

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasar Teori

2.1.1 Keselamatan Pelayaran

Definisi keselamatan, sebagaimana dijelaskan oleh Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), merujuk pada keadaan yang bebas dari risiko dan ancaman, meliputi berbagai dimensi kehidupan manusia. Dimensi-dimensi ini melibatkan aspek-aspek yang berkaitan dengan fisik, sosial, spiritual, finansial, politik, emosional, pekerjaan, psikologis, dan pendidikan. Keselamatan juga mengimplikasikan suatu kondisi yang menjamin ketertiban dan keseimbangan dalam lingkup yang lebih luas, serta melindungi individu atau kelompok dari potensi kerugian dan bahaya.

Dalam konteks keselamatan pelayaran, istilah ini mengacu pada upaya untuk memastikan bahwa semua aspek yang terkait dengan perjalanan dan aktivitas kelautan berlangsung tanpa risiko yang tidak perlu. Keselamatan pelayaran mencakup berbagai elemen yang ada dan dapat dikembangkan untuk mencegah terjadinya kecelakaan atau situasi berbahaya saat melakukan pelayaran dan berinteraksi dengan laut. Upaya-upaya ini melibatkan segala hal, mulai dari perencanaan rute dan pengawasan navigasi hingga persiapan peralatan keselamatan dan pelatihan awak kapal.

Dalam upaya menjaga keselamatan pelayaran, konsep ini diterjemahkan menjadi tindakan konkret yang diimplementasikan oleh badan-badan seperti Bakamla. Penelitian yang dilakukan oleh Santoso et al. (2017) menjelaskan bagaimana keselamatan pelayaran menjadi fokus utama dalam mengembangkan strategi yang efektif dalam mengatasi risiko dan tantangan di perairan. Strategi ini mencakup pengembangan protokol keselamatan, peningkatan kemampuan reaksi terhadap situasi darurat,

serta peningkatan koordinasi dengan instansi lain yang berperan dalam pengawasan dan keamanan perairan.

Dalam konteks ini, Undang-Undang No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran memiliki peran yang signifikan dalam memberikan dasar hukum bagi upaya menjaga keselamatan dan keamanan pelayaran. Pasal 1, Butir 33 dari undang-undang tersebut mendefinisikan keselamatan dan keamanan pelayaran sebagai kondisi di mana persyaratan keselamatan dan keamanan terpenuhi dalam konteks transportasi di perairan, kepelabuhan, dan lingkungan maritim.

Secara lebih khusus, faktor yang perlu diperhatikan dalam upaya menjaga keselamatan pelayaran adalah gelombang laut. Gelombang laut merupakan salah satu fenomena alami yang dapat memberikan dampak signifikan terhadap kondisi keselamatan kapal dan awaknya saat melakukan pelayaran. Tinggi, kekasaran, atau ketidakaturan gelombang laut dapat mengganggu stabilitas kapal, navigasi yang akurat, dan kinerja optimal dari peralatan keselamatan. Oleh karena itu, dalam merancang strategi keselamatan pelayaran, perlu diperhitungkan cara menghadapi variasi kondisi gelombang laut dan bagaimana mengantisipasi dampaknya terhadap keselamatan keseluruhan pelayaran. Dengan demikian, keselamatan pelayaran bukan hanya mengacu pada kondisi bebas dari risiko, tetapi juga melibatkan upaya komprehensif untuk meminimalkan risiko dan memastikan keberlangsungan perjalanan dan aktivitas kelautan dengan cara yang aman dan efektif.

2.1.2 Keamanan

Definisi Keamanan, seperti yang dijelaskan dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), merujuk pada keadaan yang tidak mengandung risiko atau potensi bahaya. Istilah ini dapat dikaitkan dengan berbagai bentuk ancaman, termasuk kejahatan dan beragam jenis kecelakaan. Konsep Keamanan mencakup usaha untuk melindungi berbagai aspek,

mulai dari tingkat nasional hingga planet bumi dalam keseluruhan dimensinya (Buzan & Hansen, 2009).

Konsepsi tentang Keamanan mencakup beragam sektor, yang meliputi ranah militer, politik, lingkungan, ekonomi, dan sosial (Barry, 1991). Di samping itu, Keamanan juga merujuk pada kondisi yang memberikan perasaan aman dan ketenangan (Tarwoto & Wartonah, 2010). Dengan kata lain, Keamanan tidak hanya memfokuskan pada pencegahan cedera fisik atau rasa sakit semata, tetapi juga mempertimbangkan kenyamanan individu dalam menjalankan aktivitas sehari-hari, mengurangi tingkat stres, dan meningkatkan kesejahteraan secara keseluruhan.

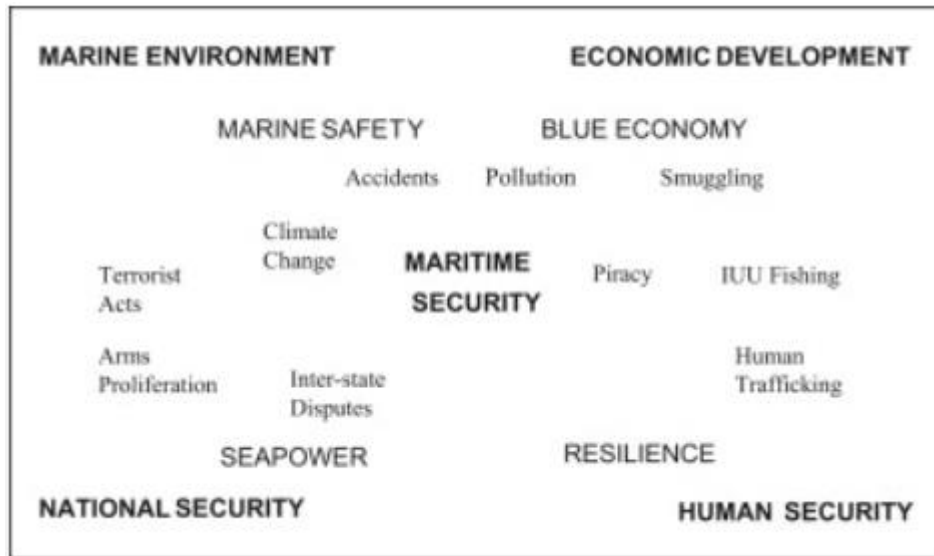
Keamanan fisik (*biologic safety*) berhubungan dengan kondisi fisik yang terbebas dari potensi ancaman kecelakaan dan cedera, termasuk ancaman mekanis, termal, dan elektrik. Keharusan untuk menjaga Keamanan merupakan suatu kebutuhan untuk melindungi diri dari bahaya fisik. Konsep dasar Keamanan terkait dengan kemampuan individu untuk menghindari risiko, dimana hal ini dipengaruhi oleh tingkat pengetahuan, tingkat kesadaran, dan motivasi untuk mengambil tindakan pencegahan. Dalam ranah Keamanan, terdapat tiga faktor krusial yang saling terkait, yaitu tingkat pengetahuan dan kesadaran individu, kapabilitas fisik dan mental untuk melaksanakan tindakan pencegahan, serta lingkungan fisik yang dapat menjadi berpotensi berbahaya atau menimbulkan risiko (Roper N, 2002). Semua aspek ini memiliki keterkaitan yang penting dalam memastikan bahwa kondisi yang aman dan terjamin dapat terwujud baik bagi individu maupun lingkungan sekitarnya.

2.1.3 Teori Keamanan Maritim

Dalam beberapa tahun terakhir, Keamanan Maritim (*Maritime Security*) telah menjadi konsep yang semakin populer. Negara-negara dan organisasi internasional mulai menetapkan tugas dan merancang atau menyesuaikan kembali kebijakan mereka dengan mengacu pada interpretasi Keamanan Maritim. Terkait dengan konsep ini, ada juga konsep

Keselamatan Maritim (*Maritime Safety*) yang berfokus pada masalah keselamatan kapal, instalasi, personel, dan para profesional di bidang kemaritiman dan lingkungan laut. Organisasi internasional yang bertanggung jawab dalam bidang ini adalah International Maritime Organization (IMO), yang berada di bawah naungan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). Keselamatan Maritim mencakup penetapan standar dan pengaturan pembangunan dan konstruksi kapal dan instalasi maritim, serta pengawasan dan pelaksanaan prosedur keselamatan dan pengembangan sumber daya manusia melalui pendidikan dan pelatihan di bidang Keselamatan Maritim. Secara keseluruhan, Keamanan Maritim dan Keselamatan Maritim adalah dua konsep yang saling terkait dan penting untuk memastikan keberlanjutan dan keamanan dalam aktivitas maritim global. Dengan adanya upaya kolaboratif dari negara-negara dan organisasi internasional melalui peran aktif IMO, diharapkan bahwa keselamatan dan keamanan di sektor kemaritiman dapat terus ditingkatkan untuk masa depan yang lebih aman dan berkelanjutan.

Menurut Buerger (2015), keamanan maritim menjadi istilah yang populer namun masih belum sepenuhnya dijelaskan secara jelas oleh berbagai pihak. Pengertian dari istilah ini dapat bervariasi tergantung pada kepentingan organisasi, bias politik, dan ideologi (Rahman, 2009). Buerger (2015) mengusulkan tiga konsep penting dalam merumuskan keamanan maritim, yaitu: matriks keamanan maritim (*maritime security matrix*), kerangka sekuritisasi maritim (*securitization framework*), dan kelompok pengguna praktek keamanan (*Security Practice and Communities of Practice*). Matriks keamanan maritim membantu suatu entitas untuk merumuskan keamanan maritimnya dalam empat dimensi, meliputi keamanan nasional (*national security*), keamanan ekonomi (*economy security*), keamanan manusia (*human security*), dan keamanan lingkungan maritim (*marine environment*).

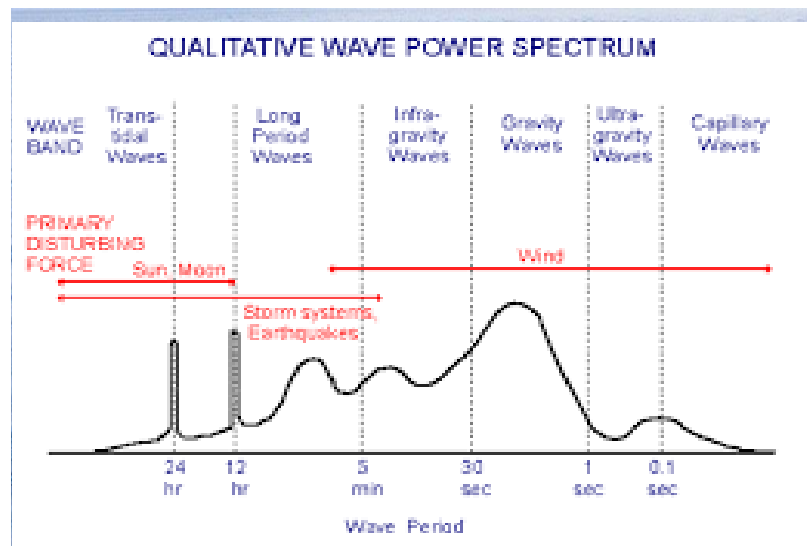


Gambar 2. 1 Teori Keamanan Maritim

Sumber : (Buerger 2015)

2.1.4 Gelombang Laut

Gelombang laut terbentuk dari berbagai sumber pembangkit, termasuk gelombang akibat angin, gempa bumi (*tsunami*), dan gelombang tidal atau pasang surut yang disebabkan oleh gaya tarik-menarik antara bumi, bulan, dan matahari (WMO- No. 471, 2001).



Gambar 2. 2 Sebaran energi gelombang di permukaan laut

Sumber: (Kinsman, B. 1984)

Gelombang yang disebabkan oleh angin adalah jenis gelombang paling dominan di laut, baik dalam frekuensi terjadinya maupun energinya. Jenis gelombang ini beragam, mulai dari gelombang kapiler hingga gelombang gravitas panjang yang dihasilkan oleh sistem badai. Gelombang akibat angin yang ada di permukaan laut memiliki pengaruh yang luas terhadap hampir semua kegiatan di laut. Oleh karena itu, informasi mengenai gelombang akibat angin merupakan bagian paling penting dalam layanan informasi meteorologi kelautan, selain informasi tentang angin itu sendiri.

Di lautan, gelombang bisa berkembang ketika angin bertiup dengan arah dan kecepatan yang konsisten. Ukuran gelombang di wilayah ini ditentukan oleh kecepatan angin, durasi atau lamanya angin bertiup, dan jarak tempuh gelombang sejak awal pembentukannya (*fetch*). Faktor yang mempengaruhi *fetch* adalah pantai, perubahan arah, dan kecepatan angin. Semakin panjang *fetch*, maka semakin besar ukuran gelombang yang terbentuk. Berdasarkan rekaman data gelombang dari buoy di Atlantik Utara, diasumsikan bahwa jika angin terus-menerus bertiup secara konsisten di lautan yang luas, spektrum gelombang akan berkembang sepenuhnya (*fully developed*) sesuai dengan kecepatan angin (Pierson Jr & Moskowitz, 1964). Semakin tinggi kecepatan angin, semakin luas kisaran frekuensi dan energi gelombang yang terbentuk. Ukuran masing-masing kurva spektrum sebanding dengan tinggi gelombang, sehingga gambar ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin, maka semakin besar pula gelombang yang terbentuk.

Data gelombang selama kegiatan *Joint North Sea Wave Observation Project* (JONSWAP) bahwa spektrum gelombang tidak mencapai kondisi penuh atau sepenuhnya berkembang, melainkan terus berubah seiring dengan waktu atau jarak tempuh (*fetch*) (Hasselmann, 1963). Perubahan ini mencakup perubahan bentuk puncak spektrum dari yang tumpul menjadi lebih lancip sejalan dengan jarak *fetch* yang ditempuh, yang juga

mencerminkan waktu yang berlalu. Perubahan tersebut disebabkan oleh proses transfer energi dari gelombang berfrekuensi tinggi ke gelombang berfrekuensi rendah, sesuai dengan teori interaksi non-linear gelombang (Hasselmann et al., 1973). Pertumbuhan spektrum ini menggambarkan bahwa gelombang-gelombang dengan frekuensi rendah memiliki energi yang lebih besar dan kecepatan yang melebihi kecepatan angin, sehingga mampu melampaui daerah pembentukannya. Gelombang yang telah melewati daerah asalnya disebut sebagai "swell," sementara gelombang yang tetap berada di daerah asalnya disebut "sea".

Ukuran gelombang diwakili oleh tiga komponen, yaitu tinggi, periode, dan panjang gelombang. Tinggi gelombang merupakan jarak yang diukur dari lembah ke puncak gelombang. Panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak (atau lembah) gelombang yang berurutan. Periode adalah selang waktu antara dua puncak (atau lembah) saat gelombang melewati satu titik tetap. Istilah yang umum digunakan untuk menggambarkan tinggi gelombang laut adalah "tinggi gelombang signifikan" (*significant wave height*). Berdasarkan data rekaman, tinggi gelombang signifikan didefinisikan sebagai tinggi rata-rata dari sepertiga gelombang tertinggi, yang nilainya setara dengan tinggi gelombang hasil observasi visual (WMO-702, 1998). Tinggi gelombang signifikan sering dilambangkan dengan simbol $H_{1/3}$ atau H_s .

2.1.5 Siklon Tropis

Siklon tropis merupakan sebuah sistem tekanan rendah yang terbentuk di atas lautan yang luas, dengan kecepatan angin maksimum setidaknya 34 knot atau lebih, yang mendominasi di sekitar pusatnya (Zakir & Khotimah, 2006). Sistem ini harus telah bertahan setidaknya selama 6 jam untuk dianggap sebagai siklon tropis. Menurut Kepert (2010), siklon tropis adalah suatu fenomena atmosfer berupa pusaran atmosferik yang terbentuk di atas lautan pada wilayah tropis yang hangat. Samudera Hindia menjadi tempat terjadinya siklon tropis, dan rata-rata terdapat sekitar 10

siklon tropis yang terbentuk di kawasan tersebut setiap tahun (Saha, 2009). Siklon dapat menyebabkan peningkatan kecepatan angin yang tinggi dan pergerakan arus yang lambat. Biasanya, kecepatan angin yang paling tinggi terjadi pada area yang berjarak 20-30 mil dari pusat siklon. Arus permukaan dipengaruhi secara tidak langsung oleh angin yang bertiup, meskipun tenaga angin hanya memiliki pengaruh sekitar 2% dari kecepatan angin itu, dan pengaruhnya akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman hingga mencapai kedalaman 200 meter di mana faktor angin tidak lagi berpengaruh (Bernawis, 2000).



Gambar 2. 3 Kejadian siklon tropis

Sumber: (Crane, L. 2016)

Siklon tropis tersebut bisa merubah klimatologi gelombang secara signifikan, sehingga bila terjadi siklon tropis maka peningkatan tinggi gelombang berubah menjadi signifikan dan berbahaya bagi pelayaran. Untuk itu penting mengetahui berapa tinggi gelombang ketika terjadi kejadian siklon tropis tersebut. Dalam situasi di mana siklon tropis diperkirakan akan terjadi, pihak berwenang, termasuk otoritas maritim, operator pelayaran, dan awak kapal, harus memperhatikan peringatan

gelombang yang diberikan. Mereka perlu mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan, seperti menunda keberangkatan atau mengubah rute pelayaran, untuk menghindari risiko yang tinggi akibat gelombang laut yang berbahaya.

Pemahaman yang baik tentang tinggi gelombang selama siklon tropis sangat penting bagi keselamatan pelayaran dan kegiatan maritim. Dengan mengandalkan informasi yang akurat dan peringatan yang tepat waktu, risiko terhadap kapal, kru, dan barang yang diangkut dapat dikurangi, dan keputusan yang bijak dapat diambil untuk menjaga keselamatan selama kondisi cuaca yang buruk terkait siklon tropis. Untuk memantau fenomena badai atau siklon tropis bisa menggunakan pemodelan yang memiliki kemampuan untuk memodelkan fenomena laut yang sebenarnya. Sehingga siklon tropis bisa diteliti lebih lanjut terkait peningkatan gelombang dan durasi terjadinya siklon tropis (Prasetyo, F. A., et al. 2017).

2.1.6 Rumus Tinggi Gelombang maksimum yang bisa dilalui Kapal

Pada penelitian yang berjudul "*Extreme Waves and Ship Design*," penting untuk memperhitungkan kondisi perairan, terutama tinggi gelombang, saat merancang sebuah kapal. Dalam proses desain kapal, perhatian khusus harus diberikan pada kondisi terburuk yang akan dihadapi oleh struktur memanjang kapal saat panjang gelombang (L_w) sama dengan panjang kapal (L_{bp}) (Smith, 2007). Oleh karena itu, penentuan tinggi gelombang (H_w) berdasarkan panjang kapal (L_{bp}) pada gelombang trochoidal dapat dihitung sebagai berikut:

$$H_w = 1.1(L)^{0.5} \quad (2.1)$$

dimana Hw dan L dalam satuan feet dan dari rumus diatas dikonversi menjadi rumus ke satuan metrik dengan satuan meter menjadi sebagai berikut :

$$H_w = 0.61(L)^{0.5} \quad (2.2)$$

dimana Hw dan L dalam satuan meter.

Hw =Tinggi Gelombang maksimum yang bisa dilalui kapal

L = Panjang Kapal

Penentuan tinggi gelombang yang aman dan sesuai dengan desain kapal sangat penting untuk memastikan keselamatan pelayaran. Dengan mempertimbangkan kondisi gelombang ekstrem yang mungkin terjadi, Para pengguna pelayaran dapat menyesuaikan penggunaan kapal agar dapat menahan tekanan dan beban yang dihasilkan oleh gelombang laut. Selain itu, rumus ini juga memberikan pedoman bagi pihak berwenang, seperti otoritas maritim, dalam menetapkan batasan tinggi gelombang yang diperbolehkan untuk pelayaran kapal. Hal ini membantu dalam pengaturan kebijakan keselamatan pelayaran yang melindungi kapal, kru, dan penumpang dari risiko yang ditimbulkan oleh gelombang laut yang berbahaya.

Dalam proses desain kapal, mempertimbangkan tinggi gelombang yang sesuai menjadi bagian penting untuk memastikan keandalan dan keselamatan kapal. Dengan menggunakan rumus (2) yang disarankan oleh Craig B. Smith, pengguna kapal dapat mengoptimalkan jenis kapal untuk menghadapi kondisi gelombang yang mungkin terjadi, sehingga meningkatkan kinerja dan keselamatan kapal secara keseluruhan.

2.1.7 Model Gelombang

Pemodelan gelombang adalah proses memodelkan karakteristik gelombang, seperti tinggi, periode, dan arah, yang terjadi di laut atau

perairan lainnya (Arianty et al., 2017). Dalam pemodelan gelombang yang dipakai dalam penelitian ini adalah pemodelan gelombang milik BMKG yaitu Ina-Waves. Pemodelan ini dikembangkan untuk meningkatkan performa model gelombang sebelumnya yang dikenal dengan Windwaves-05. Model Windwaves-05 yang dikembangkan dari model gelombang generasi kedua MRI Jepang mempunyai peranan yang sangat penting dalam perkembangan Meteorologi maritim BMKG guna melayani informasi cuaca kelautan, namun model ini termasuk jenis pemodelan laut dalam sehingga kurang baik dalam memperhitungkan pengaruh yang diakibatkan oleh dasar laut (belum memperhitungkan pendangkalan), sehingga tidak optimal dalam memprediksikan efek yang disebabkan oleh pendangkalan seperti refraksi – difraksi akibat dasar laut dan pantai, selain itu model Windwaves-05 ini masih menggunakan *Limited Area Model* (LAM) sehingga belum optimal untuk memprediksi swell yang dibangkitkan dari penjalaran di luar area model. Dengan adanya keterbatasan tersebut, BMKG mulai mengimplementasikan pemodelan gelombang Ina-Waves yang merupakan gelombang spectral generasi ke III (Wavewatch III), dan kemudian di-couple dengan model gelombang laut dangkal atau dekat pantai (*Simulated WAVes Nearshore* - SWAN) dengan menggunakan metode nesting (model bersarang). Dalam Wavewatch III, Evolusi kerapatan aksi gelombang dijelaskan oleh persamaan berikut:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (\dot{\phi} N \cos \phi) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\dot{\lambda} N) + \frac{\partial}{\partial k} (\dot{k} N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\dot{\theta} N) = \frac{S}{\sigma} \quad (2.3)$$

Dimana :

N = spektrum gelombang (m^2/rad)

t = waktu (s)

ϕ = sudut lintang gelombang (elevasi, dari garis horisontal) (rad)

λ = garis bujur gelombang (rad)

k = bilangan gelombang (rad/m)

θ = arah gelombang (rad)

σ = frekuensi gelombang (rad/s)

N , ϕ , λ , k , dan θ adalah perubahan spektrum dan parameter-parameter lain seiring waktu.

S = fungsi sumber yang mempengaruhi perkembangan spektrum gelombang ($m^2/\text{rad}/s^2$)

Untuk persamaan pembangkit (*Governing Equation*) dari model SWAN yang digunakan dalam simulasi gelombang ini merupakan persamaan keseimbangan aksi pada koordinat kartesian yang dinyatakan seperti pada persamaan berikut:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial C_x N}{\partial x} + \frac{\partial C_y N}{\partial y} + \frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta} = \frac{Stot}{\sigma} \quad (2.4)$$

Dimana:

$\partial N / \partial t$ = laju perubahan energi tiap waktu.

$\partial C_x N / \partial x$ = perambatan energi gelombang dalam ruang x.

$\partial C_y N / \partial y$ = perambatan energi gelombang dalam ruang y.

$\partial C_\sigma N / \partial \sigma$ = efek perubahan frekuensi radian berdasarkan kedalaman dan arus rata-rata.

$\partial C_\theta N / \partial \theta$ = refraksi yang dipengaruhi oleh kedalaman dan arus.

$Stot \sigma$ = proses fisis yang membangkitkan, menghilangkan, atau mendistribusikan energi gelombang.

σ = frekuensi sudut relatif.

θ = arah gelombang.

Sedangkan untuk menentukan tinggi gelombang dari pemodelan digunakan persamaan berikut (Tolman, 2009):

$$H_s = \sqrt{4E} , \text{ dimana } E = \iint F(f, \theta) df d\theta \quad (2.5)$$

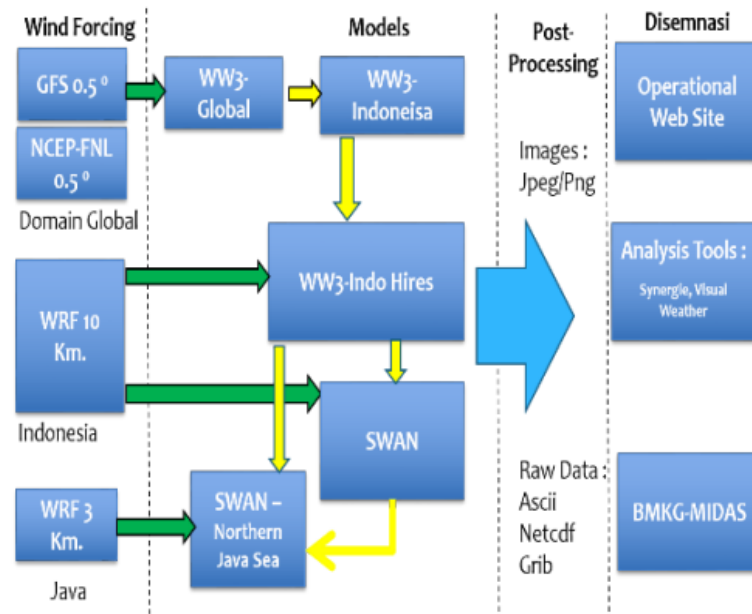
dimana :

H_s = Tinggi gelombang signifikan

E = total energi dari spektrum gelombang

F = frekuensi (f) dan arah rambat (θ)

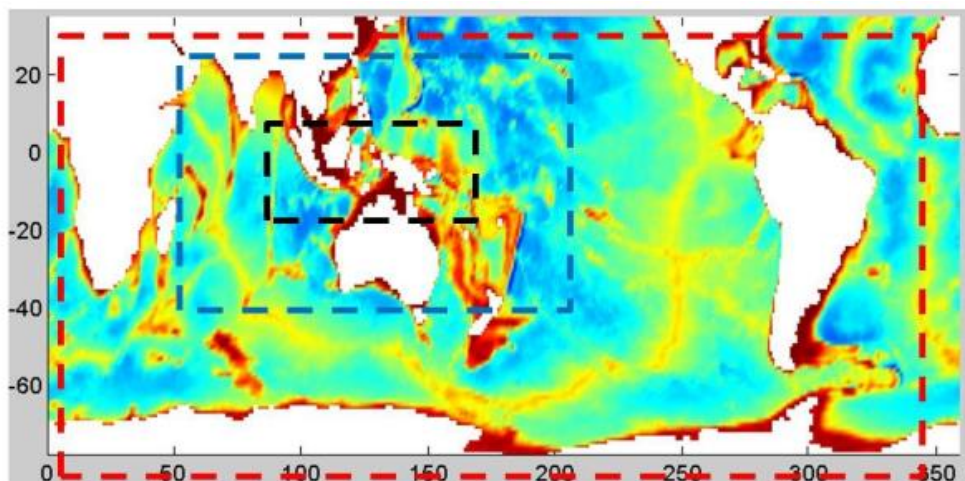
Ina-Waves ini telah menggunakan Bathymetri terbaru sebagai masukan model, sehingga diharapkan dapat memenuhi tuntutan akurasi dan kualitas informasi gelombang laut yang lebih baik untuk mendukung keselamatan dan efisiensi berbagai aktivitas kelautan. Ina-Waves sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa model ini merupakan pengembangan dari model Wavewatch III dan SWAN. Konfigurasi yang digunakan pada pemodelan Wavewatch III adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 4 Konfigurasi Ina Waves

Sumber: BMKG

Model Ina-Waves mempunyai 3 (tiga) domain yang kemudian digunakan sebagai nilai batas untuk domain berikutnya, adapun pembangkit (*forcing*) yang digunakan saat ini adalah GFS NOAA dengan resolusi 0.5° dan WRF 10 km serta 3 km. Domain Inawaves terdiri dari 3 domain nesting yaitu : Global model, Indonesia dan Indonesia hi-res. Pada Wavewatch III dimana menggunakan nesting (*downscaling*) dalam menjalankan model untuk domain wilayah perairan Indonesia terlebih dahulu menjalankan model pada domain global sehingga nilai syarat batas diluar domain akan digunakan untuk menghitung suatu nilai prediksi di dalam domain. Hal inilah yang menyebabkan wilayah outer-sea cenderung memiliki nilai prediksi yang lebih tinggi, dikarenakan secara umum outer-sea merupakan laut-laut yang dalam dimana pengaruh bathymetry tidak begitu terlihat.



Gambar 2. 5 Domain Ina Waves

Sumber : BMKG

Pembagian resolusi model Inawaves bervariasi antara 14 km hingga 7 km untuk domain Indonesia *Hi-Res*. Adapun konfigurasi detailnya sebagai berikut :

1. Asia – Australia
 - a. Domain : 60 – 170 E dan 35 N – 35 S

- b. *Forcing* : GFS 0.5
 - c. Resolusi : 0.125 atau 14 km
2. Indonesia
- a. Domain : 90 – 145 E dan 15 N – 15 S
 - b. *Forcing* : GFS 0.5
 - c. Resolusi : 0.125 atau 14 km
3. Indonesia Hi-res
- a. Domain : 90 – 145 E dan 15 N – 15 S
 - b. *Forcing* : GFS 0.5
 - c. Resolusi : 0.0625 atau 7 km

2.1.8 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem yang digunakan untuk mengumpulkan, mengelola, menganalisis, dan menginterpretasikan data geografis (Adil & Kom, 2017). SIG menggabungkan data geografis, seperti peta dan atribut terkait, menjadi satu entitas yang terintegrasi. SIG memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan data geografis dalam bentuk peta digital dan menerapkan berbagai operasi analisis spasial. Operasi analisis spasial ini melibatkan manipulasi, analisis, dan pemodelan data geografis untuk mengungkapkan pola, hubungan, dan informasi yang terkait dengan lokasi geografis.

Sistem Informasi Geografis (SIG) telah mengalami perkembangan sejak tahun 1970-an seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia akan data dan informasi terkait lokasi. Pertumbuhan SIG didorong oleh permintaan akan data yang terhubung dan pemetaan spasial menggunakan komputasi. Penggunaan SIG tidak lagi terbatas pada kebutuhan data saja, tetapi juga digunakan dalam pengambilan keputusan dan kebijakan (Nurhayati, 2005). Seiring berjalannya waktu, perkembangan SIG terus

mengikuti kebutuhan masyarakat dalam berbagai bidang. SIG telah menjadi alat yang sangat berharga dalam pengumpulan, pengolahan, dan analisis data geografis. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengintegrasikan berbagai sumber data dan memvisualisasikan informasi dalam konteks spasial yang lebih komprehensif.

Dalam penggunaannya, SIG memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengambilan keputusan dan kebijakan. Dengan memanfaatkan informasi geografis yang dikumpulkan dan dianalisis oleh SIG, pengambil keputusan dapat memiliki pemahaman yang lebih baik tentang konteks spasial suatu masalah atau situasi. Hal ini memungkinkan mereka untuk membuat keputusan yang lebih efektif dan efisien, serta merumuskan kebijakan yang tepat berdasarkan data dan informasi yang relevan.

Kemajuan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) telah memungkinkan pengembangan aplikasi SIG menggunakan bahasa pemrograman Python. Python adalah bahasa pemrograman yang populer dan sering digunakan dalam pengembangan perangkat lunak SIG. Python menyediakan sejumlah pustaka dan modul yang kuat untuk memanipulasi dan menganalisis data geografis. Beberapa pustaka terkenal yang digunakan dalam pengembangan SIG menggunakan Python antara lain:

1. GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library*): GDAL adalah pustaka yang digunakan untuk membaca, menulis, dan memanipulasi data raster dan vektor geografis. Dengan GDAL, Anda dapat membaca berbagai format data geografis seperti shapefile, raster, dan banyak lagi.
2. Fiona: Fiona adalah pustaka Python yang memungkinkan Anda membaca dan menulis data vektor geografis dalam format yang kompatibel dengan GDAL, seperti shapefile. Fiona memungkinkan Anda untuk mengakses geometri, atribut, dan informasi lainnya dari data vektor.

3. Shapely: Shapely adalah pustaka yang digunakan untuk melakukan operasi geometri pada data vektor. Anda dapat menggunakan Shapely untuk memanipulasi dan menganalisis objek geometri seperti titik, garis, dan poligon.
4. PySAL (*Python Spatial Analysis Library*): PySAL adalah pustaka Python yang dikhususkan untuk analisis spasial. PySAL menyediakan alat dan fungsi untuk menganalisis pola spasial, interaksi spasial, dan kluster spasial dalam data geografis.
5. GeoPandas: GeoPandas adalah pustaka Python yang menggabungkan kemampuan analisis data geografis dari Pandas (pustaka analisis data) dengan fungsionalitas geometri dari Shapely. Dengan GeoPandas, Anda dapat melakukan manipulasi dan analisis data geografis menggunakan fitur seperti indexing, filtering, dan agregasi yang disediakan oleh Pandas.

Selain pustaka-pustaka di atas, ada juga berbagai pustaka Python lainnya yang dapat digunakan untuk membangun aplikasi SIG, seperti matplotlib untuk visualisasi data geografis, Folium untuk pembuatan peta interaktif, dan banyak lagi. Dengan menggunakan Python dan pustaka-pustaka SIG yang tersedia, Anda dapat mengembangkan aplikasi SIG yang kuat dan fleksibel, mulai dari pemrosesan data geografis, analisis spasial, hingga visualisasi informasi geografis.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Pemahaman yang mendalam tentang penelitian terdahulu dalam bidang studi yang relevan merupakan langkah krusial dalam pengembangan pengetahuan dan pemecahan masalah yang signifikan. Dalam konteks ini, penelitian terdahulu menyediakan landasan teoritis yang kuat dan merangkum temuan-temuan yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Penelitian terdahulu dalam bidang ini telah menghasilkan sejumlah temuan yang berharga. Dalam rangka menyusun penelitian ini, studi literatur telah dilakukan untuk memahami

perkembangan pengetahuan yang ada. Analisis terhadap penelitian terdahulu telah dilakukan secara sistematis untuk mengidentifikasi kerentanan penelitian sebelumnya, titik yang masih belum terselesaikan, dan isu-isu terkini yang perlu dipertimbangkan. Melalui eksplorasi yang komprehensif terhadap penelitian terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan penelitian yang ada dan memberikan kontribusi signifikan dalam bidang ini. Berikut ini adalah beberapa hasil penelitian yang memiliki relevansi dengan penelitian ini:

- a. Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2012), pada tesis yang berjudul *Karakteristik Gelombang laut dan daerah rawan gelombang tinggi di perairan Indonesia*, yang diterbitkan oleh Universitas Indonesia. Dalam Penelitian ini menggunakan data arah dan kecepatan angin dari tahun 2000 hingga 2010 dengan resolusi spasial $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ dan resolusi temporal 6 jam. Data diperoleh dari *Global Forecasting System (GFS)* milik *National Center for Environmental Prediction (NCEP) - NOAA*. Data batimetri dengan resolusi $5' \times 5'$ diperoleh dari *National Geographic Data Center (NGDC)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik gelombang di perairan Indonesia berkaitan dengan siklus angin musiman baik secara spasial maupun temporal. Wilayah perairan yang berhubungan dengan Laut Cina Selatan dan Samudra Pasifik menunjukkan puncak tertinggi gelombang terjadi pada periode musim dingin Australia, sementara wilayah perairan yang meliputi Laut Jawa, Laut Flores, dan Selat Makassar menunjukkan puncak tertinggi gelombang terjadi pada periode musim monsun Asia. Wilayah lain seperti Laut Banda, Laut Arafuru, dan perairan di Samudra Hindia juga menunjukkan puncak tertinggi gelombang terjadi pada periode monsun Australia (Kurniawan, 2012).
- b. Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan & Habibie. (2011) dengan judul *Variasi bulanan gelombang laut di Indonesia* pada *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 12(3): 221-232. Dalam penelitian ini,

digunakan model gelombang Windwaves-05, yang fokusnya hanya pada gelombang yang dihasilkan oleh energi angin di permukaan laut. Parameterisasi data model gelombang yang digunakan mencakup periode data dari tahun 2000 hingga 2010, dengan domain wilayah dari 30° LU hingga 30° LS, dan 75° BT hingga 155° BT. Resolusi data model gelombang adalah 10x10 menit, yang setara dengan 18,5 x 18,5 km. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata tinggi gelombang pada bulan Desember lebih tinggi di wilayah-wilayah yang berbatasan dengan laut lepas, termasuk Samudra Hindia, Samudra Pasifik, dan Laut Cina Selatan, dibandingkan dengan daerah lain (Kurniawan & Najib Habibie, 2011).

- c. Dalam penelitian terdahulu, yang dilakukan oleh Kurniawan dan Khotimah (2015) dengan judul jurnal *Ocean Wave Characteristics in Indonesian Waters for Sea Transportation Safety and Planning* yang diterbitkan oleh IPTEK, The Journal for Technology and Science, Vol. 26, No. 1, April 2015. Penelitian ini berfokus pada karakteristik gelombang laut dan identifikasi daerah rentan terhadap gelombang tinggi di perairan Indonesia. Output model Angin Waves-05 dengan data angin tingkat permukaan selama periode 11 tahun (2000-2010) dari NCEP-NOAA digunakan untuk mendapatkan informasi tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar perairan Indonesia, terutama di perairan antar-pulau, tidak rentan terhadap gelombang tinggi. Namun, kerentanan tertinggi terhadap gelombang tinggi terjadi di Laut China Selatan dan Samudera Pasifik selama musim monsun Asia, serta di Samudera Hindia dan Laut Arafuru selama musim monsun Australia. Bulan April dan Mei menjadi waktu terbaik untuk menyeberang jalur ALKI I, sementara peringatan diberikan pada bulan Desember dan Januari. Jalur ALKI II dianggap aman kecuali saat badai angin dan hujan parah terjadi. Pada bulan Juli dan Agustus, perhatian perlu diberikan terhadap gelombang tinggi di Selat Makassar dan di selatan Jawa. Pada jalur ALKI III, gelombang

tinggi perlu diwaspadai pada bulan Desember hingga Februari di Samudera Pasifik, serta saat penyeberangan di Laut Banda dan Laut Arafuru pada bulan Juni dan Juli (Kurniawan & Khotimah, 2015).

- d. Penelitian yang mengkaji tinggi gelombang laut telah dilakukan Jumarang, M. I. (2015) yang berjudul Studi Variabilitas Tinggi dan Periode Gelombang Laut Signifikan di Selat Karimata, yang diterbitkan oleh POSITRON, Vol. V, No. 1 (2015), Hal. 19 - 25 ISSN : 2301-4970. Penelitian ini menggunakan metode *Sverdrup Munk Bretschneider* (SMB) dan data sekunder kecepatan angin permukaan harian dengan komponen zonal (u) dan komponen meridional (v) dari tahun 2005 hingga 2013. Data tersebut diunduh dari website <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.htm>. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa pada musim barat (DJF), tinggi gelombang laut yang signifikan berkisar antara 0,79 hingga 1,49 meter. Pada musim peralihan I (MAM), tinggi gelombang laut yang signifikan berkisar antara 0,34 hingga 0,73 meter. Pada musim timur (JJA), tinggi gelombang laut yang signifikan berkisar antara 0,50 hingga 1,42 meter. Sedangkan pada musim peralihan II (SON), tinggi gelombang laut yang signifikan berkisar antara 0,51 hingga 1,05 meter (Jumarang, M. I. 2015).
- e. Penelitian yang dilakukan oleh Sanjaya et al (2019) yang berjudul Karakteristik Gelombang Laut di Perairan Laut Natuna Menggunakan Data Satelit Altimetri yang diterbitkan oleh PRISMA FISIKA, Vol. 7, No. 2 (2019), Hal. 119 - 126. Dalam penelitian ini, digunakan data dari satelit altimetri Jason-1, Jason-2, dan Jason-3 yang merupakan pengamatan dari tahun 2007 hingga 2016. Data tersebut diunduh dari penyimpanan server utama satelit altimetri multi-misi yang terdapat di <http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml>. Untuk pengolahan data, digunakan software BRAT 4.1 dengan metode "BratAlgo Filter Loss Grid." Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi gelombang laut selama 10 tahun terakhir di Perairan Laut Natuna memiliki nilai rata-

rata tinggi gelombang laut sebesar 1,41 meter. Tinggi gelombang minimum mencapai 1,19 meter, sementara tinggi gelombang maksimum mencapai 1,92 meter. Karakteristik tinggi gelombang laut di Perairan Laut Natuna didapatkan berada di skala 4, yang menandakan bahwa rata-rata tinggi gelombang laut di wilayah tersebut berada pada kisaran antara 1,25 meter hingga 2,5 meter (Sanjaya, 2019).

- f. Penelitian yang dilakukan oleh Efendi, et al. (2023), dengan judul *The Effect Of Tropical Cyclones On Extreme Weather And The Raising Of Wave Height In The Southern Region Of Indonesia To Espouse Sea Transportation Safety And Maritime Security (Case Study Of Tropical Cyclones Mangga, Lili, And Seroja)* yang diterbitkan oleh International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT) ISSN: 2509-0119. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh siklon tropis terhadap peningkatan tinggi gelombang dengan menggunakan data siklon tropis, data tinggi gelombang periode 2011-2021, dan data satelit cuaca. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siklon tropis Lili, Mangga, dan Seroja terjadi pada bulan April dan Mei dengan kecepatan angin maksimum berkisar antara 33 knot hingga 63 knot. Pada saat siklon Lili, tinggi gelombang meningkat dari kisaran 0,75 hingga 2 meter menjadi 2,5 hingga 5 meter. Siklon tropis Mangga menyebabkan peningkatan tinggi gelombang dari 2,0 hingga 3,0 meter menjadi 2,5 hingga 5,0 meter. Pada kejadian siklon Seroja, tinggi gelombang normal meningkat dari kisaran 0,75 hingga 2,5 meter menjadi 2,0 hingga 7,0 meter. Hal ini menunjukkan pentingnya meningkatkan kewaspadaan terhadap siklon tropis, terutama dalam transportasi laut dan kegiatan maritim, karena dampak yang ditimbulkan sangat berbahaya. Melalui analisis ini, diharapkan dapat memberikan peringatan dan meningkatkan kesadaran akan keamanan dan keamanan maritim secara luas (Efendi N.A. et al., 2023).

- g. Penelitian berikutnya tentang hubungan Kapal dengan tinggi gelombang yang dilakukan oleh Harjono S. (2018) dengan judul Analisa Ketinggian Gelombang yang Sesuai untuk Pengoperasian Kapal Cepat Rudal 60M di Perairan Indonesia yang diterbitkan oleh Warta Penelitian Perhubungan 30 (2018) 43-58. Penelitian ini mengumpulkan data tinggi gelombang signifikan (H_s) dan maksimum (H_{maks}) di seluruh wilayah perairan Indonesia dari tahun 2010 hingga 2015 melalui Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Jakarta dan studi literatur. Metode matematika digunakan untuk menentukan korelasi antara tinggi gelombang (H_w) dan panjang kapal (L_{bp}) dalam perancangan awal kapal. Data tersebut diolah menggunakan analisis statistik untuk menentukan kurva rata-rata tinggi gelombang maksimum dan tinggi gelombang ekstrim per bulan dan per tahun di perairan Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapal KCR 60M dapat beroperasi pada tinggi gelombang maksimum hingga 4,73 meter, setara dengan Sea State 5 (2,5 hingga 4,0 meter). Kapal KCR 60M dapat beroperasi sepanjang tahun di wilayah Selatan-Ekuator dan Antar-Pulau dengan tinggi gelombang maksimum antara 1,3 hingga 4,5 meter. Namun, kapal KCR 60M tidak dapat beroperasi pada tinggi gelombang ekstrim rata-rata 5,1 meter, yang terjadi pada bulan Desember dan Januari selama monsun Asia di wilayah Koarmatim dan Koarmabar, dari Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) I (Medan) hingga XIV (Sorong). Panjang minimal kapal KCR yang aman untuk menghadapi tinggi gelombang tersebut diprediksi sebesar 70 meter (Hardjono, 2018).
- h. Penelitian terdahulu berikutnya dilakukan oleh Purwanto at.al (2020) dengan judul jurnal Analisis Pengaruh Gelombang laut terhadap penggunaan biaya dan jenis kapal patrol untuk operasi pengamanan laut Natuna Utara yang diterbitkan oleh Majalah Ilmiah Globè Volume 22 No.2 Oktober 2020: 121-128. Penelitian terdahulu ini dilakukan untuk memilih jenis kapal patroli yang sesuai untuk operasi di Laut

Natuna Utara. Wilayah operasi di Laut Natuna Utara memiliki cuaca yang sulit terutama pada bulan Desember hingga Maret, dan luasnya daerah operasi menambah kompleksitas tugas kapal patroli. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memilih jenis kapal patroli yang tepat dan dapat dipertanggungjawabkan. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Metode Benefit Cost Ratio* (BCR) dan teori gelombang laut untuk mengatasi permasalahan di Laut Natuna Utara. Dengan menggunakan metode dan teori tersebut, dilakukan analisis dan perhitungan untuk mendapatkan prioritas alternatif kapal patroli yang paling cocok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis kapal patroli dengan bobot nilai 1,5 dianggap aman untuk melaksanakan operasi berdasarkan analisis gelombang laut (Purwanto et al., 2020).

- i. Penelitian yang dilakukan oleh Khalid Amarouche, Adem Akpınar, Aleksandra Rybalko dan Stanislav Myslenkov yang berjudul *Assessment of SWAN and WAVEWATCH-III models regarding the directional wave spectra estimates based on Eastern Black Sea measurements*. Yang diterbitkan oleh *Ocean Engineering*, 272, 113944. Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan terhadap model gelombang spektral SWAN dan WAVEWATCH-III (WWIII) dalam memperkirakan spektrum gelombang arah di Laut Hitam bagian timur. Pengukuran spektral dikumpulkan menggunakan pelampung pengukur gelombang spektral yang dipasang di dekat tanjung Small Utrish. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa SWAN memiliki kesesuaian yang lebih baik dengan bentuk kerapatan varians rata-rata pada semua frekuensi di atas 0.08Hz. Namun, model ini sedikit melebih-lebihkan kerapatan varians pada rentang frekuensi 0.13-0.17 Hz. Di sisi lain, WWIII menunjukkan korespondensi yang lebih baik pada rentang frekuensi 0.13-0.17 Hz, tetapi meremehkan energi frekuensi yang lebih rendah dan melebih-lebihkan rentang frekuensi yang lebih tinggi. Dalam hal estimasi arah rata-rata spektral, SWAN

dan WWIII memiliki kinerja yang berbeda. Model SWAN menunjukkan hasil yang lebih baik dalam estimasi arah rata-rata untuk setiap bentuk spektral selama periode pengukuran (Amarouche et al., 2023).

- j. Penelitian yang dilakukan oleh Fulya Islek, Yalcin Yuksel, Cihan Sahin, H. Anil Ari Guner yang berjudul *Long-term analysis of extreme wave characteristics based on the SWAN hindcasts over the Black Sea using two different wind fields* yang diterbitkan oleh Dynamics of Atmospheres and Oceans Penelitian ini mengkaji variasi jangka panjang karakteristik gelombang di Laut Hitam menggunakan model gelombang generasi ketiga (Simulating Waves Nearshore, SWAN), yang dipaksa oleh dua dataset, yaitu ERA-Interim dari Pusat Eropa untuk Prakiraan Cuaca Jarak Menengah (ECMWF) dan CFSR dari Pusat Nasional untuk Prediksi Lingkungan/Sistem Prakiraan Cuaca Reanalisis (NCEP/CFSR), dalam rentang waktu 1979-2018. Penelitian ini menyimpulkan bahwa di Laut Hitam terdapat variasi jangka panjang dalam karakteristik gelombang. Bagian barat daya cenderung memiliki gelombang lebih tinggi, lebih panjang, dan lebih stabil, sementara bagian timur laut memiliki gelombang lebih rendah, lebih pendek, lebih variabel, dan mengalami variasi yang lebih tinggi dalam periode 40 tahun. Hasil ini penting untuk memahami pola gelombang di Laut Hitam dan berpotensi berguna dalam perencanaan maritim dan pemodelan cuaca di wilayah tersebut (Islek et al., 2020).
- k. Penelitian yang dilakukan oleh M. Anjali Nair, M. M. Amrutha & V. Sanil Kumar yang berjudul *Spectral wave characteristics in the coastal waters of the central west coast of India during tropical cyclone Kyarr*, si diterbitkan oleh *Ocean Dynamics* volume 72, page 151–168 (2022). Penelitian ini mengevaluasi kondisi gelombang spektral di perairan pesisir pantai barat tengah India selama perjalanan siklon tropis Kyarr dengan menggunakan data dari pelampung waverider di dua lokasi. Hasil penelitian ini adalah adanya peningkatan tinggi gelombang signifikan maksimum tahunan menjadi 5,1 meter selama perjalanan

siklon tropis Kyarr di perairan pesisir pantai barat tengah India. Peningkatan ini merupakan angka tertinggi dalam 42 tahun terakhir. Meskipun jalur siklon dekat dengan lokasi Vengurla, gelombang energi maksimum teramati di Karwar, sebuah lokasi sekitar 125 km di selatan Vengurla. Kemiringan frekuensi yang curam dalam spektrum gelombang selama siklon menunjukkan karakteristik yang khas. Model spektrum JONSWAP yang dimodifikasi berhasil mewakili gelombang selama siklon dengan baik, dan ketinggian gelombang dari model numerik sesuai dengan nilai pengukuran. Hasil penelitian ini memberikan informasi penting tentang karakteristik gelombang selama siklon tropis Kyarr dan memberikan wawasan yang berharga dalam perencanaan dan mitigasi bencana terkait gelombang dan siklon di wilayah pantai barat tengah India. Penemuan tentang peningkatan tinggi gelombang dan perubahan karakteristik gelombang selama siklon dapat membantu dalam pemahaman dan pencegahan potensi bahaya yang terkait dengan fenomena siklon tropis (Nair et al., 2022).

- I. Penelitian yang dilakukan oleh Maulana, H. R. (2018) Pada tesis yang berjudul Analisis Karakteristik Gelombang Laut Dan Prediksi Gelombang Ekstrim Dengan Periode Ulang Terkait Keselamatan Pelayaran Di Perairan Utara Jakarta, yang diterbitkan oleh Universitas Brawijaya. Penelitian ini menganalisis gelombang di perairan Utara Jakarta dan dampaknya terhadap keselamatan pelayaran. Data gelombang, termasuk time series dan gelombang ekstrim, digunakan untuk pemodelan menggunakan metode Weibull. Data gelombang diperoleh dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) selama 15 tahun terakhir (2003-2017), dan data ketinggian gelombang dari BMKG selama 10 tahun terakhir (2008-2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian gelombang tertinggi mencapai 1,1 meter di wilayah Selat Sunda pada musim Barat. Ketinggian gelombang periode ulang berkisar antara 1,97-2,49

meter di perairan Selat Sunda dan 1,54-1,88 meter di perairan Tanjung Kait dan Teluk Jakarta. Ketinggian gelombang di atas 2 meter berpotensi mengancam kapal nelayan dan kapal tongkang di sekitar perairan tersebut (Maulana, 2018).

Untuk memperjelas penjabaran penelitian terdahulu maka bisa dilihat pada tabel yang ada di bawah ini:

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti dan tahun	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian Terdahulu	Persamaan	Perbedaan	Relevansi
1	Roni Kurniawan (2012)	Karakteristik Gelombang laut dan daerah rawan gelombang tinggi di perairan Indonesia	Kuantitatif dengan menggunakan pemodelan Windwave s-05	Gelombang di perairan Indonesia menunjukkan pola berkaitan dengan siklus angin monsunal baik spasial maupun temporal. Tinggi gelombang memiliki dua puncak utama, yaitu saat musim monsun Asia (Desember hingga Februari) dan musim dingin Australia (Juni hingga Agustus). Wilayah Laut Cina Selatan, Samudera Pasifik, Laut Jawa, Laut Flores, dan Selat Makassar mencatat puncak tertinggi saat musim dingin Australia, sementara wilayah Laut Banda, Laut Arafuru, dan Samudera Hindia mencapai puncak tertinggi pada periode yang sama.	Membahas Karakteristik gelombang di wilayah Indonesia	Jurnal ini hanya meneliti karakteristik gelombang tanpa menyangkutkan pada keselamatan dan keamanan, selain itu jurnal ini tidak membahas efek siklon tropis terhadap tinggi gelombang.	Berhubungan dengan karakteristik gelombang laut di suatu wilayah perairan
2	Roni Kurniawan, Muhammad	Variasi bulanan gelombang	Kuantitatif dengan menggunakan	Tinggi gelombang rata-rata di bulan Desember pada wilayah-	Membahas Karakteristik gelombang	Jurnal ini hanya meneliti karakteristik	Berhubungan dengan karakteristik

	Najib Habibie, Suratno (2011)	laut di Indonesia	kan pemodelan Windwaves-05	wilayah yang berbatasan dengan laut lepas seperti Samudera Hindia, Samudera Pasifik, dan Laut Cina Selatan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain.	di wilayah Indonesia	gelombang tanpa menyangkutkan pada keselamatan	gelombang laut di suatu wilayah perairan
3	Roni Kurniawan dan Khotimah (2015)	<i>Ocean Wave Characteristics in Indonesian Waters for Sea Transportation Safety and Planning</i>	Kualitatif dengan pemodelan Windwaves-05	Penelitian ini mengidentifikasi kerentanan terhadap gelombang tinggi di perairan Indonesia. Mayoritas perairan antar-pulau tidak rentan, tetapi Laut Cina Selatan, Samudera Pasifik, Samudera Hindia, dan Laut Arafuru rentan saat musim monsun. Bulan April dan Mei cocok untuk menyeberang jalur ALKI I, sementara Desember dan Januari perlu diwaspadai. Jalur ALKI II aman kecuali saat badai angin dan hujan. Kerentanan tinggi di Selat Makassar dan selatan Jawa pada Juli dan Agustus. Jalur ALKI III perlu perhatian di	Membahas karakteristik gelombang untuk di buat rencana terkait keselamatan transportasi	Perbedaan penelitian terdapat pada model data gelombang yang digunakan, waktu penelitian serta perhitungan matematis untuk menentukan keselamatan transportasi	Berhubungan dengan karakteristik gelombang dengan keselamatan kapal berlayar

				Samudera Pasifik pada Desember hingga Februari, serta penyeberangan di Laut Banda dan Laut Arafuru pada Juni dan Juli.			
4	Muhammad Ishak Jumarang, (2015)	Studi Variabilitas Tinggi dan Periode Gelombang Laut Signifikan di Selat Karimata	Kuantitatif dengan Metode yang digunakan adalah Sverdrup Muncck Bretschneider (SMB)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada musim barat (DJF), tinggi gelombang laut signifikan berkisar antara 0,79 hingga 1,49 meter. Pada musim peralihan I (MAM), tinggi gelombang laut signifikan berkisar antara 0,34 hingga 0,73 meter. Pada musim timur (JJA), tinggi gelombang laut signifikan berkisar antara 0,50 hingga 1,42 meter. Sedangkan pada musim peralihan II (SON), tinggi gelombang laut signifikan berkisar antara 0,51 hingga 1,05 meter.	Sama-sama membahas gelombang laut	Perbedaan terdapat pada metode yang digunakan, lokus penelitian dan juga data yang digunakan	Berhubungan dengan karakteristik gelombang laut di suatu wilayah perairan
5	Obbi Sanjaya, Muliadi and Apriansyah (2019)	Karakteristik Gelombang Laut di Perairan Laut Natuna Menggunakan Data	Kuantitatif menggunakan teknologi penginderaan jauh	Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama 10 tahun terakhir di Perairan Laut Natuna, tinggi gelombang laut memiliki rata-rata nilai sebesar 1,41 m. Tinggi gelombang minimum mencapai 1,19 m,	Penelitian ini, mencari karakteristik gelombang di wilayah Natuna	Penelitian ini tidak Hanya membahas karakteristik gelombang laut tidak dihubungkan	Berhubungan dengan karakteristik gelombang laut di suatu wilayah perairan

		Satelit Altimetri		sementara tinggi gelombang maksimum mencapai 1,92 m. Karakteristik tinggi gelombang laut di Perairan Laut Natuna digolongkan dalam skala 4, menunjukkan bahwa rata-rata tinggi gelombang berada pada kisaran sedang, yaitu antara 1,25 m hingga 2,5 m.		dengan keselamatan serta data yang digunakan berbeda.	
6	Ajis Nur Efendi, Muhamad Farid Geonova, Pujo Widodo, Herlina Juni Risma Saragih, Panji Suwarno, Desi Albert Mamahit, Trismadi (2023)	<i>The Effect Of Tropical Cyclones On Extreme Weather And The Raising Of Wave Height In The Southern Region Of Indonesia To Espouse Sea Transportati on Safety And Maritime</i>	Kuantitatif dengan pemodelan gelombang Inawave	Hasil penelitian menunjukkan bahwa siklon tropis Lili, Mangga, dan Seroja terjadi pada bulan April dan Mei dengan kecepatan angin maksimum berkisar antara 33 hingga 63 knot. Tinggi gelombang meningkat selama kejadian siklon, mencapai 2,5 hingga 7,0 meter. Dampaknya berbahaya terutama dalam transportasi laut dan kegiatan maritim. Penelitian ini mendorong kesadaran akan keamanan maritim dan pentingnya peringatan dini terhadap siklon tropis.	Dalam penelitian ini melihat pengaruh siklon tropis terhadap tinggi gelombang	Dalam penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian ini diantaranya lokus penelitian dan tidak dihubungkan dengan bahaya gelombang terkait jenis kapal-kapal yang digunakan dalam berlayar	Berhubungan dengan efek siklon tropis dengan peningkatan tinggi gelombang yang membahayakan pelayaran

		<i>Security (Case Study Of Tropical Cyclones Mangga, Lili, And Seroja)</i>					
7	Soegeng Hardjono, (2018)	Analisa Ketinggian Gelombang yang Sesuai untuk Pengoperasian Kapal Cepat Rudal 60M di Perairan Indonesia	Kuantitatif dengan data tentang tinggi gelombang signifikan & maksimum milik BMKG	Penelitian ini menunjukkan bahwa kapal KCR 60M dapat beroperasi pada tinggi gelombang maksimum hingga 4,73 meter, setara dengan Sea State 5 (2,5 hingga 4,0 meter). Namun, kapal ini tidak dapat beroperasi saat tinggi gelombang ekstrim mencapai rata-rata 5,1 meter, terutama pada bulan Desember dan Januari selama monsun Asia di wilayah Koarmatim dan Koarmabar. Diperkirakan bahwa panjang minimal kapal KCR yang aman untuk menghadapi tinggi gelombang 5,1 meter adalah 70 meter.	Secara umum pembahasan hampir sama yaitu Gelombang laut berapa yang aman untuk dilewati jenis kapal	Perbedaan terdapat pada lokus penelitian waktu penelitian dan jenis kapal yang dipilih	Berhubungan dengan karakteristik gelombang di suatu wilayah yang aman dilewati kapal berlayar
8	Purwanto, Bambang Rudi, Rudi Lazuardi,	Analisis Pengaruh Gelombang	Kuantitatif dengan mengguna	Penelitian ini bertujuan untuk memilih jenis kapal patroli yang sesuai untuk operasi di Laut	Persamaan membahas gelombang	Perbedaan terdapat pada waktu	Berhubungan dengan karakteristik

	and Widodo Setyo Pranowo (2020)	laut terhadap penggunaan biaya dan jenis kapal patroli untuk operasi pengamanan laut Natuna Utara	kan Metode Benefit Cost Ratio(BCR) dan teori gelombang laut	Natuna Utara yang memiliki kondisi cuaca yang tidak bersahabat terutama pada bulan Desember hingga Maret. Hasilnya menunjukkan bahwa jenis kapal patroli dengan bobot nilai 1,5 dianggap aman untuk operasi berdasarkan analisis gelombang laut.	laut terhadap jenis kapal patroli yang digunakan	penelitian, Jenis kapal yang digunakan dan data yang digunakan dan tidak memperhitungkan kejadian siklon tropis	gelombang di suatu wilayah yang aman dilewati kapal berlayar
9	Khalid Amarouche, Adem Akpınar, Aleksandra Rybalko dan Stanislav Myslenkov (2023)	<i>Assessment of SWAN and WAVEWAT CH-III models regarding the directional wave spectra estimates based on Eastern Black Sea measurements</i>	Kuantitatif dengan menggunakan pemodelan SWAN & WAVEWAT TCH-III	Hasil penelitian menunjukkan bahwa model evaluasi SWAN memiliki kesesuaian yang lebih baik dengan bentuk kerapatan varians rata-rata pada frekuensi di atas 0.08Hz. Namun, model ini sedikit lebih-lebihkan kerapatan varians pada frekuensi 0.13-0.17 Hz. Di sisi lain, model WWIII menunjukkan korespondensi yang lebih baik pada frekuensi 0.13-0.17 Hz, tetapi meremehkan energi frekuensi yang lebih rendah dan lebih-lebihkan rentang frekuensi yang lebih tinggi.	Persamaan ini adalah menggunakan pemodelan gelombang	Perbedaan dalam penelitian ini adalah tidak menghubungkan karakteristik gelombang dengan keselamatan kapal	Berhubungan dengan mencari karakteristik gelombang dengan pemodelan SWAN dan WW3 di suatu wilayah perairan

				Selain itu, dalam estimasi arah rata-rata spektral, model SWAN menunjukkan hasil yang lebih baik untuk setiap bentuk spektral selama periode pengukuran.			
10	Fulya Islek, Yalcin Yuksel, Cihan Sahin, H. Anil Ari Guner (2021)	<i>Long-term analysis of extreme wave characteristics based on the SWAN hindcasts over the Black Sea using two different wind fields</i>	Kuantitatif dengan menggunakan pemodelan SWAN	Penelitian ini menyimpulkan bahwa di Laut Hitam terdapat variasi jangka panjang dalam karakteristik gelombang. Bagian barat daya cenderung memiliki gelombang lebih tinggi, lebih panjang, dan lebih stabil, sementara bagian timur laut memiliki gelombang lebih rendah, lebih pendek, lebih variabel, dan mengalami variasi yang lebih tinggi dalam periode 40 tahun. Hasil ini penting untuk memahami pola gelombang di Laut Hitam dan berpotensi berguna dalam perencanaan maritim dan pemodelan cuaca di wilayah tersebut.	Persamaan penelitian ini adalah sama-sama meneliti karakteristik gelombang laut	Perbedaan penelitian ini adalah beda lokasi dan juga dalam penelitian ini tidak dihubungkan dengan jenis kapal yang aman untuk melewati wilayah tersebut dan tidak membahas gelombang terkait siklon tropis	Berhubungan dengan karakteristik gelombang laut di suatu wilayah perairan
11	M. Anjali Nair, M. M. Amrutha	<i>Spectral wave characteristi</i>	Kuantitatif dengan menggunakan	hasil penelitian ini adalah adanya peningkatan tinggi gelombang signifikan	Persamaan dalam penelitian ini	Perbedaan penelitian ini adalah beda	Berhubungan dengan efek siklon tropis

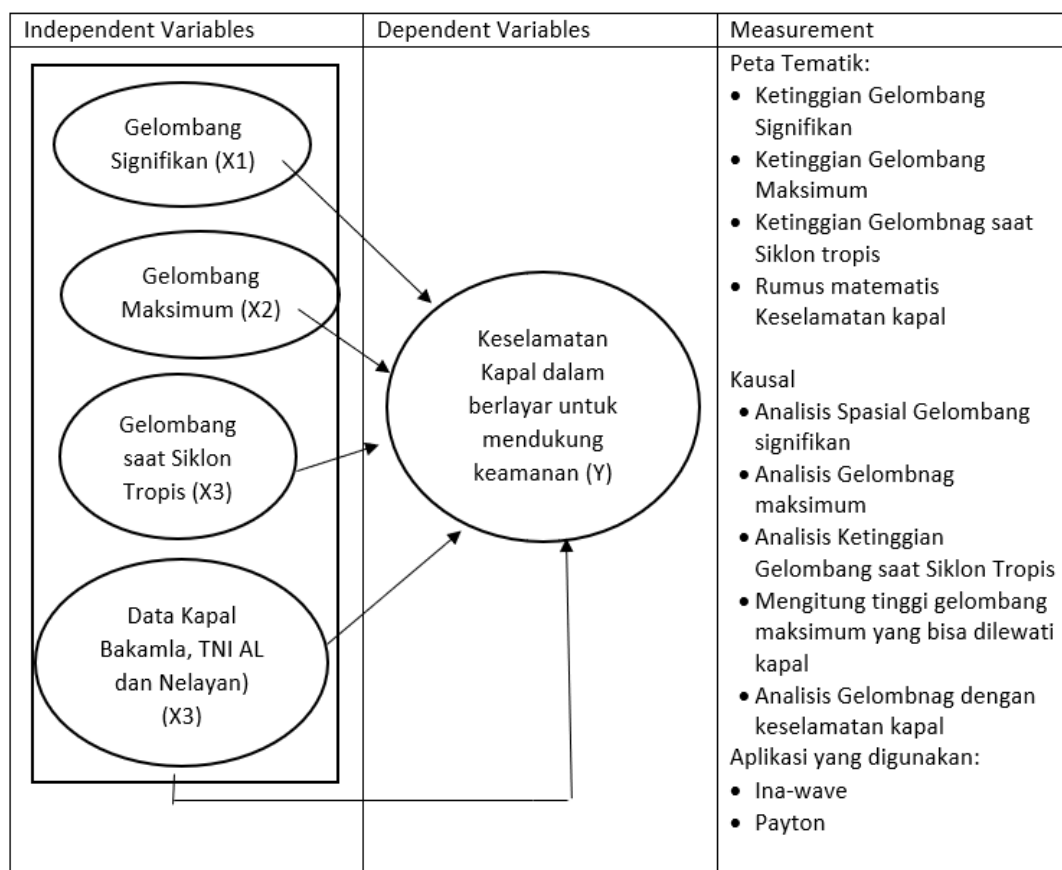
	& V. Sanil Kuma (2022)	<i>cs in the coastal waters of the central west coast of India during tropical cyclone Kyarr</i>	kan data pelampung waverider	maksimum tahunan menjadi 5,1 meter selama perjalanan siklon tropis Kyarr di perairan pesisir pantai barat tengah India. Peningkatan ini merupakan angka tertinggi dalam 42 tahun terakhir. Meskipun jalur siklon dekat dengan lokasi Vengurla, gelombang energi maksimum teramati di Karwar, sebuah lokasi sekitar 125 km di selatan Vengurla. Kemiringan frekuensi yang curam dalam spektrum gelombang selama siklon menunjukkan karakteristik yang khas. Model spektrum JONSWAP yang dimodifikasi berhasil mewakili gelombang selama siklon dengan baik, dan ketinggian gelombang dari model numerik sesuai dengan nilai pengukuran.	adalah melihat pengaruh Siklon tropis terhadap tinggi gelombang	dalam hal penggunaan model gelombang, dan tidak dihubungkan dengan keselamatan kapal yang bisa melewati gelombang tersebut.	dengan peningkatan tinggi gelombang yang membahayakan aktivitas pelayaran
12	Maulana, H. R. (2018)	Analisis Karakteristik Gelombang Laut Dan Prediksi	Kuantitatif dengan menggunakan	Penelitian menunjukkan bahwa di perairan Utara Jakarta, terdapat ketinggian gelombang tertinggi mencapai 1,1 meter di wilayah Selat Sunda saat	Persamaan penelitian ini adalah sama-sama meneliti	Perbedaan dalam penelitian ini adalah tidak memperhitungkan	Berhubungan dengan karakteristik gelombang di suatu wilayah

		Gelombang Ekstrim Dengan Periode Ulang Terkait Keselamatan Pelayaran Di Perairan Utara Jakarta	metode Weibull.	musim Barat. Selain itu, ketinggian gelombang dengan periode ulang berkisar antara 1,97-2,49 meter di perairan Selat Sunda dan 1,54-1,88 meter di perairan Tanjung Kait dan Teluk Jakarta. Hal ini menunjukkan bahwa ada potensi bahaya bagi kapal nelayan dan kapal tongkang di sekitar perairan tersebut ketika ketinggian gelombang melebihi 2 meter.	karakteristik gelombang laut untuk keselamatan pelayaran	kan fenomena siklon tropis dan juga kapalnya digunakan dalam penelitian ini lebih banyak baik dari Bakamla, TNI AL dan Nelayan, serta menggunakan rumus matematis dalam melihak Panjang kapal dengan gelomban maksimum.	yang aman dilewati kapal berlayar
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------

Sumber : diolah oleh peneliti

2.3 Kerangka Berpikir

Dalam Penelitian ini langkah-langkah yang dilakukan oleh penulis dalam melakukan penelitian yaitu pertama melakukan pencarian jurnal maupun makalah yang berkaitan dengan topik yang akan penulis teliti. Setelah menemukan ide baru mencari data-data yang dibutuhkan, kemudian mengolahnya menjadi data dan menganalisis data tersebut sehingga didapat hasil dari penelitian tersebut. Dalam kerangka berpikir ini terdapat dua variabel yaitu dependen dan independent. Variabel Independen adalah variabel yang dimanipulasi atau dikendalikan dalam percobaan, sedangkan variabel dependen adalah variabel yang diukur atau diamati dalam percobaan (Habeck, C. G., & Brickman, A. M. 2018). Berikut adalah bagan dari kerangka berpikir:



Bagan 2. 1 Kerangka berpikir

Sumber : diolah oleh peneliti

Berdasarkan gambar di atas maka dapat dijabarkan bahwa variabel Independen terdiri dari 4 variabel yaitu gelombang signifikan, gelombang maksimum, gelombang saat terjadi siklon tropis dan data kapal baik itu kapal Bakamla, TNI AL dan juga nelayan. Sedangkan data dependent dalam penelitian ini adalah keselamatan kapal dalam berlayar untuk mendukung keamanan. Untuk prosedur setelahnya adalah mendapatkan data berupa data gelombang dari Inawave dan juga data kapal dari TNI AL, Bakamla dan nelayan. Data gelombang diolah sehingga menjadi 3 output berupa data gelombang signifikan, gelombang maksimum dan gelombang saat kejadian siklon tropis. Data hasil model dihubungkan dengan data kapal yang aman melewati tinggi gelombang dan kemudian dianalisis sehingga mendapatkan hasil yaitu berupa kapal jenis apa yang aman melewati wilayah Natuna dan Natuna Utara berdasarkan waktu yang direncanakan.

2.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran dan tinjauan pustaka penelitian terdahulu, maka dapat dirumuskan hipotesis penelitiannya sebagai berikut:

1. Karakteristik gelombang laut di perairan Natuna dan Natuna Utara diduga mengikuti pola musiman yang memuncak pada bulan Desember dan Januari sehingga bulan-bulan tersebut memiliki resiko tinggi terhadap keselamatan pelayaran.
2. Siklon tropis memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan tinggi gelombang di perairan Natuna dan Natuna Utara, sehingga berbahaya untuk pelayaran.
3. Kapal Bakamla dan TNI AL sanggup melewati perairan Natuna dan Natuna Utara sepanjang tahun dengan aman, sedangkan untuk kapal nelayan susah melewati gelombang pada bulan Desember dan Januari.