

## Analisis Terpadu Revitalisasi Pelabuhan Liem Hie Djung untuk Layanan Lintas Batas Indonesia-Malaysia

Edy Utomo<sup>1)</sup>, Muhammad Djaya Bakri<sup>2)</sup>, Daud Nawir<sup>3)</sup>,  
Muhammad Asfihan Nur Arifin<sup>4)</sup>, Iif Ahmad Syarif<sup>5)</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5)</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Borneo Tarakan

Jalan Amal Lama No.1 Kota Tarakan, Provinsi Kalimantan Utara

Email: [edyutomo99@gmail.com](mailto:edyutomo99@gmail.com)<sup>1)</sup>, [javabakri@gmail.com](mailto:javabakri@gmail.com)<sup>2)</sup>, [daudnawir@gmail.com](mailto:daudnawir@gmail.com)<sup>3)</sup>,  
[pipinarifin@borneo.ac.id](mailto:pipinarifin@borneo.ac.id)<sup>4)</sup>, [iifahmads@gmail.com](mailto:iifahmads@gmail.com)<sup>5)</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v16i1.1341>

(Received: 20 December 2025 / Revised: 26 January 2025 / Accepted: 01 February 2026)

### Abstrak

Pelabuhan Liem Hie Djung (Nunukan, Kalimantan Utara) merupakan simpul layanan lintas batas Indonesia-Malaysia, namun kinerja sisi air dan sisi darat masih dibatasi oleh kedalaman efektif, geometri perairan, dan kapasitas terminal. Penelitian ini menyusun dasar teknis revitalisasi melalui pemodelan bathimetri berbasis SIG dari raster BATNAS resolusi 10 m, survei lapangan, serta analisis kebutuhan fasilitas sisi air-sisi darat. Parameter arus dan pasut ditetapkan dari pengukuran dan analisis pasut setempat, sedangkan tinggi gelombang rencana diperoleh melalui peramalan gelombang. Hasil menunjukkan arus maksimum 0,59 m/s saat surut, tinggi gelombang rencana 0,46 m, serta muka air HWS +4,81 m, MSL +3,29 m, dan LWS +1,81 m. Untuk kapal rencana (LOA 29,50 m; sarat 1,22 m), kebutuhan minimum meliputi kedalaman rencana 2,27 m, lebar alur satu jalur 32,64 m, diameter kolam putar 44,25 m, dan panjang dermaga 81,00 m. Pada sisi darat diperlukan optimasi ruang tunggu, fasilitas pemeriksaan, serta area parkir 2.644 m<sup>2</sup>. Secara keseluruhan, pra-desain revitalisasi diusulkan bertahap dengan zonasi layanan regional dan internasional.

Kata kunci: *Bathimetri, BATNAS, Dermaga, Revitalisasi, SIG.*

### Abstract

Liem Hie Djung Port (Nunukan, North Kalimantan) is a key border gateway for Indonesia-Malaysia maritime services, yet its waterside and landside performance is constrained by effective depth, basin geometry, and terminal capacity. This study develops a technical basis for revitalization by integrating GIS-based bathymetry modelling from 10 m BATNAS rasters, field surveys, and facility-needs analysis. Currents and tidal levels were derived from local measurements and tidal analysis, while the design wave height was estimated through wave forecasting. Results indicate a maximum current of 0.59 m/s during ebb, a design wave height of 0.46 m, and water levels of HWS +4.81 m, MSL +3.29 m, and LWS +1.81 m. For the design vessel (LOA 29.50 m; draft 1.22 m), the minimum requirements are a 2.27 m design depth, a 32.64 m single-lane channel width, a 44.25 m turning basin diameter, and an 81.00 m berth length. Landside improvements include reorganizing passenger flow, inspection facilities, and 2,644 m<sup>2</sup> of parking. Overall, a phased, zoned revitalization is recommended to support border connectivity.

Keywords: *Bathymetry, Border, GIS, Revitalization, Terminal*

## 1. Latar Belakang

Pelabuhan Liem Hie Djung di Kabupaten Nunukan, Provinsi Kalimantan Utara, merupakan simpul strategis transportasi laut pada kawasan perbatasan Indonesia-Malaysia, terutama pada koridor Nunukan-Tawau. Pada wilayah perbatasan, pelabuhan berfungsi sebagai prasarana mobilitas penumpang dan logistik sekaligus pengungkit konektivitas antarpusat kegiatan, penguatan akses layanan, dan pertumbuhan ekonomi lokal. Kinerja dan keberhasilan pengelolaan infrastruktur pelabuhan di wilayah berkembang umumnya ditentukan oleh keselarasan perencanaan teknis, tata kelola kelembagaan, dan strategi implementasi proyek yang adaptif terhadap keterbatasan sumber daya (Hai dkk., 2021; Olojede dkk., 2021).

Seiring meningkatnya kebutuhan layanan lintas batas, Pelabuhan Liem Hie Djung masih menghadapi kendala pada sisi air dan sisi darat yang berpotensi menurunkan tingkat pelayanan, yang didefinisikan sebagai kemampuan pelabuhan menyediakan fasilitas sisi air-sisi darat yang menjamin kelancaran operasional (kapal dan penumpang), meminimalkan waktu tunggu, serta memenuhi kebutuhan pemeriksaan dan keamanan layanan lintas batas. Tantangan umum meliputi keterbatasan kapasitas tambat, kedalaman efektif yang memengaruhi keselamatan olah gerak kapal, serta keterbatasan fasilitas terminal untuk mendukung proses embarkasi-debarkasi yang tertib. Pada saat yang sama, program revitalisasi infrastruktur publik sering berhadapan dengan tantangan pengadaan dan manajemen proyek-kompetensi pengadaan, keberlanjutan praktik pembangunan, hingga risiko politik dan koordinasi multipihak-yang dapat menurunkan efektivitas investasi bila tidak diantisipasi sejak tahap perencanaan (Asiedu dkk., 2021; Babatunde dkk., 2020a; Jiang & Martek, 2023).

Dari sudut keselamatan pelayaran dan efisiensi operasional, perencanaan revitalisasi pelabuhan pesisir memerlukan basis data hidro-oseanografi yang memadai, khususnya bathimetri, kontur dasar perairan, dan dinamika laut dekat pantai. Peta bathimetri-topografi yang mutakhir menjadi dasar navigasi dan pemodelan hidrodinamika; ketidakakuratan elevasi dapat menurunkan keandalan analisis dan keputusan teknis (Salameh dkk., 2019). Kemajuan pemrosesan altimetri menuju kawasan pesisir dan pemodelan kondisi laut dekat pantai juga memperkuat dukungan data perencanaan, terutama ketika survei detail belum merata (Birol dkk., 2021; Castro dkk., 2025). Selain itu, gangguan hidrometeorologi dan variabilitas iklim-termasuk kenaikan muka air laut yang berimplikasi pada elevasi desain-perlu diantisipasi dalam kerangka ketahanan infrastruktur (Njogu, 2021; Utomo dkk., 2025; Vigil & Booker, 2023). Karena itu, penetapan kebutuhan dan peningkatan kinerja fasilitas perairan pelabuhan harus mempertimbangkan arus, kedalaman, gelombang angin, pasang surut, serta sedimentasi yang memengaruhi operasional kapal dan potensi pendangkalan (Rizwan dkk., 2021). Di luar aspek perairan, kondisi fisik fasilitas eksisting-khususnya dermaga-perlu ditelusuri untuk menentukan kebutuhan perkuatan, rehabilitasi, atau penggantian elemen. Inspeksi berbasis teknologi (misalnya drone dan orthophoto) dapat meningkatkan keterlacakan kondisi aset sehingga rancangan revitalisasi tidak hanya memenuhi kebutuhan geometrik-hidrografi, tetapi juga sesuai kondisi aktual di lapangan. Dalam perspektif pembangunan berkelanjutan, revitalisasi pelabuhan sebaiknya tidak berhenti pada pemenuhan kapasitas jangka pendek, tetapi juga memasukkan pertimbangan dampak lingkungan, efisiensi

sumber daya, dan peluang adopsi metode konstruksi yang lebih industrial dan terstandar untuk meningkatkan mutu serta produktivitas pembangunan. Kuantifikasi aspek lingkungan pada fase perencanaan dan pemahaman pendorong serta tantangan adopsi sistem konstruksi yang lebih industrial dapat membantu merumuskan strategi implementasi yang konsisten (Araújo dkk., 2025; Ismail dkk., 2022). Persepsi pemangku kepentingan atas faktor pendorong/penghambat keberlanjutan juga perlu diakomodasi agar desain dan pelaksanaan revitalisasi tidak menimbulkan konflik kepentingan maupun biaya sosial yang tidak diperlukan (Babatunde dkk., 2020b).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menyusun dasar teknis perencanaan revitalisasi Pelabuhan Liem Hie Djung sebagai pelabuhan lintas batas laut melalui analisis kebutuhan fasilitas sisi air dan darat yang dikaitkan dengan kondisi perairan setempat. Fokus kajian meliputi: (1) pemodelan bathimetri perairan pelabuhan menggunakan raster BATNAS (Bathimetri Nasional) dari BIG (Badan Informasi Geospasial, 2021) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG); (2) analisis kebutuhan kedalaman rencana, alur pelayaran, dan kebutuhan fasilitas tambat berdasarkan karakteristik operasional; serta (3) perumusan rekomendasi pra-desain revitalisasi mengacu pada standar teknis dan regulasi perencanaan pelabuhan yang berlaku. Dengan kerangka ini, kajian diharapkan menghasilkan rekomendasi revitalisasi yang terukur, aman, efisien, dan dapat diimplementasikan bertahap sesuai kebutuhan layanan lintas batas di Kabupaten Nunukan.

## **2. Metode Penelitian**

### **2.1. Desain Penelitian dan Kerangka Umum**

Penelitian ini merupakan studi terapan dengan pendekatan perencanaan teknis untuk menyusun dasar rekomendasi revitalisasi Pelabuhan Liem Hie Djung sebagai pelabuhan lintas batas. Kerangka kerja disusun berurutan dan bersifat iteratif, meliputi: (1) persiapan dan studi awal; (2) pengumpulan data primer-sekunder; (3) pemodelan bathimetri berbasis SIG; (4) analisis kebutuhan fasilitas sisi air dan sisi darat; serta (5) integrasi hasil analisis menjadi pra-desain dan rekomendasi revitalisasi.

Pada tahapan analisis, fokus utama diarahkan pada: (1) evaluasi kesesuaian kedalaman perairan terhadap kapal rencana; (2) kebutuhan dasar geometri perairan pelabuhan (alur masuk, kolam sandar, kolam putar); serta (3) kebutuhan fasilitas terminal penumpang dan fasilitas penunjang, sehingga keluaran yang dihasilkan konsisten dengan tujuan penelitian.

### **2.2. Lokasi, Objek Penelitian, Data, Sumber Data, dan Kebutuhan Informasi**

Objek penelitian adalah Pelabuhan Liem Hie Djung di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Utara. Area kajian meliputi zona perairan pelabuhan (kolam sandar, alur masuk, kolam putar) dan zona daratan pelabuhan (terminal penumpang, parkir, serta fasilitas pendukung). Penelitian menggunakan kombinasi data primer (survei lapangan dan wawancara) serta data sekunder (instansi/ sumber resmi). Ringkasan kebutuhan data disajikan pada Tabel 1.

Selain itu, pengukuran arus dan pasang surut (survei hidrodinamika) dilakukan di depan dermaga eksisting Pelabuhan Liem Hie Djung secara periodik setiap jam selama 15 hari berturut-turut. Kecepatan arus diukur menggunakan current meter, sedangkan elevasi muka air pasang surut diamati menggunakan

rambu ukur yang dikendalikan dan diverifikasi dengan autolevel untuk menjaga ketelitian pembacaan. Data pasang surut yang terkumpul selanjutnya dianalisis menggunakan metode harmonik untuk memperoleh konstanta harmonik dan karakteristik muka air (LWS, MSL, dan HWS) sebagai dasar penetapan parameter elevasi rencana serta mendukung analisis kebutuhan fasilitas sisi air.

Tabel 1 Ringkasan data yang digunakan

Kelompok Data	Jenis Data	Sumber	Jenis
Spasial perairan	Raster BATNAS	BIG	Sekunder
Spasial daratan	Peta dasar/ administrasi & tata ruang	RTRW / RDTR	Sekunder
Operasional Pelabuhan	Data kapal rencana yang dilayani	UPTD. Pelabuhan	Sekunder
Layanan Penumpang	Data penumpang & pola pelayanan	UPTD. Pelabuhan	Sekunder
Kondisi eksisting	Dimensi dermaga, fasilitas sisi darat, kondisi struktur, arus dan pasut perairan	Survei Lapangan	Primer
Kebijakan/ Standar	Dok. Kebijakan & regulasi pelabuhan	Sumber resmi	Sekunder

### 2.3. Pemodelan Bathimetri Berbasis SIG

Pemodelan bathimetri dilakukan menggunakan data raster BATNAS dengan resolusi 10meter yang diolah melalui Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan bantuan perangkat lunak ArcMap 10.8. Pendekatan berbasis data raster-SIG dipilih karena pemetaan bathimetri-topografi berperan penting dalam analisis pesisir dan navigasi, sementara keterbatasan survei konvensional sering membuat ketersediaan data detail tidak merata sehingga dukungan data penginderaan jauh/ kompilasi spasial menjadi alternatif yang layak pada tahap perencanaan (Salameh dkk., 2019). Selain itu, metode akuisisi bathimetri konvensional memiliki kendala biaya dan operasional, sehingga pendekatan berbasis penginderaan jauh dapat menjadi alternatif yang lebih efisien untuk pemantauan kedalaman di area pelabuhan (Mateo-Pérez dkk., 2021). Adapun tahapan pengelolaan data meliputi:

1. Persiapan data: penetapan sistem koordinat kerja (UTM Zona 50N), pemotongan raster BATNAS sesuai area studi;
2. Ekstraksi kontur kedalaman: pembuatan kontur untuk memudahkan interpretasi sebaran kedalaman perairan;
3. Analisis sebaran kedalaman: klasifikasi zona perairan untuk mengidentifikasi area kritis terhadap operasi kapal;
4. Identifikasi alur dan area manuver: penentuan kandidat alur masuk, kolam sandar, dan area kolam putar berbasis kontur serta kebutuhan kedalaman rencana;
5. Penyajian peta bathimetri: peta tematik dasar pembahasan teknis.

### 2.4. Metode Pemodelan Gelombang Jangka Panjang

Pemodelan gelombang dilakukan untuk memperoleh tinggi gelombang rencana sebagai dasar evaluasi operasi perairan pelabuhan dan penentuan parameter desain sisi laut. Prosedur pemodelan mengacu pada pendekatan yang telah diterapkan pada studi pengembangan infrastruktur pelabuhan dan kajian perlindungan pantai sebelumnya, meliputi pengolahan data angin reanalisis, penentuan fetch efektif berbasis SIG, peramalan pembangkitan gelombang metode

*Shore Protection Manual* (SPM) (U.S. Army Corps of Engineers, 1984), serta prediksi gelombang jangka panjang menggunakan distribusi Weibull (Haryanti & Utomo, 2024; Utomo & Asta, 2023). Adapun tahapan yang dilakukan dalam metode yang dirujuk adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data angin reanalisis: Data angin 10 m diambil dari *European Centre Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) pada titik terdekat lokasi penelitian untuk periode 10 tahun terakhir. Data diekstraksi dari format NetCDF untuk kebutuhan pengolahan lanjutan.
2. Pengolahan kecepatan dan arah angin dominan: Komponen data angin diolah menjadi kecepatan dan arah angin, kemudian disusun distribusi arah (*windrose*) untuk mengidentifikasi sektor angin dominan yang paling berpengaruh.
3. Penentuan fetch efektif berbasis SIG.
4. Peramalan pembangkitan gelombang dengan metode SPM (1984),
5. Prediksi gelombang jangka panjang dengan umur layanan 50 tahun.
6. Transformasi gelombang menuju perairan pelabuhan.
7. Penetapan output untuk kebutuhan desain: Output utama berupa tinggi gelombang rencana dan periode gelombang representatif pada lokasi tinjauan, yang digunakan untuk analisis elevasi sisi laut serta evaluasi kondisi operasi perairan pelabuhan.

## 2.5. Metode Analisis Kebutuhan Fasilitas Sisi Air

Analisis kebutuhan fasilitas sisi air dilakukan dengan memasukkan karakteristik kapal rencana dan target keselamatan operasi, meliputi kebutuhan kedalaman rencana, alur masuk, kolam sandar, dan kolam putar, serta indikasi kebutuhan pengerukan, mengacu pada standar teknis perencanaan pelabuhan yang berlaku. Parameter kapal rencana yang digunakan sebagai input analisis diringkas pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter kapal rencana (input analisis sisi perairan)

No	Parameter	Nilai
1	<i>Length Over All</i> / Panjang Kapal (LOA)	29,50 m
2	<i>Beam</i> / Lebar Kapal (B)	6,80 m
3	<i>Hull Height</i> / Tinggi Lambung Kapal (H)	2,70 m
4	<i>Draft</i> / Sarat Kapal (T)	1,22 m
5	<i>Speed Operation</i> / Kecepatan Operasi Kapal	2,57 m/s
6	<i>Max. Displacement</i> / Displasemen Kapal	163,05 Ton
7	<i>Block Coefficient</i> / Koefisien Blok (Cb)	0,65
8	Material	Aluminium
9	Kapasitas Penumpang	149 Orang
10	Ukuran Kapal	179 GT

Dalam analisis kebutuhan alur masuk, kolam sandar, dan kolam putar, kecepatan operasi kapal diasumsikan sebesar 2,57 m/s untuk mencerminkan kondisi manuver aman di perairan pelabuhan. Sebagai kerangka analitik, kebutuhan kedalaman dapat dievaluasi dengan persamaan (1)

$$H_{req} = d + G + R + P + S + K \quad (1)$$

Dengan  $H_{req}$  adalah kedalaman rencana;  $d$  adalah draft kapal;  $G$  adalah squat kapal dan efek gelombang;  $R$  adalah ruang kebebasan di bawah lambung kapal;  $P$  adalah ketelitian pengukuran;  $S$  adalah tinggi sedimentasi; dan  $K$  adalah toleransi pengerukan. Direncanakan pelayanan lintas batas akan menggunakan skema satu jalur operasi. Penentuan lebar alur masuk untuk skema tersebut ditentukan dengan persamaan (2).

$$W = 1,5B + 1,8B + C + 1,8B + 1,5B \quad (2)$$

Dengan  $W$  adalah lebar alur;  $B$  adalah lebar kapal; dan  $C$  adalah jarak aman antar kapal yang ditetapkan sesuai kondisi operasi dan tingkat risiko. Selain kebutuhan kedalaman dan lebar alur, dilakukan pula penentuan panjang dermaga yang dibutuhkan untuk mengakomodir kapal rencana. Panjang dermaga rencana diturunkan dari jumlah kapal yang direncanakan akan ditambatkan bersamaan dan panjang kapal rencana. Formulasi yang digunakan untuk menentukan kebutuhan panjang dermaga ditunjukkan pada persamaan (3)

$$L_p = n \cdot LOA + n \cdot 25 + (n - 1) \cdot 15 \quad (3)$$

Dengan  $L_p$  adalah panjang dermaga;  $n$  adalah jumlah kapal yang bersandar bersamaan;  $LOA$  adalah panjang kapal rencana; sedangkan 25 m dan 15 m adalah jarak bebas bersih yang diperlukan pada ujung dan antara kapal.

## 2.6. Metode Analisis Kebutuhan Fasilitas Sisi Darat dan Integrasi Hasil

### Analisis Penyusunan Rekomendasi

Analisis kebutuhan fasilitas sisi darat dilakukan melalui dua jalur utama, yaitu: (1) Analisis berbasis kebutuhan yang mengaitkan data penumpang, pola kedatangan/keberangkatan, dengan kebutuhan ruang fungsional terminal. (2) Analisis kesenjangan yang membandingkan kondisi eksisting dengan kebutuhan minimum layanan untuk identifikasi prioritas penataan/penambahan fasilitas. Integrasi hasil analisis penyusunan rekomendasi dilakukan dengan integrasi awal hasil pemodelan bathimetri dan analisis kebutuhan fasilitas sisi air-sisi darat untuk menyusun pra-desain revitalisasi yang memuat: (1) rekomendasi area pemindahan posisi dermaga dan jalur operasi kapal; (2) kebutuhan dasar dimensi/ kapasitas dermaga; (3) kebutuhan terminal penumpang dan fasilitas penunjang; serta (4) arahan tahapan implementasi revitalisasi sesuai prioritas layanan lintas batas.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Karakteristik Lingkungan Perairan dan Implikasi Operasional

Hasil survei hidrodinamika menunjukkan arus di depan dermaga memiliki variasi yang cukup nyata antara kondisi pasang-surut. Kecepatan arus yang terekam berkisar pada nilai representatif sekitar 0,19 m/s, dengan arus maksimum 0,59 m/s yang terjadi pada kondisi air surut. Besaran arus ini berimplikasi pada kebutuhan kendali manuver saat pendekatan sandar, penentuan prosedur operasi aman, serta pemilihan sistem tambatan untuk menjaga stabilitas kapal pada fase *berthing* dan *un-berthing*.

Hasil model peramalan gelombang menunjukkan tinggi gelombang maksimum jangka panjang (umur rencana 50 tahun) berada pada orde = 0,442 m

dengan tingkat kepercayaan peramalan 89,3%, dan hasil peramalan periode gelombang menghasilkan nilai rerata tinggi gelombang 0,378 m dengan periode 16,679 detik. Nilai tinggi gelombang rencana yang digunakan dalam desain elevasi sisi laut adalah 0,46 m. Secara metodologis, pendekatan peramalan gelombang jangka panjang berbasis data angin reanalisis, estimasi fetch, serta pemodelan probabilistik, dan transformasi gelombang menuju perairan dangkal merupakan praktik yang lazim untuk mendukung perencanaan infrastruktur pelabuhan dan evaluasi kondisi operasi (Utomo & Asta, 2023). Kondisi gelombang yang tidak ekstrem pada lokasi studi ini tidak menunjukkan kebutuhan perlindungan operasional yang dominan, namun tetap perlu dievaluasi terhadap ambang gelombang yang diperkenankan menurut jenis/ ukuran kapal agar keselamatan dan efisiensi layanan terjaga (Utomo & Asta, 2023). Temuan ini menegaskan bahwa isu dominan revitalisasi lebih terkait pada kedalaman efektif, geometri alur/ kolam, serta adaptasi terhadap fluktuasi muka air laut (Hai dkk., 2021; Olojede dkk., 2021).

Pasang surut menjadi faktor kunci untuk menentukan elevasi lantai dermaga. Nilai muka air rujukan yang diperoleh adalah HWS +4,81 m, MSL +3,29 m, dan LWS +1,81 m. Berdasarkan tinggi gelombang rencana dan *freeboard* keselamatan 0,50 meter, diperoleh elevasi lantai dermaga sebesar +5,54 m (acuan HWS), +4,02 m (acuan MSL), dan +2,54 m (acuan LWS), sehingga selisih maksimum elevasi operasional 1,52 m. Selisih ini menjadi dasar teknis perlunya akses adaptif (misalnya gangway/ram dengan kemiringan terkendali) atau konsep dermaga bertingkat, agar proses embarkasi-debarkasi tetap aman dan nyaman sepanjang variasi pasang surut, sekaligus lebih siap terhadap perubahan air jangka panjang yang dapat mengubah *clearance* vertikal dan menuntut desain mengacu pada tahun layanan/operasional rencana (Hai dkk., 2021; Utomo dkk., 2025).

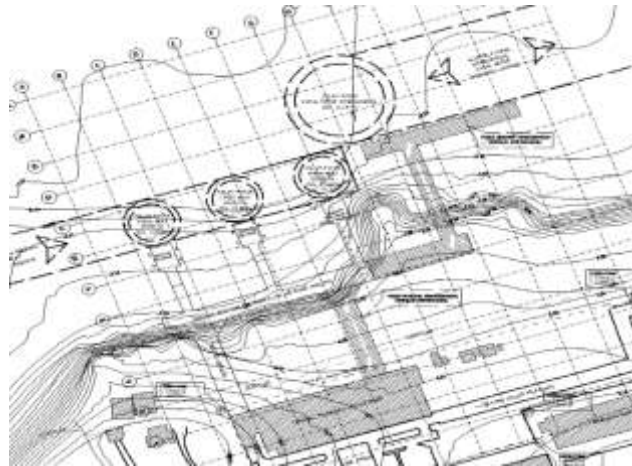
### 3.2. Hasil Pemodelan Bathimetri dan Identifikasi Area Kritis

Pemodelan bathimetri berbasis SIG menggunakan raster BATNAS menghasilkan peta kontur kedalaman sebagai dasar evaluasi geometri perairan pelabuhan. Secara umum, peta bathimetri mengonfirmasi adanya zona perairan dangkal dan ketidakseragaman kedalaman di area depan dermaga dan sekitar rencana alur/kolam pelabuhan. Temuan ini konsisten dengan karakteristik pelabuhan pesisir pada wilayah berkembang yang dipengaruhi dinamika sedimen dan keterbatasan pemeliharaan alur (Birol dkk., 2021; Castro dkk., 2025). Identifikasi area kritis dilakukan dengan mengaitkan hasil kontur kedalaman terhadap kebutuhan kedalaman rencana, dengan hasil analisis sebagai berikut:

1. Pemenuhan kedalaman efektif di area pendekatan dermaga;
2. Penataan alur masuk untuk mengurangi risiko kandas pada kondisi surut;
3. Penataan kolam putar untuk memastikan radius manuver memadai.

### 3.3. Kebutuhan Kedalaman, Lebar Alur, dan Diameter Kolam Rencana Berdasarkan Kapal Rencana

Kebutuhan kedalaman rencana dihitung menggunakan persamaan (1). Untuk kapal rencana lintas batas dengan kapasitas 149 penumpang ukuran 179 GT, dan draft 1,22 m, hasil estimasi komponen adalah: squat 0,43 m, ruang kebebasan bersih 0,50 m, ketelitian pengukuran 0,12 m, sedangkan kondisi sedimentasi dan toleransi pengerukan pada estimasi dasar bernilai 0. Dengan demikian diperoleh nilai kebutuhan kedalaman  $H_{req} = 2,27$  meter.



Gambar 1 Skema alur masuk dan kolam putar berdasarkan hasil estimasi kebutuhan geometri revitalisasi pelabuhan liem hie djung.

Nilai kedalaman 2,27 meter merupakan kebutuhan minimum analitis untuk operasi yang aman. Dalam konteks desain revitalisasi, nilai ini perlu diperlakukan sebagai dasar yang kemudian ditingkatkan melalui faktor keselamatan operasional (misalnya pembulatan desain, pertimbangan variabilitas pasang surut, dan rencana pemeliharaan alur). Pendekatan konservatif ini relevan untuk menjaga keandalan layanan lintas batas pada variasi kondisi laut dan keterbatasan inspeksi/ perbaikan di wilayah berkembang (Hai dkk., 2021; Olojede dkk., 2021).

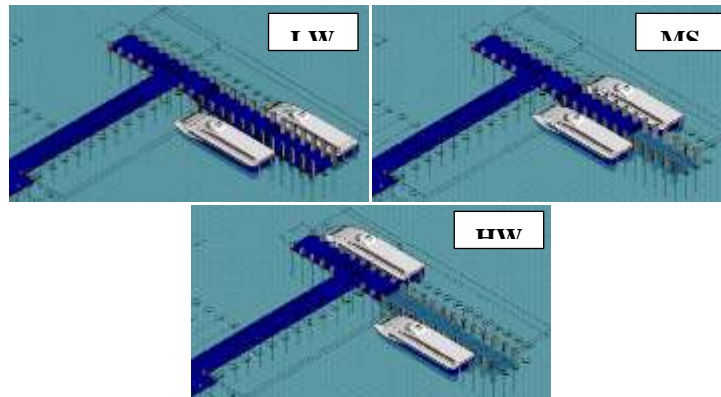
Berdasarkan geometri kapal rencana dengan lebar 6,80 m, hasil estimasi kebutuhan alur satu jalur menunjukkan: lebar lintasan manuver 12,14 m, ruang kebebasan internal 0,50 m, dan lebar satu jalur 32,64 m. Untuk area manuver, hasil estimasi kolam putar memberikan diameter 44,25 m dengan lebar alur di dalam kolam (satu arah) 10,20 m. Nilai-nilai ini menegaskan bahwa perencanaan sisi laut tidak hanya mensyaratkan kedalaman, tetapi juga kecukupan ruang olah gerak yang mempertimbangkan arus dan kondisi operasi aktual.

Dalam pembahasan operasional, keberadaan arus maksimum 0,59 m/s pada kondisi surut dapat meningkatkan kebutuhan ruang koreksi haluan saat diperlukan. Oleh karena itu, pemenuhan geometri kolam putar dan alur masuk haruslah dipadukan dengan SOP kecepatan operasi rendah, manuver bertahap, dan penandaan navigasi yang memadai untuk menekan risiko insiden (Hai dkk., 2021). Adapun skema alur masuk dan kolam putar berdasarkan hasil estimasi kebutuhan geometri revitalisasi ditunjukkan pada Gambar 2.

### 3.4. Kebutuhan Dimensi Dermaga: Panjang, Lebar, dan Elevasi Operasional

Kebutuhan panjang dermaga dihitung menggunakan persamaan (3), dengan LOA 29,50 m dan untuk operasional satu unit kapal sandar layanan internasional, diperoleh panjang dermaga rencana sebesar 54,50 m. Lebar dermaga diperkirakan 9,20 m untuk mendukung sirkulasi penumpang dan operasi tambat kapal. Selain rencana dimensi tersebut, elevasi lantai dermaga ditentukan untuk menjamin kenyamanan bongkar muat pada setiap variasi muka air. Berdasarkan HWS, MSL, LWS, serta batas keamanan dan tinggi gelombang rencana, diperoleh rentang elevasi lantai dermaga antara +2,54 sampai dengan +5,54 m (terhadap datum

pengukuran di lapangan) dengan selisih maksimum 1,52 m. Secara operasional, selisih ini menuntut strategi akses adaptif atau konfigurasi lantai bertingkat agar layanan lintas batas tetap andal pada seluruh fase pasang surut.



Gambar 2 Konsep elevasi lantai dermaga terhadap pasang surut dan opsi akses adaptif

Berdasarkan estimasi kebutuhan dan penyesuaian terhadap elevasi lantai dermaga kondisi pasang surut yang terjadi, maka didapatkan untuk panjang dermaga total adalah 81,00 m, dengan lebar tetap 9,20 m. Pada Gambar 2 diperlihatkan perbedaan posisi sandar kapal, yang bergantung pada kondisi fluktuasi air. Pada kondisi air LWS, sisi dalam dan luar dermaga dapat dimanfaatkan secara optimal untuk melakukan bongkar muat penumpang. Sedangkan pada kondisi MSL yang merupakan kondisi transisi dari pasang tertinggi ke surut terendah, dermaga akan berfungsi dengan baik untuk melakukan bongkar muat penumpang. Kedua sisi dermaga, baik luar maupun dalam dapat difungsikan oleh kapal untuk melakukan sandar dan bongkar muat. Namun, lantai dermaga yang dapat optimal berfungsi hanya pada lantai pada tingkat kedua. Pada kondisi air pasang HWS, bongkar muat penumpang hanya dapat dilakukan pada 1 kapal yaitu pada sisi luar lantai dermaga tingkat ketiga.

### 3.5. Hasil Analisis Kebutuhan Terminal, dan Parkir

Analisis sisi darat didasarkan pada kebutuhan layanan penumpang serta evaluasi kesenjangan terhadap kondisi eksisting. Data operasional menunjukkan intensitas pergerakan penumpang yang signifikan pada layanan domestik maupun internasional. Kinerja permintaan layanan secara ringkas disampaikan sebagai berikut:

1. Keberangkatan penumpang domestik pada tahun 2023 berjumlah 94.901 orang dan pada tahun 2024 berjumlah 86.902 orang. Terjadi perubahan sebesar -8,4%.
2. Keberangkatan penumpang sektor internasional pada tahun 2023 berjumlah 91.966 orang dan pada tahun 2024 berjumlah 90.657 orang. Terjadi perubahan sebesar -1,4%.
3. Kedatangan penumpang sektor internasional pada tahun 2023 sebesar 87.680 orang dan pada tahun 2024 sebesar 92.561 orang. Terjadi perubahan sebesar +5,6%.
4. Pengunjung pelabuhan pada tahun 2023 sebesar 18.412 orang dan pada tahun 2024 sebesar 20.502 orang. Terjadi peningkatan sebesar +11,4%.

Temuan tersebut memperlihatkan bahwa kebutuhan fasilitas sisi darat tetap relevan, terutama ketika tujuan revitalisasi diarahkan untuk meningkatkan keandalan dan kualitas layanan lintas batas. Integrasi dimensi kualitas layanan dan penataan fungsi terminal perlu dilakukan secara konsisten dengan tuntutan layanan penumpang dan prosedur pemeriksaan (Hai dkk., 2021; Olojede dkk., 2021).

Selain itu kapasitas ruang terminal dan ruang tunggu serta kebutuhan parkir hasil dari analisis adalah sebagai berikut:

1. Terminal penumpang dengan luas 1.640,4 m<sup>2</sup> (tanpa perlakuan perluasan)
2. Gedung terminal dengan luas 2.840,4 m<sup>2</sup> (tanpa perlakuan perluasan)
3. Perkiraan kebutuhan ruang tunggu regional/ domestik ±464,35 m<sup>2</sup>
4. Perkiraan kebutuhan ruang tunggu internasional ±182,32 m<sup>2</sup>
5. Perkiraan kebutuhan lahan parkir untuk kendaraan roda 2 dan roda 4 ±2.644 m<sup>2</sup>.

Angka-angka ruang terminal dan parkir tersebut perlu dikaitkan dengan pola kedatangan dan keberangkatan penumpang dan puncak layanan. Kesenjangan umumnya muncul pada sirkulasi ruang tunggu, fasilitas pemeriksaan, dan keterhubungan pejalan kaki dari area parkir ke terminal. Aspek ini penting karena peningkatan layanan lintas batas cenderung meningkatkan kebutuhan ruang untuk antrian dan pemeriksaan. Penataan sisi darat yang responsif terhadap pola layanan juga berperan dalam mengurangi friksi operasional dan risiko konflik kepentingan antar pemangku kepentingan (Babatunde dkk., 2020b; Jiang & Martek, 2023; Li dkk., 2024).

### 3.6. Integrasi Temuan Sisi Perairan-Sisi Daratan dan Prioritas Revitalisasi

Integrasi hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan kinerja Pelabuhan Liem Hie Djung harus dilakukan melalui paket kebijakan teknis yang saling terkait. Pada sisi perairan, kebutuhan minimum kedalaman rencana 2,27 m, lebar alur satu jalur 32,64 m, diameter kolam putar 44,25 m, dan kebutuhan panjang dermaga dari 54,50 m menjadi 81,00 m merupakan dasar teknis untuk pelayanan internasional. Pada sisi darat, besarnya arus penumpang (domestik dan internasional) serta kebutuhan ruang tunggu serta parkir menuntut penataan fungsi terminal, sirkulasi, dan fasilitas pemeriksaan agar layanan lintas batas tetap aman dan efisien.

Berdasarkan integrasi tersebut, prioritas rekomendasi pra-desain revitalisasi disusun sebagai berikut:

1. Penentuan kedalaman efektif pada zona pendekatan dermaga dan alur masuk (tidak harus pengerukan, dapat juga dengan pemindahan posisi dermaga lebih ke arah laut dengan implikasi tambahan struktur jetty yang lebih panjang).
2. Penataan geometri alur dan kolam putar sesuai kebutuhan manuver, dengan mempertimbangkan arus maksimum 0,59 m/s pada kondisi surut.
3. Pemenuhan dimensi dermaga internasional (panjang 81,00 m dan lebar 9,20 m) serta adaptasi elevasi terhadap selisih pasang surut maksimum 1,52 m melalui akses adaptif.
4. Optimasi layout terminal, parkir (tanpa perluasan) untuk mengurangi *bottleneck* layanan dan meningkatkan kualitas layanan penumpang.
5. Implementasi bertahap berbasis prioritas kebutuhan layanan lintas batas dan ketersediaan sumber data, dengan tata kelola proyek yang menekan risiko koordinasi multipihak.

Dengan demikian, hasil analisis memperlihatkan bahwa keberhasilan revitalisasi tidak hanya ditentukan oleh peningkatan kapasitas fisik, tetapi juga oleh konsistensi integrasi data teknis, operasional dalam pengambilan keputusan, sebagaimana ditekankan dalam studi-studi pengelolaan dan pengembangan infrastruktur pelabuhan di wilayah pesisir (Hai dkk., 2021; Olojede dkk., 2021).

### 3.7. Konsep Pra-Desain Arsitektur dan Tata Ruang Dermaga

Konsep pra-desain arsitektur dan tata ruang pada konstruksi dermaga Pelabuhan Liem Hie Djung disusun untuk mendukung fungsi pelabuhan sebagai PLBL Indonesia Malaysia, sekaligus memastikan alur pelayanan sisi laut diarahkan pada pemisahan yang jelas antara wilayah pelayanan domestik dan wilayah pelayanan internasional. Sehingga kebutuhan operasional (kedatangan-keberangkatan), pemeriksaan, serta pengendalian keamanan dapat dilaksanakan tanpa konflik sirkulasi.

Tabel 3 Ringkasan zonasi pelayanan dermaga pada pra-desain revitalisasi

Zona pelayanan	Elemen utama	Fungsi operasional	Catatan teknis / operasional
Regional/ Domestik (Dermaga terapung)	3 unit dermaga terapung	Dermaga 1: Keberangkatan Dermaga 2: Kedatangan Dermaga 3: Cadangan bongkar-muat	Mengurangi antrean layanan, meningkatkan redundansi operasi
Internasional (Dermaga tetap)	Dermaga pelayanan internasional dengan area pemeriksaan	Jalur kedatangan – keberangkatan dipisahkan	Partisi untuk keamanan dan pemeriksaan penumpang lintas batas
Konektivitas antar dermaga	Jembatan penghubung termasuk movable bridge dari jetty ke dermaga terapung	Akses pejalan kaki dan integrasi layanan	Adaptif terhadap beda elevasi pasang surut dan konfigurasi dermaga terapung
Proteksi iklim & estetika	Penutup atap sepanjang dermaga; fasad ACP bermotif lokal daerah	Kenyamanan penumpang dan identitas visual	Pembaruan struktur atap untuk mengatasi korosi elemen eksisting

Pada pra-desain, wilayah pelayanan domestik dilengkapi tiga unit dermaga terapung untuk mengurangi bottleneck layanan, dengan pembagian fungsi yang jelas sebagai dermaga keberangkatan, kedatangan, dan cadangan. Wilayah pelayanan internasional dirancang dengan pemisahan jalur kedatangan-keberangkatan menggunakan partisi untuk memenuhi kebutuhan keamanan dan pemeriksaan penumpang lintas batas. Untuk meningkatkan kenyamanan dan ketahanan aset, direncanakan penutup atap sepanjang dermaga sebagai proteksi cuaca serta pembaruan sistem konstruksi atap guna mengatasi korosi elemen eksisting. Penataan fasad menggunakan panel ACP bermotif lokal diterapkan sebagai penguatan identitas visual tanpa mengubah fungsi utama struktur (Babatunde dkk., 2020a; Jiang & Martek, 2023). Ringkasan zonasi pelayanan dermaga pada pra-desain revitalisasi ditunjukkan pada Tabel 3. Adapun visualisasi konsep pra-desain revitalisasi untuk sisi darat ditunjukkan pada Gambar 3(a), dan sisi perairan laut ditunjukkan pada Gambar 3(b).

Gambar 3(a) menunjukkan hasil konsep revitalisasi sisi darat Pelabuhan Liem Hie Djung yang menekankan keterbacaan fungsi, kenyamanan, dan kelancaran arus penumpang lintas batas melalui terminal, parkir, akses ke dermaga. Bangunan

terminal utama ditempatkan memanjang sejajar garis pantai dengan atap lebar sebagai pelindung cuaca, sementara fasad bermotif diagonal membentuk identitas visual sekaligus elemen peneduh. Gambar 3(b) menampilkan konsep revitalisasi sisi perairan Pelabuhan Liem Hie Djung berupa penguatan sistem tambat dan sirkulasi kapal melalui dermaga utama memanjang yang terhubung ke daratan dengan koridor akses bertahap. Tata letak ini dirancang agar kapal dapat bermanuver lebih aman pada alur masuk maupun area kolam putar.



Gambar 3 (a) visualisasi konsep pra-desain sisi darat, (b) visualisasi konsep pra-desain sisi perairan laut.

Secara keseluruhan, pra-desain sisi perairan dan sisi darat ini memperlihatkan upaya meningkatkan fungsi operasi pelabuhan dengan meningkatkan keselamatan pelayaran, efisiensi bongkar muat, dan fleksibilitas pengembangan bertahap.

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1 Kesimpulan

Penelitian ini menegaskan bahwa revitalisasi Pelabuhan Liem Hie Djung perlu berbasis data spasial perairan yang terukur dan terhubung langsung dengan kebutuhan pelayanan lintas batas. Pemodelan bathimetri menggunakan raster BATNAS yang diolah berbasis SIG menghasilkan peta kedalaman dan morfologi dasar perairan sebagai acuan elevasi alur masuk, kolam putar, kolam sandar, serta penentuan area kritis yang berpotensi membatasi keselamatan olah gerak kapal. Berdasarkan hasil tersebut, kebutuhan fasilitas sisi air dapat dirumuskan melalui penyesuaian kedalaman rencana, pengaturan geometri alur/kolam, dan pengendalian pandangkalan secara bertahap sesuai prioritas operasi. Pada sisi darat, temuan lapangan menunjukkan perlunya penataan sirkulasi, peningkatan kapasitas ruang tunggu dan pelayanan, serta penyediaan area penunjang agar proses embarkasi-debarkasi lebih tertib. Secara keseluruhan, rekomendasi pra-desain yang disusun selaras dengan standar perencanaan pelabuhan memberikan arah implementasi revitalisasi terpadu yang aman, efisien, dan realistis untuk mendukung konektivitas Nunukan-Tawau, serta menjadi dasar penajaman desain rinci melalui survei hidrografi dan investigasi teknis lanjutan pada tahap berikutnya.

### 4.2 Saran

Saran rekomendasi yang dapat diberikan adalah melaksanakan revitalisasi Pelabuhan Liem Hie Djung secara terintegrasi dengan prioritas bertahap agar keputusan investasi, tahapan pembangunan, dan pengendalian risiko operasional dapat berjalan konsisten, efektif, dan berkelanjutan.

### Daftar Kepustakaan

- Araújo, A. G. d., Gusmão, A. D., Carneiro, A. M. P., & Palha, R. P. (2025). Methodology for Quantification and Identification of Environmental Aspect in Urban Infrastructure Projects in the Planning Phase. *Buildings*, 15(8), 1328. <https://doi.org/10.3390/buildings15081328>
- Asiedu, R. O., Manu, P., Mahamadu, A., Booth, C. A., Olomolaiye, P., Agyekum, K., & Abadi, M. (2021). Critical Skills for Infrastructure Procurement: Insights From Developing Country Contexts. *Journal of Engineering Design and Technology*, 21(6), 1948–1974. <https://doi.org/10.1108/jedt-08-2021-0437>
- Babatunde, S. O., Ekundayo, D., Udejaja, C., & Abubakar, U. O. (2020a). An Investigation Into the Sustainability Practices in PPP Infrastructure Projects: A Case of Nigeria. *Smart and Sustainable Built Environment*, 11(1), 110–125. <https://doi.org/10.1108/sasbe-04-2020-0048>
- Babatunde, S. O., Ekundayo, D., Udejaja, C., & Abubakar, U. O. (2020b). Stakeholder Perceptions of Drivers For, and Barriers To, the Incorporation of Sustainability in PPP Infrastructure Projects in Nigeria. *Open House International*, 45(4), 373–386. <https://doi.org/10.1108/ohi-05-2020-0037>
- Badan Informasi Geospasial. (2021, Januari 5). *Geoportal Badan Informasi Geospasial*.
- Biol, F., Léger, F., Passaro, M., Cazenave, A., Niño, F., Calafat, F. M., Shaw, A., Legeais, J., Gouzènes, Y., Schwatke, C., & Benveniste, J. (2021). The X-Track/Ales Multi-Mission Processing System: New Advances in Altimetry Towards the Coast. *Advances in Space Research*, 67(8), 2398–2415. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.049>
- Castro, E., Iuppa, C., Musumeci, R. E., Santoro, V. C., Foti, E., & Cavallaro, L. (2025). Optimizing Neural Network Training for Nearshore Sea State Forecasts Using Maximum Dissimilarity Algorithm. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 11(4), 1119–1128. <https://doi.org/10.1007/s40722-025-00426-5>
- Hai, D. T., Toãn, N. Q., & Tãm, N. V. (2021). Critical Success Factors for Implementing PPP Infrastructure Projects in Developing Countries: The Case of Vietnam. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00688-6>
- Haryanti, G. T., & Utomo, E. (2024). Penanganan Abrasi Pantai Amal Baru Kota Tarakan dengan Bangunan Pelindung Pantai Tipe Detached Breakwater. *CESJ: Civil Engineering Scientific Journal*, 3(2), 95–106. <https://doi.org/10.35334/cesj.v3i2.5897>
- Ismail, S., Hon, C. K., Crowther, P., Skitmore, M., & Lamari, F. (2022). The Drivers and Challenges of Adopting the Malaysia Industrialised Building System for Sustainable Infrastructure Development. *Construction Innovation*, 23(5), 1054–1074. <https://doi.org/10.1108/ci-05-2021-0088>
- Jiang, W., & Martek, I. (2023). Strategies for Managing the Political Risk of Investing In infrastructure Projects, In developing Countries. *Engineering Construction & Architectural Management*, 31(10), 4079–4098. <https://doi.org/10.1108/ecam-12-2021-1072>
- Li, Y., Cheng, Z., Yin, J., Yang, Z., & Ming, X. (2024). From Here to Where: Assessing The infrastructure Financialization in Urban China. *Engineering Construction &*

- Architectural Management*, 32(6), 3547–3564. <https://doi.org/10.1108/ecam-01-2023-0056>
- Mateo-Pérez, V., Corral-Bobadilla, M., Ortega-Fernández, F., & Rodríguez-Montequín, V. (2021). Determination of water depth in ports using satellite data based on machine learning algorithms. *Energies*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/en14092486>
- Njogu, H. W. (2021). Effects of Floods on Infrastructure Users in Kenya. *Journal of Flood Risk Management*, 14(4). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12746>
- Olojede, B. O., Opawole, A., Jagboro, G. O., & Alao, O. O. (2021). Examination of Roles Performed by Public Sector Organizations in the Procurement of Public-Private Partnership Projects. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 41(2), 495–511. <https://doi.org/10.1108/ijbpa-12-2020-0107>
- Rizwan, T., Jalil, Z., Akhyar, & Husaini. (2021). Oceanographic Factors as the Indicators for Shipyard Industry Development in Kutaraja Fishing Port: A Preliminary Study. *Journal of Ecological Engineering*, 22(9), 237–245. <https://doi.org/10.12911/22998993/141556>
- Salameh, E., Frappart, F., Almar, R., Baptista, P., Heygster, G., Lubac, B., Raucoules, D., Almeida, L. P., Bergsma, E. W. J., Capo, S., De Michele, M. D., Idier, D., Li, Z., Marieu, V., Poupardin, A., Silva, P. A., Turki, I., & Laignel, B. (2019). Monitoring Beach Topography and Nearshore Bathymetry Using Spaceborne Remote Sensing: A Review. *Remote Sensing*, 11(19), 1–32. <https://doi.org/10.3390/rs11192212>
- U.S. Army Corps of Engineers. (1984). *Shore Protection Manual* (Vol. 1). Coastal Engineering Research Center.
- Utomo, E., & Asta. (2023). Studi Perubahan Tinggi Gelombang Laut untuk Rencana Pengembangan Infrastruktur Pelabuhan di Pantai Barat Pulau Tarakan Kalimantan Utara. *Civil Engineering Scientific Journal (CESJ)*, 2(3), 127–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.35334/cesj.v2i3>
- Utomo, E., Susanto, A., & Hermansyah, M. (2025). Analisis Statistik Kenaikan Muka Air Laut untuk Perencanaan Infrastruktur Pesisir: Studi Kasus Kota Tarakan. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 221–232. <https://doi.org/10.35334/be.v9i2.367>
- Vigil, A. J. E., & Booker, J. D. (2023). Building National Disaster Resilience: Assessment of ENSO-driven Disasters in Peru. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 14(4), 423–433. <https://doi.org/10.1108/ijdrbe-10-2022-0102>