

PERENCANAAN FASILITAS PERAIRAN PELABUHAN PENYEBERANGAN JUATA LAUT TARAKAN BERDASARKAN ANALISIS KEDALAMAN DAN KEBUTUHAN

Muh Yusril Syam^{1*}, Muhammad Arsyad¹, Ainun Chandra Puspa Ningrum¹

¹ Program Studi Teknik Perkapalan, Politeknik Batulicin

*Corresponding author: yusril@politeknikbatulicin.ac.id

Article history

Received:
23-04-2026
Accepted:
11-06-2026
Published:
30-06-2026

Copyright © 2026
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan



Abstrak

Transportasi perairan di Kota Tarakan memiliki peran strategis dalam mobilitas penumpang dan distribusi barang, namun masih menghadapi keterbatasan fasilitas pelabuhan, terutama pada aspek kedalaman perairan dan kelengkapan sarana. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan serta merencanakan fasilitas perairan Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut secara adaptif berbasis kondisi saat ini. Metode yang digunakan meliputi analisis pasang surut dengan metode *least square*, analisis gelombang berbasis data ECMWF, analisis angin menggunakan *Windrose*, serta evaluasi batimetri dan perhitungan kebutuhan fasilitas perairan mengacu pada pedoman Ditjen Hubla (2014). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi gelombang ($SWH \leq 0,77$ m) dan angin relatif rendah hingga sedang sehingga tidak menjadi kendala utama operasional. Namun, kondisi batimetri menunjukkan eksistensi zona dangkal (<5 m) yang berpotensi menghambat navigasi terutama saat surut. Perhitungan kebutuhan fasilitas perairan secara teknis telah memenuhi standar, tetapi memerlukan penyesuaian terhadap kondisi hidrografi aktual. Simpulan yang didapat menunjukkan bahwa perencanaan fasilitas perairan perlu dilakukan dengan pendekatan *site-specific* dan adaptif melalui pemanfaatan koridor kedalaman alami serta pengerukan terbatas pada area kritis guna meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan operasional pelabuhan.

Kata Kunci: pasang surut (*least square*), batimetri, gelombang (ECMWF), windrose

Abstract

Water transport in Tarakan plays an important role in passenger mobility and goods distribution. However, port operations still face limitations related to water depth and supporting infrastructure. This study aims to analyse the requirements and plan the water-based facilities of Juata Laut Ferry Port using an adaptive approach based on existing site conditions. The methodology includes tidal analysis using the least squares method, wave analysis based on ECMWF data, wind analysis with Windrose, and bathymetric evaluation in accordance with the Directorate General of Water Transport (2014) guidelines. The results show that wave conditions ($SWH \leq 0.77$ m) and wind conditions are generally low to moderate, posing no significant operational constraints. Bathymetric analysis, however, identifies shallow areas (<5 m) that may interfere with navigation, particularly during low tide. Technical calculations indicate that the required waterway facilities comply with regulatory standards but need adjustment to local hydrographic conditions. Therefore, port facility planning should adopt a site-specific and adaptive approach by utilising natural depth corridors and limited dredging in critical areas to improve navigational safety, operational efficiency, and long-term sustainability.

Keywords: Tides (*Least Squares*), *Bathymetry*, *Waves (ECMWF)*, *Wind Rose*

1.0 PENDAHULUAN

Transportasi perairan merupakan pilar utama mobilitas dan distribusi logistik di wilayah kepulauan, khusus bagi

Kota Tarakan sebagai daerah terluar Kalimantan Utara [1], [2]. Dalam ekosistem ini, pelabuhan berfungsi sebagai simpul utama yang mengintegrasikan pergerakan penumpang dan barang sekaligus mendorong

pertumbuhan ekonomi regional [3], [4]. Sebagai infrastruktur strategis, Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut memegang peran penting dalam mendukung konektivitas antarpulau serta memperkuat sektor perdagangan dan perikanan lokal.

Namun demikian, kondisi eksisting menunjukkan bahwa masih terdapat keterbatasan pada fasilitas pelabuhan, terutama fasilitas perairan seperti kedalaman air pada area kolam dan alur pelayaran berada di bawah standar aman minimum untuk pelayaran. Permasalahan ini menyebabkan operasional pelabuhan belum berjalan optimal akibat keterbatasan akses kapal serta kian tinggi potensi risiko keselamatan pelayaran seperti kandas dan gangguan navigasi [5], [6]. Di sisi lain, peningkatan kebutuhan layanan transportasi laut yang ditunjukkan oleh arus mobilitas penumpang dan barang tidak diimbangi dengan kesiapan fasilitas pelabuhan, sehingga menimbulkan kesenjangan antara kapasitas layanan dan permintaan [7], [8]. Pemerintah melalui Kementerian Perhubungan telah menghadirkan kapal rede sebagai kapal *feeder* untuk menjangkau pelabuhan dengan keterbatasan fasilitas, namun solusi tersebut belum menyentuh permasalahan utama secara struktural, yaitu keterbatasan fasilitas perairan pelabuhan [9], [10], [11].

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengembangan pelabuhan secara umum berfokus pada peningkatan kinerja operasional, pelayanan, serta kapasitas fasilitas darat seperti dermaga dan terminal [12], [13], [14]. Penelitian lain menekankan arti penting efisiensi pelayanan pelabuhan dalam meningkatkan daya saing logistik dan kepuasan pengguna jasa [15]. Selain itu, kajian mengenai konsep *smart port* dan *green port* juga berkembang dalam rangka meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan lingkungan pelabuhan [16], [17]. Di sisi lain, penelitian terkait fasilitas perairan menunjukkan bahwa kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan merupakan faktor kunci dalam mendukung keselamatan dan kelancaran operasional, sehingga kegiatan pengerukan (*dredging*) menjadi bagian penting dalam pengembangan pelabuhan [18], [19]. Namun demikian, mayoritas studi terdahulu masih fokus pada aspek-aspek tertentu secara parsial. Belum banyak penelitian yang mengintegrasikan analisis kebutuhan operasional dengan realitas fasilitas perairan yang ada secara komprehensif, terutama pada pelabuhan penyeberangan di daerah perbatasan [20], [21].

Permasalahan utama penelitian ini berakar pada keterbatasan kedalaman alur dan kolam pelabuhan serta fasilitas perairan yang belum memadai untuk mendukung kebutuhan operasional. Studi ini menawarkan kebaruan melalui integrasi evaluasi teknis dan kebutuhan riil untuk merumuskan perencanaan fasilitas yang kontekstual dan dapat diterapkan di wilayah perbatasan [22], [23], [24].

Penelitian ini bertujuan menganalisis kebutuhan, permasalahan kedalaman, serta perencanaan fasilitas perairan di Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut Tarakan. Urgensi studi didorong oleh ketimpangan antara peningkatan aktivitas perairan dan kesiapan fasilitas yang berpotensi menurunkan efisiensi dan keselamatan pelayaran. Lebih lanjut, penelitian diharapkan memberikan kontribusi teoritis serta rujukan kebijakan

bagi pengembangan pelabuhan yang berkelanjutan [25], [26], [27].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menjawab kondisi eksisting fasilitas perairan Pelabuhan Juata Laut, kesesuaian kebutuhan fasilitas terhadap standar teknis yang berlaku, serta perencanaan fasilitas perairan secara adaptif sesuai kondisi hidrografi dan operasional pelabuhan. Dengan demikian, penelitian diharapkan mampu menghasilkan rekomendasi perencanaan fasilitas perairan yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

2.0 METODE

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut di Kota Tarakan, Kalimantan Utara. Pelabuhan ini melayani transportasi penyeberangan antarpulau, terutama pada rute Juata Laut–Ancam dengan kapal ferry Ro-Ro KMP Manta II milik PT. ASDP Indonesia Ferry. Penggunaan satu kapal dalam penelitian ini didasarkan pada kondisi operasional lintasan penyeberangan Juata Laut–Ancam yang dilayani secara dominan oleh KMP Manta II sebagai kapal aktif pada rute tersebut. Adapun objek yang dikaji meliputi kondisi eksisting fasilitas pelabuhan, terutama fasilitas perairan seperti alur pelayaran, kolam pelabuhan, dan area sandar, serta konektivitas langsung dengan wilayah hinterland yang memengaruhi permintaan layanan.

Data penelitian diperoleh melalui data primer yang dikumpulkan melalui pengamatan langsung di lapangan. Sementara itu, data sekunder mencakup spesifikasi kapal, data pasang surut, pola gelombang, informasi angin, serta peta batimetri. Informasi mengenai pasang surut dan angin bersumber dari BMKG, sedangkan data gelombang diperoleh dari model numerik global ECMWF [28].

2.2. Definisi Operasional

Variabel tetap dalam penelitian ini meliputi lokasi pelabuhan, jenis layanan penyeberangan, dan karakteristik kapal (KMP Manta II). Variabel bebas meliputi kondisi oseanografi seperti pasang surut, arus, gelombang, angin, serta kondisi batimetri perairan [29].

Sementara itu, variasi yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi analisis perubahan elevasi muka air laut, variasi parameter gelombang (MWP, MWD, SWH), distribusi arah dan kecepatan angin (*windrose*), serta variasi kebutuhan dimensi fasilitas perairan berdasarkan kondisi lingkungan dan kapal. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi komprehensif terhadap pengaruh kondisi lingkungan terhadap kebutuhan fasilitas pelabuhan.

2.3. Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang diterapkan adalah pendekatan kuantitatif berbasis perencanaan teknis pelabuhan. Untuk memodelkan fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu, digunakan analisis pasang surut dengan metode *least square* [30]. Metode ini banyak digunakan karena memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memodelkan pola periodik, meskipun memiliki keterbatasan dalam menangkap fenomena ekstrem.

Analisis gelombang dilakukan menggunakan data ECMWF dengan parameter *Mean Wave Period* (MWP), *Mean Wave Direction* (MWD), dan *Significant Wave Height* (SWH dari data ECMWF. Data diambil selama 10 tahun terakhir berdasarkan koordinat lokasi pelabuhan [31].

Analisis angin dilakukan dengan metode *windrose* menggunakan data BMKG untuk mengetahui distribusi arah dan kecepatan angin [32]. Kemudian dilakukan analisis batimetri untuk menentukan kedalaman perairan eksisting sebagai dasar perencanaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan. Berdasarkan seluruh data tersebut, dilakukan perhitungan kebutuhan fasilitas perairan pelabuhan sesuai standar teknis (PIANC, OCDI, USACE) [33]. Secara keseluruhan, tahapan analisis dalam penelitian ini merujuk pada pemodelan matematis menurut [34], yang dirumuskan persamaan (1) - (9).

Luas area labuh dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2):

$$A = \pi \times R^2 \text{ (m}^2\text{)} \quad (1)$$

$$R = L + 6D + 30 \text{ (m)}. \quad (2)$$

Keterangan variabel yang digunakan adalah A sebagai area labuh, R sebagai jari-jari area labuh, L sebagai panjang kapal (LOA), dan D sebagai kedalaman perairan tempat labuh.

Luas perairan untuk tempat sandar kapal dihitung dengan rumus:

$$A = (1,5 \text{ s/d } 1,8)L \times (1,2 \text{ s/d } 1,5)L \text{ (m}^2\text{)} \quad (3)$$

dengan variabel L yang menunjukkan panjang kapal (LOA).

Luas areal kolam putar dihitung dengan rumus:

$$A = \pi \times R^2 \text{ (m}^2\text{)} \quad (4)$$

$$D > 2 L \text{ (m)} \quad (5)$$

serta memenuhi syarat diameter $D > 2 L \text{ (m)}$, dengan keterangan variabel meliputi R sebagai jari-jari kolam putar yang bernilai setengah dari diameter (D/2), D sebagai diameter kolam putar, dan L sebagai panjang kapal (LOA).

Luas perairan pada area pemanduan dan penundaan ditentukan melalui rumus:

$$A = L \times P \text{ (m}^2\text{)} \quad (6)$$

dengan L merupakan lebar alur dan P merupakan panjang alur.

Penentuan lebar alur pelayaran didasarkan pada rumus (7), sedangkan kedalaman alur pelayaran dihitung menggunakan rumus (8) dan (9).

$$6B + 30 \text{ (m)} \quad (7)$$

$$d = D + UKC \quad (8)$$

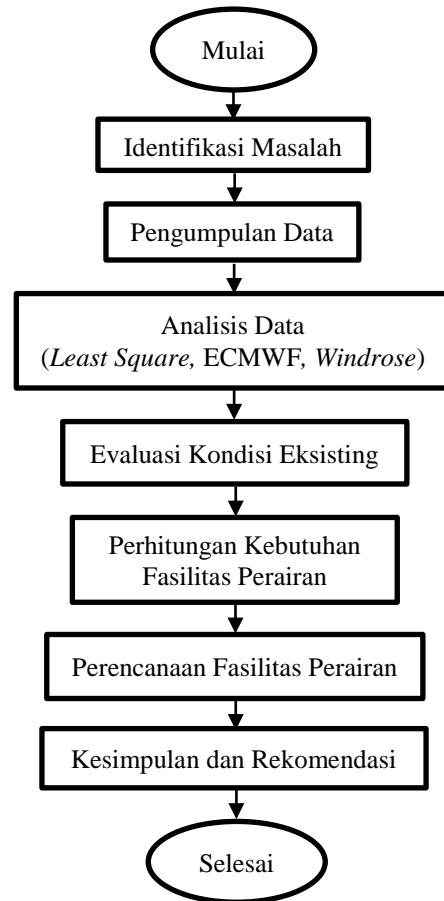
$$d = D + UKC + S + W + Sed. \quad (9)$$

Berdasarkan rumus (7), perhitungan lebar alur menggunakan variabel B sebagai lebar kapal. Untuk kedalaman alur di dalam pelabuhan dihitung berdasarkan rumus (8), sedangkan kedalaman alur di luar pelabuhan

dihitung berdasarkan rumus (9). Keterangan parameter alur pelayaran tersebut meliputi D sebagai sarat muatan penuh kapal, UKC sebagai ruang bebas lunas kapal (+10%-20% d), S sebagai squat kapal (+10% draft), H sebagai tinggi gelombang maksimum, W sebagai allowance pengaruh gelombang, dan Sed sebagai allowance sedimentasi dan faktor keselamatan.

2.4. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian secara menyeluruh disajikan dalam bentuk *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian
Sumber : Olahan Peneliti, 2026

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambaran Umum Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut

Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut Tarakan merupakan pelabuhan penyeberangan yang dikelola oleh pemerintah Kota Tarakan dan berfungsi sebagai penghubung utama jalur transportasi laut di wilayah Kalimantan Utara. Pelabuhan ini melayani beberapa rute strategis, yaitu Tarakan–Ancam, Tarakan–Tana Tidung, dan Tarakan–Nunukan, dengan frekuensi perjalanan mencapai satu trip dalam tiga hari. Keberadaan pelabuhan ini menjadi sangat penting mengingat posisi Kota Tarakan sebagai wilayah kepulauan yang sangat bergantung pada transportasi laut.

Dari sisi fasilitas eksisting, Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut memiliki areal pelabuhan sebesar 1.915 m² dengan dermaga tipe *dolphin* sebanyak 1 unit berukuran 26 m × 8 m. Alur pelayaran memiliki panjang ±20 NM dengan lebar 950 m dan kedalaman 10 m, sedangkan kolam pelabuhan memiliki kedalaman sekitar 5 m. Secara umum, kondisi ini menunjukkan bahwa fasilitas perairan masih terbatas, terutama pada kolam pelabuhan yang relatif dangkal dibandingkan dengan kebutuhan operasional kapal.

Wilayah *hinterland* Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut mencakup seluruh kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Utara, terutama daerah yang terhubung melalui jalur *ferry* seperti Bulungan, Tana Tidung, dan Nunukan. Sebaran wilayah cakupan tersebut disajikan secara rinci pada Gambar 2.



Gambar 2: Peta Wilayah *Hinterland* Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut
 Sumber : Dinas Perhubungan Provinsi Kalimantan Utara, 2023

Gambar 2 menunjukkan bahwa pelabuhan ini memegang andil krusial dalam memperlancar jalur logistik serta menghubungkan antarwilayah. Hasil pengamatan ini memperkuat studi sebelumnya [35] yang menegaskan bahwa infrastruktur pelabuhan di daerah kepulauan menjadi pilar utama bagi integrasi wilayah dan pemulihan roda perekonomian.

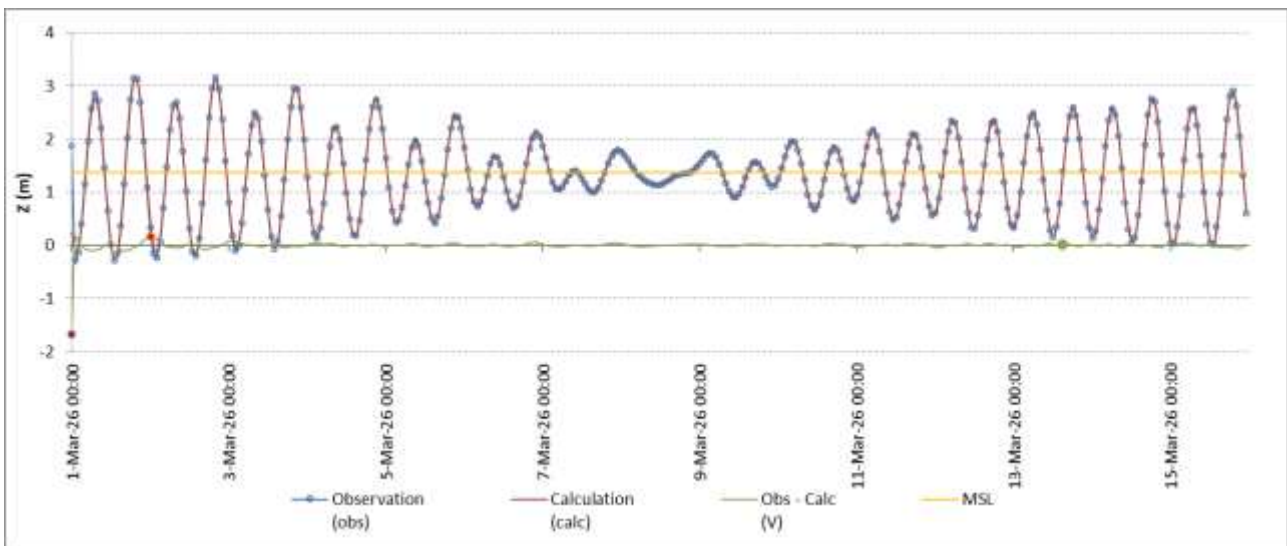
3.2. Data Kapal

Kapal yang menjadi acuan dalam penelitian ini adalah KMP Manta II dengan spesifikasi utama: LOA = 39,38 m, lebar (B) = 10 m, tinggi (H) = 3,3 m, draft (T) = 2 m, dan DWT = 267 ton. Karakteristik kapal ini menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan dimensi fasilitas perairan, seperti kedalaman, lebar alur, serta ukuran kolam putar.

Berdasarkan teori perencanaan pelabuhan, dimensi kapal sangat memengaruhi kebutuhan fasilitas perairan, terutama dalam menentukan kedalaman minimum dan ruang gerak kapal [36]. Maka dari itu, pemilihan kapal contoh dalam analisis ini sudah sejalan dengan metode yang diterapkan pada penelitian-penelitian terdahulu.

3.3. Karakteristik Pasang Surut

Pemodelan fluktuasi muka air laut dalam studi ini memanfaatkan metode kuadrat terkecil (*least square*) yang mengacu pada rekaman data lapangan selama dua Minggu (15 hari). Pengecekan model tersebut digambarkan dalam grafik perbandingan antara data observasi dan hasil perhitungan pada Gambar 3.



Gambar 3: Perbandingan Grafik Elevasi Muka Air Hasil Observasi dan Perhitungan
 Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Gambar 3 menunjukkan hasil perbandingan antara data observasi dan hasil prediksi yang diperoleh berupa data grafik yang saling berimpit dengan selisih relatif kecil, sehingga model dinilai mampu merepresentasikan kondisi pasang surut di lokasi penelitian dengan baik. Berdasarkan hasil validasi, diperoleh nilai kesalahan maksimum (*error*) sebesar ±0,168 m, sedangkan nilai rata-rata galat (MAE) dan *Root Mean Square Error*

(RMSE) tergolong rendah, yang menunjukkan tingkat akurasi model cukup baik untuk analisis perencanaan fasilitas perairan. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang mendekati 1 juga memperlihatkan bahwa hasil prediksi memiliki kesesuaian tinggi terhadap data observasi.

Hasil analisis harmonik menunjukkan bahwa komponen utama pasang surut didominasi oleh komponen semi-diurnal, yaitu M_2 dengan amplitudo 0,81

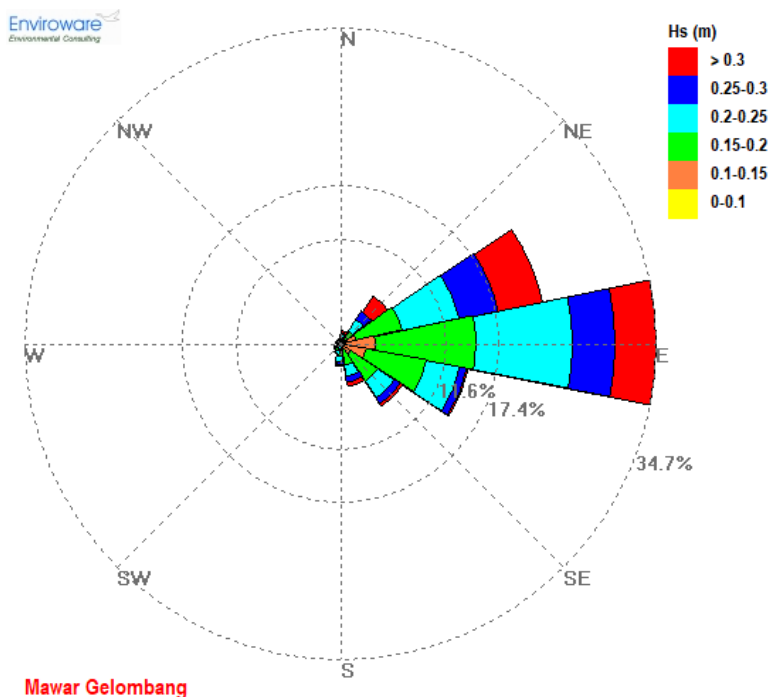
m, diikuti K_2 sebesar 0,37 m, S_2 sebesar 0,32 m, dan K_1 sebesar 0,26 m. Karakteristik komponen penentu ini mengindikasikan bahwa fluktuasi pasang surut di area kajian tergolong tipe mixed semi-diurnal (campuran condong harian ganda). Fenomena ini ditandai dengan munculnya dua siklus pasang dan surut tiap harinya yang memiliki amplitudo berbeda. Di samping itu, parameter hidrodinamika yang diperoleh meliputi elevasi rerata air laut (MSL) setinggi 1,37 m, pasang tertinggi (HWS) pada nilai 3,158 m, serta surut terendah (LWS) mencapai -0,288 m. Nilai tunggang pasang surut yang cukup besar menunjukkan adanya fluktuasi muka air yang berpengaruh langsung terhadap kedalaman efektif perairan pelabuhan.

Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa analisis pasang surut tidak hanya digunakan untuk mengetahui tipe pasang surut, tetapi juga menjadi dasar utama dalam menentukan kebutuhan kedalaman fasilitas perairan. Nilai LWS digunakan sebagai acuan dalam penentuan kedalaman minimum alur pelayaran, kolam sandar, area labuh, dan kolam putar agar kapal tetap dapat beroperasi secara aman pada kondisi surut terendah. Dengan mempertimbangkan sarat kapal rencana dan faktor keselamatan, hasil analisis ini menjadi dasar dalam evaluasi kebutuhan pengerukan serta penentuan elevasi operasional fasilitas pelabuhan.

3.4. Karakteristik Arus dan Gelombang

Berdasarkan hasil analisis data gelombang dari ECMWF selama periode 10 tahun terakhir, karakteristik gelombang di sekitar Pelabuhan Juata Laut tergolong rendah, dengan nilai *Significant Wave Height* (SWH) maksimum sebesar 0,77 m, *Mean Wave Period* (MWP) maksimum 5,60 detik, dan *Mean Wave Direction* (MWD) dominan pada arah $\pm 78,89^\circ$ (timur-timur laut). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi gelombang secara umum berada pada kategori rendah (< 1 m), sehingga relatif aman bagi operasional kapal penyeberangan. Situasi ini aman karena tinggi gelombang di bawah 1 meter tergolong masih berada dalam batas operasional aman kapal ferry Ro-Ro pada perairan terlindung dan semi terlindung [37].

Gambar 4 yang menampilkan mawar gelombang, terlihat bahwa distribusi arah didominasi oleh gelombang dari sektor timur (E) hingga timur laut (NE) dengan frekuensi terbesar sekitar 34,7%, diikuti arah timur-tenggara dengan kontribusi lebih kecil ($\pm 17,4\%$ dan 6%). Sebagian besar tinggi gelombang berada pada interval 0,1–0,3 m, sedangkan gelombang $> 0,3$ m hanya terjadi dalam persentase kecil, yang menegaskan bahwa perairan didominasi gelombang rendah.



Gambar 4: Mawar Gelombang Daerah Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut
 Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Kondisi yang ditampilkan pada Gambar 4 mengindikasikan bahwa perairan Pelabuhan Juata Laut termasuk kategori perairan terlindung atau semi tertutup, sehingga energi gelombang yang terbentuk relatif kecil. Hasil ini sejalan dengan penelitian sejenis di wilayah perairan kepulauan Indonesia yang menunjukkan dominasi gelombang rendah pada kawasan dengan perlindungan alami. Namun, aspek kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis statistik jangka panjang

(10 tahun) dengan interpretasi spasial melalui mawar gelombang, sehingga mampu mengidentifikasi pola dominasi arah dan intensitas gelombang secara lebih spesifik pada lokasi studi. Temuan ini memberikan gambaran yang lebih presisi terkait arah dominan gelombang yang berpengaruh langsung terhadap perencanaan fasilitas pelabuhan.

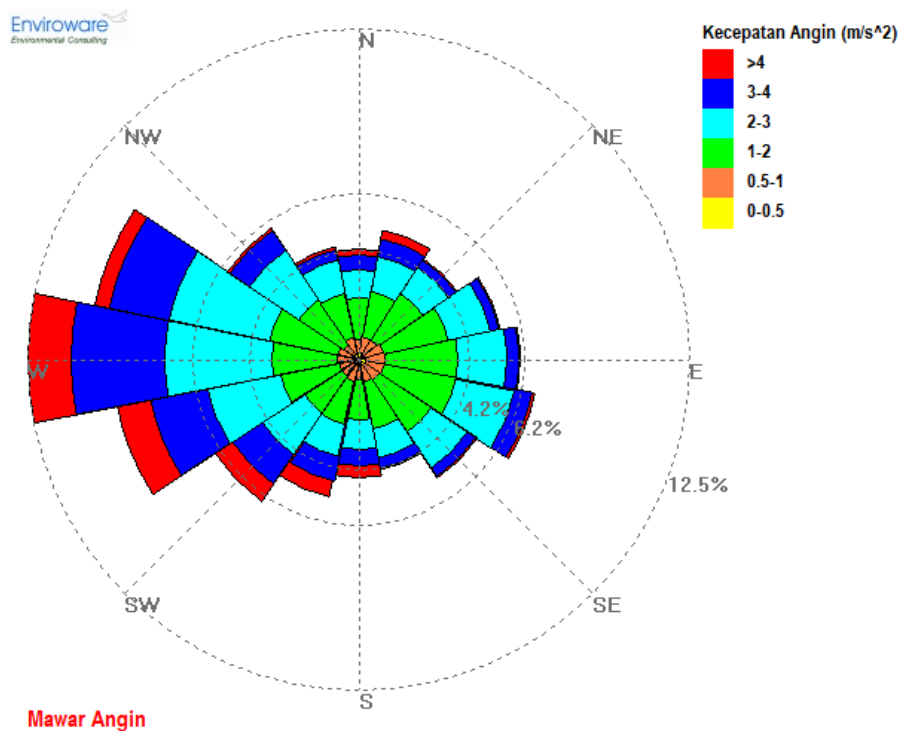
Meskipun tinggi gelombang relatif kecil, arah dominan gelombang dari timur-timur laut menjadi faktor

kunci dalam desain tata letak pelabuhan. Orientasi dermaga dan alur pelayaran perlu dirancang tidak tegak lurus terhadap arah datang gelombang untuk meminimalkan gaya gelombang terhadap kapal saat sandar dan bermanuver. Selain itu, kondisi tinggi gelombang yang minimal menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap bangunan pelindung seperti *breakwater* bukan prioritas, sehingga efisiensi biaya pembangunan dapat optimal.

Dengan demikian, hasil analisis ini menjadi dasar penting dalam penentuan orientasi dermaga, arah alur pelayaran, serta evaluasi kebutuhan struktur pelindung. Secara keseluruhan, kondisi gelombang yang relatif tenang mendukung pengembangan Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut sebagai pelabuhan penyeberangan yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

3.5. Karakteristik Angin

Berdasarkan hasil analisis data angin yang disajikan dalam Gambar 5, terlihat bahwa arah angin didominasi oleh pergerakan dari arah barat (W) hingga barat laut (NW) dengan frekuensi kemunculan tertinggi. Sementara itu, kontribusi angin dari arah timur (E) dan wilayah dekat arah tersebut relatif lebih kecil. Dari sisi kecepatan, sebagian besar angin berada pada interval 1–3 m/s, sedangkan kecepatan lebih tinggi (>3–4 m/s hingga >4 m/s) hanya muncul dalam persentase terbatas dan secara umum tetap berasal dari sektor barat. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik angin di lokasi penelitian tergolong rendah hingga sedang.



Gambar 5: Mawar Angin Daerah Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut
Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Pola pada Gambar 5 mencerminkan pengaruh sistem angin regional di wilayah kepulauan yang cenderung memiliki energi angin terbatas akibat hambatan daratan yang pendek. Hasil ini juga konsisten dengan karakteristik gelombang terdahulu yang telah dianalisis. Arah dominan angin berkontribusi terhadap arah pembentukan gelombang. Namun, aspek kebaruan dalam penelitian ini terletak pada identifikasi ketidaksamaan arah dominan antara angin (barat–barat laut) dan gelombang (timur–timur laut). Perbedaan ini mengindikasikan eksistensi pengaruh faktor lain seperti kondisi geografis lokal, pantulan gelombang, serta interaksi arus dan morfologi perairan yang membentuk pola gelombang tanpa pengaruh searah dengan angin dominan secara menyeluruh.

Dalam perencanaan fasilitas pelabuhan, tidak dapat hanya mengacu pada satu parameter (angin atau gelombang saja), melainkan harus mempertimbangkan

kedua kombinasi tersebut. Dominasi angin dari arah barat berimplikasi pada potensi gaya dorong lateral terhadap kapal saat proses sandar dan lepas sandar, sehingga orientasi dermaga dan alur pelayaran perlu dirancang tidak tegak lurus terhadap arah angin dominan. Selain itu, meskipun kecepatan angin relatif rendah, efek secara akumulatif terhadap manuver kapal tetap signifikan, terutama pada kondisi pasang surut rendah atau ruang gerak terbatas.

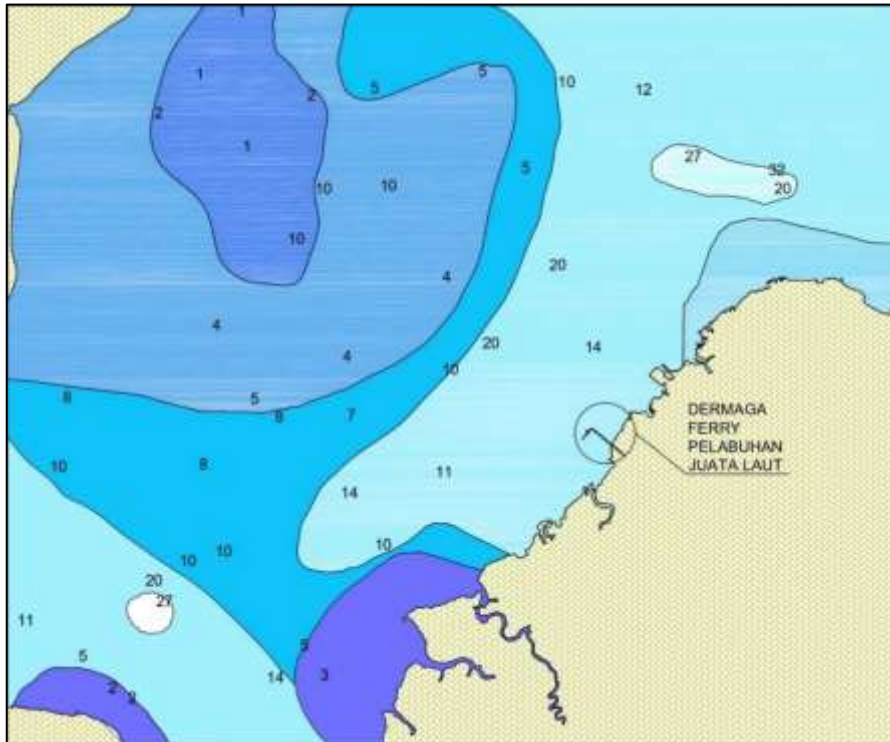
Secara keseluruhan, kondisi angin di Pelabuhan Juata Laut mendukung operasional pelabuhan, namun tetap memerlukan pertimbangan teknis yang tepat agar aspek keselamatan dan efisiensi operasional dapat terjamin secara optimal.

3.6. Hasil Pengolahan Peta Batimetri

Berdasarkan peta batimetri Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut yang ditampilkan pada Gambar 6, kedalaman

perairan di sekitar lokasi dermaga feri berada pada kisaran $\pm 10\text{--}14$ m, sehingga secara umum telah memenuhi kebutuhan operasional kapal penyeberangan. Area ini terhubung langsung dengan perairan yang lebih dalam ke arah laut terbuka, dengan kedalaman mencapai $20\text{--}32$ m, yang secara alami berfungsi sebagai jalur akses

utama kapal. Namun demikian, pada area dekat garis pantai dan beberapa bagian perairan sekitar pelabuhan masih terdapat zona dangkal dengan kedalaman sekitar $1\text{--}5$ m yang membentuk pola tertentu, mengindikasikan keberadaan proses sedimentasi aktif.



Gambar 6: Peta Batimetri Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut
Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Secara teoritis, kondisi batimetri Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut mencerminkan dinamika wilayah pesisir yang dipengaruhi oleh interaksi arus, pasang surut, dan suplai sedimen, sehingga menyebabkan variasi kedalaman yang cukup kontras antara area dalam dan dangkal. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu pada kawasan pelabuhan pesisir yang menunjukkan kecenderungan pendangkalan di area terlindung [38]. Namun, aspek kebaruan penelitian ini terletak pada identifikasi detail distribusi kedalaman yang secara spesifik mengungkap keberadaan “koridor alami” perairan dalam (≥ 10 m) yang dapat dimanfaatkan sebagai alur pelayaran tanpa kebutuhan pengerukan besar, sekaligus mengidentifikasi zona kritis pendangkalan di sekitar kolam pelabuhan.

Oleh karena itu, perencanaan fasilitas pelabuhan dapat dioptimalkan dengan pendekatan berbasis kondisi alami perairan (*nature-based design*), yaitu memanfaatkan jalur perairan dalam yang sudah tersedia untuk alur pelayaran, serta meminimalkan intervensi teknis pada area yang stabil. Sementara itu, zona dangkal (< 5 m) menjadi titik perhatian utama karena berpotensi mengganggu operasional kapal, terutama saat kondisi surut, sehingga diperlukan strategi teknis seperti pengerukan terbatas atau pengaturan ulang tata letak kolam pelabuhan.

Dari sisi variasi kedalaman yang dipengaruhi oleh pasang surut dan sedimentasi, hal ini menunjukkan bahwa faktor hidrodinamika lokal sangat menentukan

keberlanjutan operasional pelabuhan. Sehingga, hasil analisis batimetri ini menjadi dasar penting pada tahap lanjutan, terutama dalam penentuan trase alur pelayaran, penempatan kolam sandar dan area labuh, serta evaluasi kebutuhan pengerukan. Secara keseluruhan, kondisi batimetri Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut cukup mendukung pengembangan fasilitas perairan, namun memerlukan penyesuaian desain yang adaptif untuk mengatasi keterbatasan pada zona dangkal.

3.7. Analisis Kebutuhan Fasilitas Perairan

Analisis kebutuhan fasilitas perairan Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut dilakukan dengan mengacu pada panduan teknis dari Ditjen Hubla Kemenhub (2014) mengenai perancangan rencana induk kepelabuhanan [34], yang mempertimbangkan karakteristik kapal, kondisi perairan, serta aspek keselamatan navigasi.

Perhitungan kebutuhan area labuh kapal mempertimbangkan jumlah kapal, dimensi kapal, serta kedalaman minimum. Berdasarkan persamaan (1) dan (2), diperoleh jari-jari area labuh sebesar $R = 39,38\text{ m} + (6 \times 3,3\text{ m}) + 30\text{ m} = 89,18\text{ m}$. Selanjutnya, luas perairan area labuh dihitung dengan rumus $A = 3,14 \times (89,18\text{ m})^2 = 24.972,6\text{ m}^2$. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh luas area labuh sebesar $24.972,6\text{ m}^2$ dengan jari-jari area $89,18\text{ m}$.

Perhitungan kebutuhan fasilitas perairan meliputi kolam sandar, kolam putar, area pemanduan dan

penundaan, serta alur pelayaran. Kebutuhan luas kolam sandar dihitung berdasarkan persamaan (3), sehingga diperoleh perhitungan $A = 1,8 \times 39,38 \text{ m} \times 1,5 \times 39,38 \text{ m}$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan luas kolam sandar sebesar $A = 4.187,12 \text{ m}^2$. Nilai ini diperoleh berdasarkan panjang kapal (LOA) dan kebutuhan ruang olah gerak. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, luas ini menunjukkan bahwa fasilitas sandar masih perlu dioptimalkan, terutama untuk mengakomodasi pergerakan kapal saat proses sandar dan bongkar muat. Secara teori, ruang sandar yang cukup akan mengurangi risiko tabrakan dan meningkatkan efisiensi operasional.

Selanjutnya, kebutuhan luas kolam putar (*turning basin*) dihitung berdasarkan persamaan (4) dan (5). Dari perhitungan tersebut diperoleh diameter $D = 3 \times 39,38 \text{ m} = 118,14 \text{ m}$, jari-jari $R = 118,14/2 = 59,07 \text{ m}$, serta luas kolam putar $A = 3,14 \times (59,07 \text{ m})^2 = 10.956,3 \text{ m}^2$. Kebutuhan kolam putar diperoleh dengan diameter sebesar 118,14 m (≈ 3 LOA) dan luas area sebesar 10.956,3 m². Nilai ini telah memenuhi standar umum perencanaan pelabuhan (2–3 LOA), sehingga secara teoritis cukup untuk mendukung manuver kapal. Namun, jika dikaitkan dengan kondisi batimetri yang memiliki area dangkal, maka kolam putar harus ditempatkan pada zona dengan kedalaman memadai agar manuver kapal tetap aman.

Selain itu, kebutuhan luas perairan pandu dan tunda dihitung berdasarkan persamaan (6), dengan hasil perkalian $A = 950 \text{ m} \times (20 \text{ NM} \times 1.852 \text{ m})$, yang menghasilkan $A = 950 \text{ m} \times 37.040 \text{ m} = 35.188.000 \text{ m}^2$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa luas area pemanduan dan penundaan mencapai $35.188.000 \text{ m}^2$ yang mencakup seluruh alur pelayaran sepanjang 20 NM dengan lebar 950 m. Luas area ini menunjukkan bahwa ruang gerak kapal dalam wilayah DLK_r sangat besar, sehingga secara operasional mendukung kegiatan navigasi, termasuk proses pemanduan dan pemundaaan kapal. Hal ini sejalan dengan prinsip keselamatan pelayaran yang mensyaratkan ruang gerak yang cukup untuk mengantisipasi pengaruh angin, arus, dan gelombang.

Sementara itu, kebutuhan lebar alur pelayaran dihitung berdasarkan persamaan (7), yaitu $B_{alur} = 6 \times 10 + 30 \text{ (m)} = 90 \text{ m}$. Berdasarkan kriteria teknis, lebar alur pelayaran

diperoleh sebesar 90 m ($6B + 30 \text{ m}$), yang sesuai untuk kondisi navigasi dengan frekuensi rendah dan alur relatif membelok. Nilai ini menunjukkan bahwa alur yang direncanakan cukup untuk menjamin kelancaran pergerakan kapal. Sementara itu, kebutuhan kedalaman alur pelayaran dihitung berdasarkan persamaan (8) dan (9). Untuk alur di dalam pelabuhan diperoleh $d = 2 + 0,4 \text{ m} = 2,4 \text{ m}$, sedangkan untuk alur di luar pelabuhan diperoleh hasil $d = 2 \text{ m} + 0,4 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,077 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 3 \text{ m}$.

Dengan demikian, kebutuhan kedalaman minimum alur pelayaran yang lebih aman diperoleh sebesar $\pm 2,4 \text{ m}$ untuk alur di dalam pelabuhan dan $\pm 3,0 \text{ m}$ untuk alur di luar pelabuhan terhadap datum LWS. Namun, pada beberapa zona dangkal di dekat garis pantai dengan kedalaman sekitar 1–2 m masih terdapat potensi gangguan navigasi, terutama saat surut terendah. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian alur pelayaran agar mengikuti zona perairan yang lebih dalam serta memungkinkan pengerukan lokal pada area kritis.

Estimasi kebutuhan pengerukan dilakukan secara konseptual pada area yang memiliki kedalaman kurang dari kebutuhan minimum. Dengan asumsi area dangkal tertentu memiliki kedalaman eksisting $\pm 2 \text{ m}$ dan target kedalaman rencana sebesar 3 m, maka diperlukan pengerukan sekitar 1 m pada area tersebut. Estimasi ini menunjukkan bahwa kebutuhan pengerukan di Pelabuhan Juata Laut relatif terbatas dan bersifat lokal, sehingga masih memungkinkan dilakukan secara bertahap sesuai prioritas operasional pelabuhan.

Hasil kajian ini memegang peranan krusial dalam studi ini karena menunjukkan bahwa integrasi antara analisis pasang surut, gelombang, dan batimetri mampu menghasilkan perencanaan fasilitas perairan yang lebih adaptif terhadap kondisi eksisting.

3.8. Perencanaan Fasilitas Perairan

Berdasarkan pengolahan data hidro-oseanografi yang telah dilakukan, diperoleh parameter-parameter yang menentukan kecocokan fasilitas pelabuhan. Rekapitulasi hasil kesesuaian fasilitas perairan Pelabuhan Juata Laut terhadap standar operasional dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Evaluasi Kesesuaian Fasilitas Perairan Pelabuhan Juata Laut

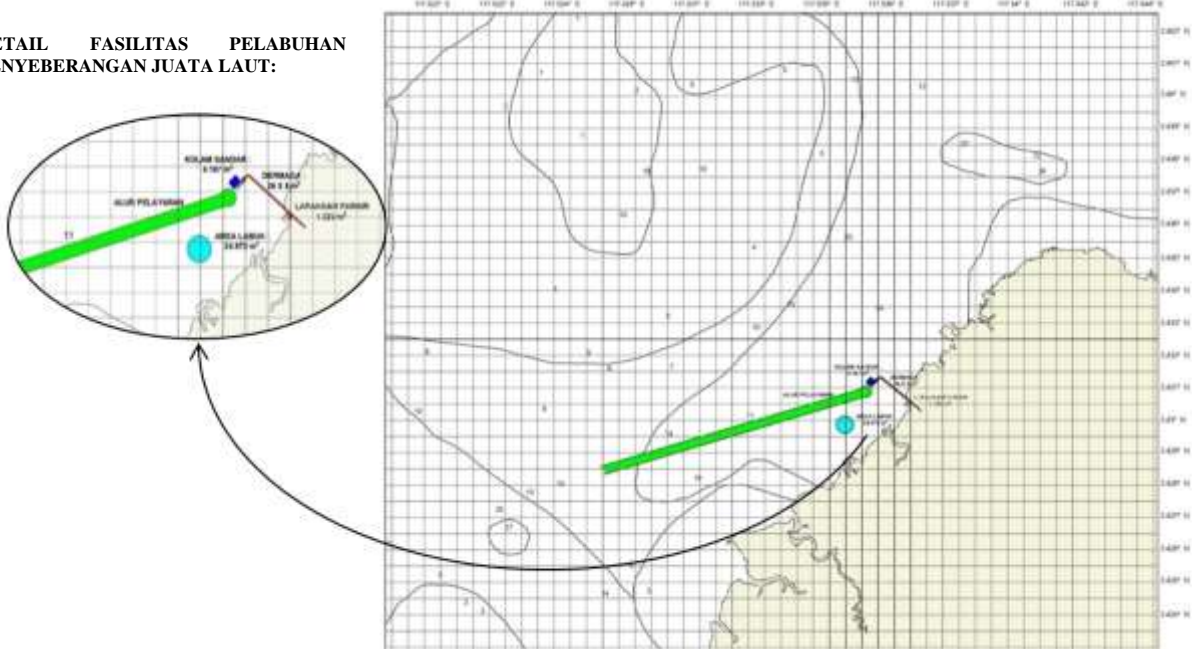
Parameter	Hasil Analisis	Standar	Status
Tipe pasang surut	Mixed Semi-Diurnal	Identifikasi harmonik	Memenuhi
Tinggi gelombang maksimum	0,77 m	<1 m aman untuk ferry	Memenuhi
Arah gelombang dominan	Timur–Timur Laut	Sesuai kondisi perairan terlindung	Memenuhi
Kecepatan angin dominan	1–3 m/s	Rendah–sedang	Memenuhi
Kedalaman area labuh	10–14 m	$\geq 3,0 \text{ m}$	Memenuhi
Kedalaman kolam sandar	10–14 m	$\geq 2,4 \text{ m}$	Memenuhi
Kedalaman alur pelayaran	5–14 m	$\geq 3,0 \text{ m}$	Memenuhi
Luas area labuh	24.972,6 m ²	24.972,6 m ²	Memenuhi
Luas kolam sandar	4.187,1 m ²	4.187,1 m ²	Memenuhi
Luas kolam putar	10.956,3 m ²	Diameter ≥ 3 LOA	Memenuhi
Lebar alur pelayaran	90 m	90 m	Memenuhi
Zona dangkal dekat pantai	1–2 m	$\geq 3,0 \text{ m}$	Belum Memenuhi
Kebutuhan pengerukan	$\pm 1 \text{ m}$ (lokal)	Menyesuaikan kedalaman rencana	Perlu Penanganan

Berdasarkan hasil evaluasi, sebagian besar fasilitas perairan Pelabuhan Juata Laut telah memenuhi kriteria panduan teknis dari Ditjen Hubla Kemenhub (2014). Kedalaman eksisting pada area alur pelayaran, kolam sandar, dan area labuh umumnya berada di atas kebutuhan minimum kapal rencana. Namun demikian, masih ditemukan beberapa zona dangkal dengan kedalaman 1–2 m di sekitar garis pantai yang belum memenuhi kebutuhan operasional. Temuan ini menunjukkan bahwa kendala utama bukan terletak pada kapasitas ruang perairan, melainkan pada variasi kedalaman lokal akibat proses sedimentasi. Oleh karena itu, tindakan pemeliharaan berupa monitoring batimetri berkala dan

pengerukan terbatas pada area kritis menjadi rekomendasi utama untuk menjamin keselamatan dan kelancaran operasional pelabuhan.

Dari hasil analisis kebutuhan fasilitas perairan, peta perencanaan Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut menunjukkan bahwa penataan elemen utama perairan telah dioptimalkan dengan pendekatan yang terintegrasi terhadap kondisi batimetri dan hidrodinamika eksisting yang dapat ditunjukkan pada Gambar 7.

DETAIL FASILITAS PELABUHAN PENYEBERANGAN JUATA LAUT:



Gambar 7: Peta Perencanaan Fasilitas Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut
Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Alur pelayaran direncanakan memanjang dari arah laut menuju dermaga dengan lebar ± 90 m, mengikuti koridor perairan dalam (≥ 10 m) sehingga secara teknis mampu menghindari zona dangkal (< 5 m). Pendekatan ini tidak hanya memenuhi standar geometrik, tetapi juga mengadopsi kondisi alami perairan untuk meningkatkan keselamatan navigasi dan mengurangi kebutuhan pengerukan.

Area labuh kapal direncanakan seluas ± 24.973 m² dan ditempatkan pada zona dengan kedalaman 10–14 m, sehingga tetap aman terhadap fluktuasi pasang surut serta tidak mengganggu alur pelayaran utama. Kolam sandar seluas ± 4.187 m² berada di depan dermaga untuk mempermudah proses operasional, sementara area putar (*turning basin*) ditempatkan pada ujung alur dengan mempertimbangkan kebutuhan manuver kapal. Integrasi antara fasilitas perairan dan daratan juga terlihat pada konektivitas langsung dermaga feri dengan area operasional darat.

Aspek kebaruan dalam penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan *adaptive planning*, yaitu perencanaan fasilitas perairan yang tidak hanya berbasis

standar teknis, tetapi juga diselaraskan secara langsung dengan kondisi eksisting (batimetri, pasang surut, gelombang, dan angin). Pendekatan ini menghasilkan tata letak yang lebih efisien karena memanfaatkan kedalaman alami sebagai jalur utama pelayaran dan meminimalkan intervensi teknis seperti pengerukan skala besar. Perencanaan fasilitas perairan yang berbasis kondisi lokal mampu meningkatkan efektivitas desain sekaligus menekan biaya konstruksi dan pemeliharaan. Selain itu, integrasi antara variabel lingkungan dan kebutuhan operasional menghasilkan sistem pelabuhan yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi alam, seperti sedimentasi dan fluktuasi muka air.

Dari aspek keselamatan pelayaran, hasil perencanaan menunjukkan bahwa alur pelayaran, area labuh, kolam sandar, dan kolam putar ditempatkan pada zona perairan yang memiliki kedalaman lebih besar daripada kebutuhan minimum kapal rencana. Kondisi ini memberikan *under keel clearance* yang memadai sehingga mengurangi risiko kandas, terutama saat surut terendah. Selain itu, karakteristik gelombang yang relatif rendah (SWH maksimum 0,77 m) dan kecepatan angin dominan yang

tergolong rendah hingga sedang mendukung stabilitas kapal saat melakukan manuver masuk, keluar, maupun sandar di dermaga. Penempatan area labuh di luar jalur pelayaran utama juga meningkatkan keselamatan navigasi karena mengurangi potensi konflik pergerakan antar kapal. Sementara itu, dimensi kolam putar yang memenuhi standar 3 LOA memberikan ruang manuver yang cukup sehingga kapal dapat berputar dengan aman tanpa mengganggu fasilitas di sekitarnya. Temuan ini menunjukkan bahwa keselamatan tidak hanya dipenuhi melalui persyaratan geometrik fasilitas, tetapi juga melalui kesesuaian tata letak dengan karakteristik hidrodinamika perairan setempat.

Hasil perencanaan menunjukkan bahwa tata letak fasilitas telah memenuhi prinsip keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan. Namun demikian, untuk tahap lanjutan setelah perencanaan ini, diperlukan analisis lebih lanjut berupa: (1) evaluasi operasional melalui simulasi manuver kapal untuk memastikan keamanan pada kondisi ekstrem, (2) kajian kebutuhan pengerukan terbatas pada area kritis, serta (3) analisis kelayakan teknis dan ekonomi untuk memastikan implementasi desain secara optimal. Dengan demikian, perencanaan fasilitas perairan Pelabuhan Juata Laut tidak hanya berhenti pada tahap desain, tetapi juga menjadi dasar dalam pengambilan keputusan pengembangan pelabuhan yang berkelanjutan.

4.0 KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan serta merencanakan fasilitas perairan Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut Tarakan guna mendukung operasional penyeberangan yang aman dan efisien. Merujuk pada rangkaian analisis yang telah dievaluasi, dapat ditarik kesimpulan bahwa secara teknis kebutuhan fasilitas perairan yang meliputi area labuh ($\pm 24.972,6 \text{ m}^2$), kolam sandar ($\pm 4.187,12 \text{ m}^2$), kolam putar ($\pm 10.956,3 \text{ m}^2$), area pemanduan ($\pm 35.188.000 \text{ m}^2$), serta alur pelayaran (lebar $\pm 90 \text{ m}$) telah memenuhi standar perencanaan sesuai pedoman yang berlaku.

Namun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kondisi eksisting perairan, terutama dari aspek batimetri dan pasang surut, masih menjadi faktor pembatas utama. Variasi kedalaman yang tidak merata serta keberadaan zona dangkal ($< 5 \text{ m}$) berpotensi mengganggu operasional kapal, terutama pada saat kondisi surut. Sementara itu, karakteristik gelombang dan angin yang relatif rendah hingga sedang menunjukkan bahwa faktor hidrodinamika tidak menjadi kendala utama, melainkan lebih pada aspek kedalaman dan sedimentasi perairan.

Temuan utama penelitian ini adalah bahwa meskipun kebutuhan fasilitas perairan secara perhitungan telah memenuhi standar, penerapan di lapangan harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan perairan secara aktual. Pendekatan perencanaan berbasis kondisi alami (*adaptive* dan *site-specific planning*) terbukti lebih efektif dalam menghasilkan desain yang aman, efisien, dan berkelanjutan, dengan memanfaatkan koridor kedalaman alami serta meminimalkan intervensi teknis yang tidak diperlukan.

Implikasi dari penelitian ini adalah keharusan mendesak untuk melakukan penyesuaian desain fasilitas perairan dengan kondisi hidrografi lokal, secara spesifik melalui optimalisasi trase alur pelayaran dan penempatan fasilitas pada zona perairan yang lebih dalam. Selain itu, direkomendasikan pelaksanaan pengerukan terbatas pada area kritis yang mengalami pendangkalan serta pemantauan berkala terhadap perubahan batimetri akibat sedimentasi. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan dilakukan simulasi operasional kapal dan kajian kelayakan teknis-ekonomi guna memastikan bahwa perencanaan yang dihasilkan dapat diimplementasikan secara optimal dalam mendukung peningkatan kinerja Pelabuhan Penyeberangan Juata Laut sebagai simpul transportasi penyeberangan di wilayah Tarakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. K. Utara, "Statistik Transportasi Provinsi Kalimantan Utara 2024," Tanjung Selor, 2025. [Online]. Available: <https://kaltara.bps.go.id/id/publication/2025/07/18/98d9780eaa06e70e89e13b95/statistik-transportasi-provinsi-kalimantan-utara-2024.html>
- [2] C. Hutanjalay and A. Hadianti, "Peran Transportasi Laut Dalam Mendukung Mobilitas Masyarakat Di Kabupaten Kepulauan Aru," *Urban Reg. Stud. J.*, vol. 7, no. 2, pp. 244–248, 2025, doi: 10.35965/ursj.v7i2.6277.
- [3] M. P. A. P. Tandjung and I. Zulian, "Peran Pelabuhan Belawan dalam Economic Sustainability terhadap Kota Medan yang Inklusif dan Global," *J. Sharia*, vol. 5, no. 1, pp. 18–28, 2026, doi: 10.55352/josh.v5i01.2213.
- [4] A. Aziz, A. Alifah, L. L. Nulhakim, and Ma'ruf, "Transformasi Ekonomi di Wilayah Pesisir : Mengoptimalkan Peran Strategis serta Peluang, Tantangan, dan Strategi di Provinsi Banten," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 4788–4795, 2025, doi: 10.31004/innovative.v5i1.17128.
- [5] Nursyamsu, A. Kustina, and A. Darajat, "Pengaruh Olah Gerak MV. Sarana Lintas Utama saat memasuki Alur Pelayaran Dangkal dan Sempit," *E-Journal Mar. Insid.*, vol. 4, no. 1, pp. 20–32, 2022, doi: doi.org/10.56943/ejmi.v4i1.36.
- [6] Rosnani, E. H. Wangloan, I. K. Laju, and R. Rochmansyah, "Implementing Risk Management to Enhance Navigation Safety in Indonesian Maritime Domain," *Bull. Pedagog. Res.*, vol. 5, no. 3, pp. 25–37, 2025, doi: <https://doi.org/10.51278/bpr.v5i3.2038>.
- [7] C. S. Pakidi and A. Amir, "Mengoptimalkan Potensi PPN Merauke: Studi Kasus Strategi Peningkatan Kinerja Pelabuhan Perikanan di Kawasan Timur Indonesia," *J. of Innovative Creat.*, vol. 5, no. 4, pp. 92–104, 2025, doi: 10.31004/joecy.v5i4.1292.
- [8] T. Iskandara and R. Arifin, "Navigating

- Indonesia's Logistics and Supply Chain Challenges: A DataDriven Analysis of Logistics Performance Indeks," *J. BPPK*, vol. 16, no. 1, pp. 110–123, 2023, doi: 10.48108/jurnalbppk.v16i1.820.
- [9] A. Suryadi and A. L. Togatorop, "Peningkatan Fasilitas Pelabuhan dan Dinamika Kunjungan Kapal: Analisis Kualitatif Kelembagaan dan Infrastruktur pada Pelabuhan Pengumpan Regional," *J. Apl. Pelayaran dan Kepelabuhanan*, vol. 16, no. 2, pp. 287–292, 2026, doi: <https://doi.org/10.30649/jakk.v16i2.206>.
- [10] A. R. F. P, "Kemenhub evaluasi penyelenggaraan kapal rede," *Antara*, Jakarta, 2021. [Online]. Available: <https://www.antaraneews.com/berita/2198874/kemenhub-evaluasi-penyelenggaraan-kapal-rede>
- [11] K. P. RI, *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 50 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Pelabuhan Laut*. Indonesia: Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 643, 2021. [Online]. Available: <https://jdih.dephub.go.id/peraturan/detail?data=I VWg5hHmZsY2vke0n87bWc4JEI3KfjruP4aCU MIMwCxR4jpL4Vz4ZIf4eRS4nS8VtA8gkMTS LhKWs8W05TSEDQY94jpMwN90Lis8LSFhcz iGkEH2A8sdODNXqGxc5NfwGVHy9yLkkcLu NXe3gM6Eh7RjHr>
- [12] K. W. Putri and A. Rahmawati, "ANALISIS KAPASITAS DERMAGA TERMINAL PETIKEMAS MAKASSAR NEW PORT BERDASARKAN NILAI BERTH OCCUPANCY RATIO (BOR) DAN BERTH THROUGHPUT (BTP)," *Ris. Sains dan Teknol. Kelaut.*, vol. 5, no. 2, pp. 134–141, 2020, doi: <https://doi.org/10.62012/sensistek.v5i2.24254>.
- [13] E. A. Misbah and A. R. Pattisaini, "Perencanaan Pengembangan Fasilitas Sisi Darat di Pelabuhan Penyeberangan Bahaur Kabupaten Pulang Pisau," *Mitrans J. Media Publ. Terap. Transp.*, vol. 1, no. 2, pp. 190–202, 2023, doi: <https://doi.org/10.26740/mitrans.v1n2.p190-202>.
- [14] I. K. Laju, D. Kurniadi, L. Krisnawati, Sariyulis, and K. W. Wijaya, "Mengoptimalkan Operasi Pelabuhan : Tinjauan Literatur tentang Perizinan , Produktivitas Bongkar Muat , dan Kinerja Pelabuhan dalam Transportasi Maritim," *J. Multidisiplin Ris. Ilm.*, vol. 1, no. 2, pp. 31–42, 2024.
- [15] P. Nha and T. Yen, "Assessing the impact of digital transformation on port efficiency and market positioning in Southeast Asia container port system," *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 42, no. 1, pp. 15–23, 2026, doi: 10.1016/j.ajsl.2025.11.002.
- [16] C. J. Siringoringo and Nazarwin, "Pengaruh Implementasi Green Port terhadap Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim di Pelabuhan Indonesia," *J. Cakrawala Bahari*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2025, doi: <https://doi.org/10.70031/jkb.v8i1.156>.
- [17] N. Azisah, C. Paotonan, and M. Asdar, "Literature Review: Smart Port Concept in Indonesia Using Bibliometric Analysis Methods," *J. Inov. Sains Dan Teknol. Kelaut.*, vol. 5, no. 2, pp. 127–132, 2024, doi: 10.62012/zi.v5i2.31708.
- [18] A. A. Putri, O. W. Sihaloho, D. Ratnaningsih, and R. Annas, "Analisis Kendala-Kendala Kegiatan Pekerjaan Pengerukan Terhadap Keselamatan Pelayaran di Kolam Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya Politeknik Pelayaran Surabaya," *Optim. J. Ekon. dan Manaj.*, vol. 5, no. 1, pp. 278–288, 2025, doi: <https://doi.org/10.55606/optimal.v5i1.5779>.
- [19] M. Bortali, M. Rabouli, M. Yessari, and A. Hajjaji, "Characterizing Harbor Dredged Sediment for Sustainable Reuse as Construction Material," *Sustainability*, vol. 15, no. 3, p. 1834, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/su15031834>.
- [20] A. Erwin, "Analisis kebutuhan fasilitas darat di Pelabuhan Penyeberangan Bolok Kabupaten Kupang," *J. Penelit. Sekol. Tinggi Transp. Darat*, vol. xx, no. x, pp. 1–9, 2025, doi: 10.55511/jpstd.vxxix.xx.
- [21] A. Rizaldi, A. Muzwardi, E. Santoso, M. Iffan, and M. Fera, "The strategic development of maritime connectivity in the border area in Indonesia," *J. East. Eur. Cent. Asian Res.*, vol. 10, no. 4, pp. 701–711, 2023, doi: 10.15549/jeeear.v10i4.1378.
- [22] F. Zen and M. H. Yudhistira, "Maritime Highway and Eastern Indonesia Development," Jakarta, 2021. [Online]. Available: <https://eria.org>
- [23] A. Sibali and J. Jainuddin, "Economics and Digital Business Review Maritime Infrastructure Development and its Impact on National Economic Growth," *Econ. Digit. Bus. Rev.*, vol. 5, no. 2, pp. 911–920, 2024, doi: <https://doi.org/10.37531/ecotal.v5i2.1292>.
- [24] A. D. Setyadi, "Pemetaan Batimetri Untuk Analisa Penambahan Kedalaman Kolam Pelabuhan: Studi Kasus Terminal Berlian, Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya," Universitas Brawijaya, 2017. [Online]. Available: <https://repository.ub.ac.id/135925/>.
- [25] Safuan, "Opportunities and Challenges of Implementing Green and Smart Port Concepts in Indonesia," *J. Marit. Res.*, vol. XXI, no. 1, pp. 168–173, 2024.
- [26] A. Abdurohman, P. Raga, and A. Setyawati, "Pengembangan Jangka Pendek dalam Meningkatkan Pelayanan Jasa Pelabuhan Cirebon," *J. Manaj. Transp. Logistik*, vol. 13, no. 01, pp. 95–104, 2026, doi: <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v13i1.1385>.
- [27] B. Wiwoho and S. Jogo, "Port State Control Compliance and Vessel Safety Performance : A Comparative Analysis of Indonesian Flagged Ships in ASEAN Maritime Corridors," *Mar. Transp. Manag. Logist. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–45, 2026, [Online]. Available: <https://jurnal.poltekpelsulut.ac.id/index.php/Tran>

- sport/article/view/280
- [28] C. S. Dharma *et al.*, “Perbandingan Data Pasang Surut, Arus dan Angin dengan Prediksi pada Musim Peralihan Kedua di Laut Timor Tahun 2023,” *J. Hidrogr. Indones.*, vol. 7, no. 1, pp. 9–24, 2025, doi: 10.62703/jhi.v7i1.156.
- [29] A. R. Sutarno, A. D. Lestari, and M. M. Danial, “Pemodelan Karakteristik Hidro Oseanografi Di Wilayah Perairan Pantai Tanah Hitam , Kecamatan Paloh , Kabupaten Sambas , Menggunakan Software Mike 21,” *J. Laut Ilmu Kelaut.*, vol. 6, no. 1, pp. 66–79, 2024, doi: 10.35308/jlik.v6i1.9117.
- [30] A. Akay, A. H. Thambas, A. K. T. Dundu, J. D. Mamoto, M. I. Jasin, and C. J. Supit, “Analisis Data Pasang Surut Menggunakan Metode Least Square Di Pantai Tanjung Labuo Bohabak II, Kec. Bolangitang Timur Kab. Bolaang Mongondow Utara, Provinsi Sulawesi Utara,” *TEKNO*, vol. 23, no. 93, pp. 2113–2121, 2025, doi: <https://doi.org/10.35793/jts.v23i93.64741>.
- [31] P. D. Anggara, D. Adrianto, W. S. Pranowo, and T. M. Alam, “Analisis Karakteristik Gelombang Laut Guna Mendukung Data Informasi Operasi Keamanan Laut di Wilayah Laut Natuna dan Laut Natuna Utara,” *J. Chart Datum*, vol. 3, no. 2, pp. 107–131, 2017, doi: 10.37875/chartdatum.v3i2.123.
- [32] R. Irsan and Q. Istiqomah, “Analisis Angin Permukaan Di Pelabuhan Dwikora Pontianak Menggunakan Wind Rose,” *Rekayasa Hijau J. Teknol. Ramah Lingkungan.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: <https://doi.org/10.26760/jrh.V7i1.1-9>.
- [33] S. A. Mukhtar and G. Handoyo, “Studi Batimetri Dan Pasang Surut Untuk Rekomendasi Alur Pelayaran Di Dermaga Pelabuhan Marunda,” *J. Oseanografi Indones.*, vol. 06, no. 04, pp. 375–382, 2024, doi: 10.14710/ijoce.v6i4.16541.
- [34] D. J. P. Laut, “Petunjuk Teknis Penyusunan Rencana Induk Pelabuhan,” 2014, *Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, Jakarta*.
- [35] M. Tukan, H. Hozairi, and B. J. Camerling, “Analisis Dampak pelabuhan Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Wilayah Kepulauan Maluku Menggunakan Smartpls,” *J. Apl. Teknol. Inf. dan Manaj.*, vol. 5, no. 2, pp. 112–119, 2024, doi: 10.31102/jatim.v5i2.3289.
- [36] A. Mustakim, I. H. Nur, and N. Yuliana, “Navigation Channel Capacity Modeling: A Case Study for Balikpapan Bay,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 972, no. 1, p. 012068, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/972/1/012068.
- [37] L. Bochary, M. R. Firmansyah, S. Asri, W. Djafar, and W. Mustafa, “Analysis the Freeboard Effect on a Ferry Ro-Ro Ship Stability Based on the Weather Criteria,” *J. Ris. Teknol. Perkapalan*, vol. 1, no. 1, pp. 14–20, 2023.
- [38] M. A. Z. Fuad and A. N. I. Wardan, “Modeling of Sediment Transport in Panarukan Harbour, Situbondo, East Java,” *J. Environ. Eng. Sustain. Technol.*, vol. 11, no. 01, pp. 69–81, 2024.