan arus) dengan mencatat waktu manuver,

perubahan arah, dan radius putar menggunakan alat bantu AIS, GPS kapal, dan anemometer pelabuhan. Sementara itu, simulasi manuver dilakukan untuk memodelkan berbagai skenario cuaca menggunakan data historis dari BMKG dan mengamati respon kapal terhadap setiap perubahan kondisi lingkungan. Instrumen utama yang digunakan adalah software simulasi navigasi Transas, serta lembar observasi manual yang telah diuji validitasnya dengan nilai korelasi $>0,7$ dan reliabilitas sebesar $0,85$, menunjukkan tingkat keandalan yang tinggi (Siregar, 2020).

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan pendekatan statistik deskriptif dan inferensial. Uji normalitas dilakukan sebagai prasyarat analisis parametrik. Untuk menguji pengaruh variabel cuaca terhadap efisiensi manuver kapal, digunakan regresi linear berganda dengan model sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

Keterangan model:

Y = Efisiensi manuver kapal (diukur dari waktu manuver dalam detik)

X_1 = Kecepatan angin (dalam knot)

X_2 = Tinggi gelombang (dalam meter)

X_3 = Arah dan kecepatan arus (dalam knot dan derajat)

β_0 = Konstanta

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Koefisien regresi masing-masing variabel bebas

ε = Error/residual

Model ini mengacu pada pendekatan analisis regresi linear sebagaimana dijelaskan oleh Ghozali (2016), yang menyatakan bahwa regresi linear berganda cocok digunakan untuk menganalisis hubungan simultan antara beberapa variabel bebas terhadap satu variabel terikat.

Hasil pengujian model menunjukkan bahwa seluruh variabel bebas memiliki signifikansi ($p < 0,05$), yang berarti berpengaruh nyata terhadap efisiensi manuver kapal. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar $0,78$ menunjukkan bahwa 78% variasi efisiensi manuver kapal dapat dijelaskan oleh variasi kondisi cuaca yang diamati. Sisanya sebesar 22% dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak diamati dalam penelitian ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan, terhitung dari bulan Maret hingga Mei 2025, dengan lokasi observasi utama di Perairan Sempit Pelabuhan X yang merupakan salah satu jalur pelayaran tersibuk di kawasan pantai barat Indonesia. Data dikumpulkan dari 15 kegiatan manuver kapal dengan bobot antara $500\text{--}3000$ GT, yang dilakukan baik melalui

pengamatan langsung di lapangan maupun melalui simulasi berbasis perangkat lunak Transas Navi-Trainer Pro. Seluruh kegiatan manuver dilakukan pada berbagai kondisi cuaca, dengan variasi kecepatan angin antara 5–25 knot, tinggi gelombang antara 0,5–2,5 meter, serta arah dan kecepatan arus yang bervariasi.

Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan regresi linear berganda, sebagaimana dijelaskan dalam bagian metode sebelumnya. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara variabel-variabel cuaca terhadap efisiensi manuver kapal. Berikut disajikan Tabel 1 yang merangkum hasil analisis regresi linear berganda:

Tabel 1. Hasil Analisis Regresi Linear Berganda Pengaruh Cuaca terhadap Efisiensi Manuver Kapal

Variabel Bebas	Koefisien Regresi (β)	Sig. (p-value)
Kecepatan Angin (X_1)	0,412	0,003
Tinggi Gelombang (X_2)	0,295	0,019
Kecepatan & Arah Arus (X_3)	0,378	0,007
Konstanta (β_0)	5,482	-
R^2	0,78	-

Sumber: Hasil Pengolahan Data Primer, 2025.

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa semua variabel bebas memiliki nilai signifikansi ($p < 0,05$), yang berarti berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi manuver kapal. Nilai R^2 sebesar 0,78 menunjukkan bahwa 78% variasi efisiensi manuver kapal dapat dijelaskan oleh variasi kecepatan angin, tinggi gelombang, dan arus, sementara sisanya sebesar 22% dijelaskan oleh faktor lain di luar model ini.

Hasil ini mendukung teori dasar manuverabilitas kapal yang menyatakan bahwa faktor lingkungan berperan besar dalam menentukan performa manuver kapal (Santosa & Wibowo, 2021). Kecepatan angin yang tinggi, terutama angin silang, memperbesar deviasi arah kapal saat melakukan manuver dan meningkatkan radius putar kapal. Tinggi gelombang yang besar memperlambat respon kapal terhadap perintah kemudi akibat ketidakstabilan pada lambung kapal, sedangkan arus yang berlawanan arah atau melintang mengakibatkan pergeseran arah haluan kapal secara tidak terkontrol (Simatupang, 2020).

Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Prasetyo dan Hadi (2019) yang menyatakan bahwa kecepatan angin di atas 15 knot di pelabuhan menyebabkan waktu manuver meningkat secara signifikan. Selain itu, temuan ini memperkuat studi Yusuf (2021) yang menunjukkan bahwa integrasi data cuaca dalam perencanaan navigasi terbukti meningkatkan efisiensi dan keselamatan pelayaran.

Implikasi dari hasil ini, secara teoritis, menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan sebagai alat bantu prediktif untuk memperkirakan efisiensi manuver berdasarkan data cuaca aktual. Secara terapan, hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam

penyusunan prosedur navigasi yang berbasis data dan responsif terhadap dinamika cuaca. Penelitian ini juga mendorong otoritas pelabuhan untuk meningkatkan penggunaan teknologi prediksi cuaca dalam mendukung keputusan navigasi kapal di perairan sempit.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kondisi cuaca, khususnya kecepatan angin, tinggi gelombang, dan arus laut, berpengaruh signifikan terhadap efisiensi manuver kapal di perairan sempit, yang ditunjukkan melalui peningkatan waktu manuver dan penurunan akurasi pengendalian kapal; hal ini sejalan dengan temuan Santosa dan Wibowo (2021) serta memperkuat hasil penelitian Prasetyo dan Hadi (2019) bahwa lingkungan eksternal merupakan faktor krusial dalam operasi pelayaran terbatas. Dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,78, model regresi yang digunakan cukup kuat untuk menjelaskan variasi efisiensi manuver berdasarkan variabel cuaca, meskipun perlu kehati-hatian dalam menggeneralisasi temuan ini ke jenis kapal atau wilayah perairan lain yang berbeda karakteristiknya. Oleh karena itu, disarankan agar pihak pelabuhan dan operator kapal mengintegrasikan sistem prediksi cuaca secara real-time dalam perencanaan navigasi serta menggunakan perangkat simulasi manuver untuk pelatihan antisipatif terhadap skenario cuaca ekstrem sebagaimana dianjurkan oleh Yusuf (2021) dan Simatupang (2020). Keterbatasan penelitian ini terletak pada cakupan sampel yang terbatas pada satu wilayah pelabuhan serta penggunaan simulasi berbasis data historis, sehingga penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengembangkan model prediktif berbasis machine learning dengan cakupan wilayah dan jenis kapal yang lebih bervariasi guna meningkatkan generalisasi dan akurasi rekomendasi operasional pelayaran (BMKG, 2022; Siregar, 2020).

DAFTAR REFERENSI

- BMKG. (2022). *Laporan Data Cuaca Maritim Tahun 2021–2022*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- BMKG. (2022). *Laporan Tahunan Cuaca Ekstrem dan Dampaknya di Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Ghozali, I. (2016). *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 23*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Prasetyo, A., & Hadi, S. (2019). Analisis pengaruh kecepatan angin terhadap manuver kapal di perairan pelabuhan. *Jurnal Transportasi Laut*, 6(1), 45–53.
- Santosa, T., & Wibowo, D. (2021). Evaluasi parameter manuver kapal dalam simulasi navigasi perairan sempit. *Jurnal Teknologi Maritim*, 10(1), 15–24.

- Siregar, E. (2020). *Statistika Penelitian Kuantitatif: Teori dan Aplikasi untuk Penelitian Teknik*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Simatupang, R. (2020). Pengaruh faktor lingkungan terhadap performa navigasi kapal. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Transportasi Laut*, 9(2), 34–42.
- Sitorus, J. (2020). Studi tentang risiko navigasi di perairan sempit akibat perubahan cuaca. *Jurnal Ilmu Kelautan Indonesia*, 12(2), 88–96.
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kombinasi (Mix Methods)*. Bandung: Alfabeta.
- Wibowo, D., & Santosa, T. (2021). Evaluasi kinerja manuver kapal di jalur pelayaran sempit menggunakan simulasi. *Jurnal Teknologi Maritim*, 10(1), 31–40.
- Yusuf, M. (2021). Pengaruh lingkungan terhadap stabilitas dan manuverabilitas kapal di perairan tropis. *Jurnal Maritim Nusantara*, 5(2), 64–72.