

**ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL DI PERAIRAN TELUK  
BALIKPAPAN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK MATRIKS  
KONSEKUENSI/PROBABILITAS PASCA PEMINDAHAN  
IBU KOTA NEGARA**

**SKRIPSI**

*Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Sarjana Teknik*

*Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik*

*Universitas Hasanuddin*



OLEH:

MAKBUL MUBARAK

D081 18 1306

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

**ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL DI PERAIRAN TELUK  
BALIKPAPAN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK MATRIKS  
KONSEKUENSI/PROBABILITAS PASCA PEMINDAHAN  
IBU KOTA NEGARA**

**SKRIPSI**

*Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Sarjana Teknik*

*Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik*

*Universitas Hasanuddin*



OLEH:

MAKBUL MUBARAK

D081 18 1306

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL DI PERAIRAN TELUK BALIKPAPAN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK MATRIKS KONSEKUENSI/PROBABILITAS PASCA PEMINDAHAN IBU KOTA NEGARA

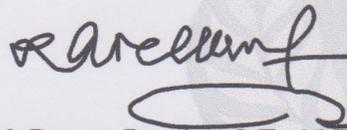
Disusun dan diajukan oleh

**Makbul Mubarak**  
**D081181306**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Kelautan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 20 Oktober 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

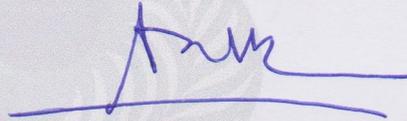
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Daeng Paroka, S.T., M.T., Ph.D  
NIP 197201181998021001

Pembimbing Pendamping,



Ir. Juswan, M.T.  
NIP 196212311989031031

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.  
NIP 197506052002121003

## LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

Judul Skripsi

### **ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL DI PERAIRAN TELUK BALIKPAPAN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK MATRIKS KONSEKUENSI/PROBABILITAS PASCA PEMINDAHAN IBU KOTA NEGARA**

Disusun dan diajukan oleh

**Makbul Mubarak**  
**D081181306**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Skripsi dan Dinyatakan telah memenuhi syarat pada:

Tanggal : 20 Oktober 2022  
Di : Gowa

Dengan Panel Ujian Skripsi :

1. Ketua : Prof. Daeng Paroka, S.T., M.T., Ph.D
2. Sekretaris : Ir. Juswan, M.T.
3. Anggota 1 : Dr. Ir. Taufiqur Rachman, S.T., M.T.
4. Anggota 2 : Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D

Mengetahui,

Ketua Program Studi,

Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.

NIP. 197506052002121003



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Makbul Mubarak  
NIM : D081181306  
Program Studi : Teknik Kelautan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Risiko Tubrukan Kapal Di Perairan Teluk Balikpapan Dengan  
Menggunakan Teknik Matriks Konsekuensi/Probabilitas Pasca Pemindahan Ibu  
Kota Negara

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 Oktober 2022

Yang Menyatakan Tanda tangan



Makbul Mubarak

## ABSTRAK

**MAKBUL MUBARAK.** Analisis Risiko Tubrukan Kapal Di Perairan Teluk Balikpapan Dengan Menggunakan Teknik Matriks Konsekuensi/Probabilitas Pasca Pemindahan Ibu Kota Negara (dibimbing oleh **Daeng Paroka** dan **Juswan**).

Pada tahun 2019, pemerintah mengumumkan sebagian wilayah Kutai Kartanegara dan Penajam Paser Utaran sebagai lokasi pembangunan ibu kota baru Republik Indonesia. Lalu lintas kapal yang semakin padat di perairan Teluk Balikpapan pasca pemindahan ibu kota negara menyebabkan tingkat risiko tubrukan kapal menjadi lebih tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat risiko tubrukan kapal tersebut dengan menggunakan matriks konsekuensi/probabilitas. Matriks konsekuensi/probabilitas menggunakan nilai Frekuensi yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan bantuan *traffic based method* dan nilai konsekuensi yang diperoleh dari kasus – kasus tubrukan yang pernah terjadi sebelumnya. Dari hasil penelitian ini, diperoleh tingkat risiko tubrukan di perairan Teluk Balikpapan berada pada tingkat risiko sedang dan risiko tinggi dan masuk kedalam kategori ALARP, yang berarti perlu penanganan lebih lanjut hingga ketingkat yang dapat diterima.

Kata Kunci: Tubrukan, Ibu Kota Negara, Risiko, Frekuensi, Konsekuensi

## ABSTRACT

**MAKBUL MUBARAK.** *Ship Collision Risk Analysis in Balikpapan Gulf Waters Using Consequences/Probability Matrix Technique After Relocation of The Nation's Capital (supervised by **Daeng Paroka** and **Juswan**).*

*In 2019, the government announced that the parts of Kutai Kartanegara and Penajam Paser Utara areas as the location for the construction of the new capital city of the Republic of Indonesia. The increasingly congested ship traffic in the waters of Balikpapan Gulf after the relocation of the national capital has resulted in a higher risk of ship collisions. The purpose of this study was to determine the level of risk of the ship colliding using a consequences/probability matrix. The consequences/probability matrix uses the frequency value that obtained from calculations using the traffic based method also the consequence value obtained from collision cases that had occurred before. From the result of this study, it was found that the level of risk collision in the Balikpapan Gulf waters is at a moderate risk and high risk level and is included in the ALARP category, which means that further treatment is needed to an acceptable level.*

*Keywords: Collision, Capital City, Risk, Probability, Consequence*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul "**Analisis Risiko Tubrukan Kapal Di Perairan Teluk Balikpapan Dengan Menggunakan Teknik Matriks Konsekuensi/Probabilitas Pasca Pemindahan Ibu Kota Negara**", sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya doa, dukungan, bantuan, serta nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Secara khusus kepada kedua orang tua penulis, Bapak **Muhammad Arifin** dan Ibu **Almh. Jumannati**, yang senantiasa mendoakan dan mendukung penuh penulis dalam upaya menuntut ilmu selama ini.
2. Bapak **Prof. Daeng Paroka, S.T., M.T., P.hD** selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberi arahan dan saran kepada penulis sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.
3. Bapak **Ir. Juswan, M.T.** selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberi arahan dan saran kepada penulis sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.
4. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan UNHAS dan dosen Pembimbing Akademik penulis selama masa perkuliahan di Teknik Kelautan UNHAS.
5. Bapak **Dr. Ir. Taufiqur Rachman, S.T., M.T.** dan bapak **Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D** selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik serta saran yang membangun demi perbaikan skripsi ini.

6. Bapak **Habibi, S.T, M.T.** selaku dosen Laboratorium Riset Produksi Bangunan Lepas Pantai dan Pekerjaan Bawah Air, yang telah memberikan banyak saran kepada penulis selama berkuliah di Teknik Kelautan Unhas.
7. Seluruh **dosen**, dan **staf akademik** Departemen Teknik Kelautan UNHAS yang telah banyak memberikan pembelajaran dan pengalaman berharga kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Teknik Kelautan.
8. Teman-teman **mahasiswa Teknik Kelautan 2018**, yang selalu menemani kehidupan kampus penulis selama berkuliah di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Teman-teman **Laboratorium Riset Produksi Bangunan Lepas Pantai dan Pekerjaan Bawah Air**, yang sudah bersedia untuk membantu penulis hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Pihak-pihak lain yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu Teknik Kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya

Gowa, 02 September 2022

Penulis

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Karakteristik Teluk Balikpapan .....	5
2.2 Proyeksi Penduduk.....	6
2.3 Kecelakaan Kapal.....	7
2.3.1 Tubrukan Kapal ( <i>Collision</i> ).....	10
2.4 Penilaian Risiko.....	14
2.4.1 Identifikasi Risiko.....	15
2.4.2 Analisis Risiko .....	24
2.4.3 Matriks Risiko .....	25
2.5 <i>Traffic Based Model</i> .....	28
2.5.1 Tubrukan Antar Haluan ( <i>Head-on Collision</i> ).....	28
2.5.2 Tubrukan Antar Haluan & Buritan ( <i>Overtaking Collision</i> ).....	30
2.5.3 Tubrukan Antar Haluan dan Lambung Kapal ( <i>Crossing Collision</i> ) .....	31
BAB III METODE PENELITIAN .....	35

3.1 Jenis Penelitian.....	35
3.2 Lokasi Penelitian.....	35
3.3 Prosedur Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Pengumpulan Data.....	37
4.1.1 Data Penduduk dan PDRB.....	37
4.1.2 Data Arus Kapal.....	37
4.1.3 Data Lingkungan Perairan.....	38
4.1.4 Data Kecelakaan Kapal.....	40
4.2 Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal.....	40
4.2.1 Tubrukan Antar Haluan ( <i>Head-on Collision</i> ).....	40
4.2.2. Tubrukan Antar Haluan dan Lambung Kapal ( <i>Crossing Collision</i> ) .....	42
4.2.3. Tubrukan Antar Haluan dan Buritan ( <i>Overtaking Collision</i> )....	44
4.2.4. Penentuan Nilai Frekuensi.....	45
4.3 Analisis Konsekuensi Tubrukan Kapal.....	46
4.3.1 Penentuan Nilai Konsekuensi.....	46
4.4 Matriks Risiko.....	48
BAB V PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51

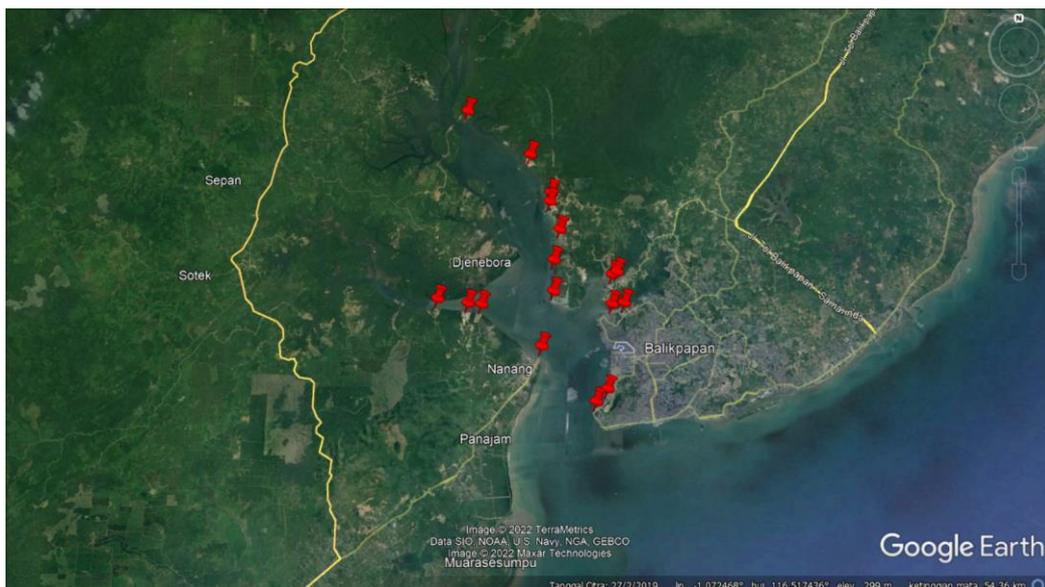
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

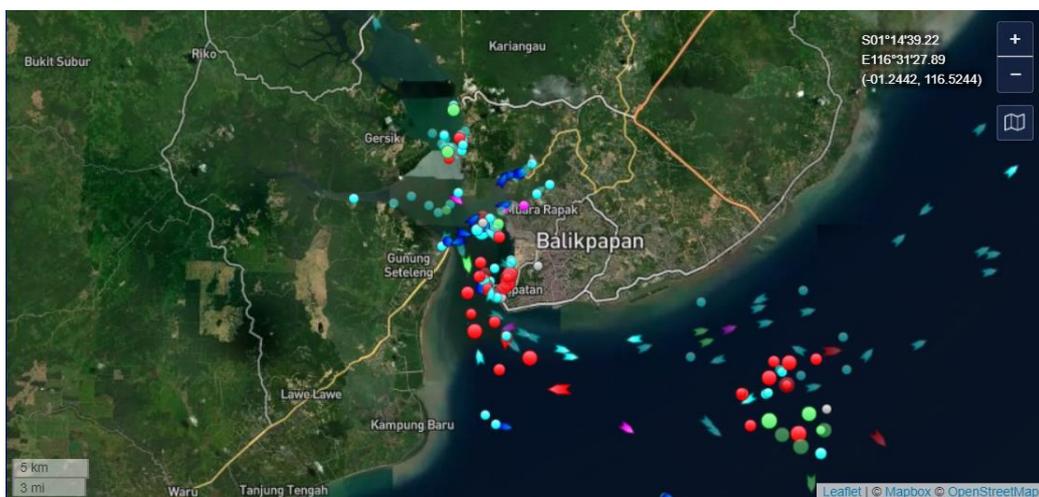
Melalui konferensi pers di kanal *YouTube* Sekretariat Negara, Senin, 26 Agustus 2019, Presiden Republik Indonesia, mengumumkan sebagian wilayah Penajam Paser Utara dan sebagian Kutai Kartanegara di Kalimantan Timur sebagai lokasi pembangunan ibu kota baru Republik Indonesia [1]. Berdasarkan Buku Saku Pemindahan Ibu Kota Negara, alasan Kalimantan Timur terpilih sebagai lokasi Ibu Kota Negara antara lain karena, aksesibilitas lokasi tinggi, penduduk yang heterogen dan terbuka, minim ancaman bencana, lahan luas dan baik untuk konstruksi bangunan, memiliki infrastruktur pendukung utama, berada di jalur ALKI II (Alur Laut Kepulauan Indonesia) yaitu Selat Makassar [2].

Letak yang strategis dan aksesibilitas yang dimiliki membuat banyak perusahaan memilih membangun dermaga dan pelabuhan di wilayah Teluk Balikpapan. Lokasi dermaga dan pelabuhan yang terletak di Teluk Balikpapan dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Lokasi dermaga dan pelabuhan di Teluk Balikpapan [3]

Teluk Balikpapan merupakan salah satu daerah yang menyimpan potensi kekayaan alam paling banyak di Kalimantan terutama Kalimantan Timur. Perairan Balikpapan juga merupakan daerah eksploitasi, daerah pengilangan minyak, dan alur pelayaran baik skala lokal, nasional, maupun internasional [4]. Karena banyaknya aktivitas yang terjadi di perairan Balikpapan, membuat aktivitas kapal menjadi padat. Kepadatan kapal di wilayah perairan Balikpapan, dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kepadatan kapal di perairan Balikpapan [5]

Aktivitas tersebut membuat resiko kecelakaan kapal menjadi lebih tinggi dibandingkan perairan disekitarnya. Oleh karena itu, penting dilakukan analisis resiko kecelakaan kapal di wilayah tersebut.

Penilaian risiko adalah bagian dari manajemen risiko yang menyediakan suatu proses terstruktur yang mengidentifikasi bagaimana sasaran mungkin akan dipengaruhi, dan analisis risiko dalam hal konsekuensi dan probabilitasnya sebelum pengambilan keputusan apakah diperlukan perlakuan lebih lanjut [6].

Kecelakaan kapal yang dianalisis adalah tubrukan kapal karena lingkungan yang sempit seperti Teluk Balikpapan berpengaruh besar terhadap jenis kecelakaan tersebut. Tubrukan (*collision*) adalah kondisi dimana terjadi tubrukan antar kapal [7].

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul "Analisis Risiko Tubrukan Kapal Di Perairan Teluk Balikpapan Dengan Menggunakan Teknik Matriks Konsekuensi/Probabilitas Pasca Pemandahan Ibu Kota Negara"

### **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah berapa tingkat risiko tubrukan kapal di perairan Teluk Balikpapan pasca pemandahan ibu kota negara dengan pertimbangan konsekuensi dan frekuensi tubrukan?

### **1.3 Batasan Masalah**

Untuk menghindari penelitian yang meluas dan untuk membuat penelitian menjadi terarah serta mempermudah penyelesaian masalah dengan baik sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka penelitian dibatasi dengan beberapa hal sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah perairan Teluk Balikpapan.
2. Analisis risiko menggunakan teknik matriks konsekuensi/probabilitas.
3. Jenis kecelakaan kapal yang diteliti yaitu tubrukan.
4. Proyeksi call kapal hanya mempertimbangkan pertumbuhan penduduk.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa tingkat risiko tubrukan kapal di wilayah perairan Teluk Balikpapan pasca pemandahan ibu kota negara.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai peluang risiko terjadinya tubrukan kapal di perairan Teluk Balikpapan pasca pemandahan ibu kota negara.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi ini disusun dengan menggunakan sistematika sebagai berikut:

**BAB I PENDAHULUAN;** Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA;** Bab ini menguraikan beberapa teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

**BAB III METODE PENELITIAN;** Bab ini berisikan jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, serta model penelitian.

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN;** Bab ini menyajikan hasil dari penelitian disertai pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

**BAB V PENUTUP;** Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang dihasilkan dari penelitian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Karakteristik Teluk Balikpapan

Perairan Teluk Balikpapan merupakan salah satu perairan yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis, perairan Teluk Balikpapan berada di antara  $1^{\circ}13'4,877''$  LS –  $1^{\circ}13'28,691''$  LS dan  $116^{\circ}48'51,193''$  BT –  $116^{\circ}46'49,774''$  BT seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Perairan teluk ini merupakan jalur penghubung antara kota-kota di dalam dan luar Kalimantan Timur sebagai jalur mobilitas orang dan barang hasil produksi (ekspor dan impor) serta kegiatan pembangunan industri, pertambangan, perkebunan, pertanian, dan kehutanan [8].



Gambar 2. 1 Letak geografis Teluk Balikpapan [3]

Karakteristik kontur Teluk Balikpapan merupakan perairan dengan potongan kelerengan (*slope*) yang rata-hampir rata, berombak dengan lereng miring, dan berombak dengan lereng landai dengan kedalaman berkisar antara -2,24 meter hingga -53,84 meter [9].

## 2.2 Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk adalah perhitungan jumlah penduduk (menurut komposisi umur dan jenis kelamin) di masa yang akan datang berdasarkan asumsi arah perkembangan fertilitas, mortalitas, dan migrasi [10].

Proyeksi penduduk digunakan sebagai informasi dasar dalam perencanaan pengembangan pada tingkat lokal maupun nasional, karena merupakan pijakan dalam menentukan arah dan dasar pengambilan keputusan rencana dimasa yang akan datang, juga dapat digunakan sebagai evaluasi pencapaian kegiatan pembangunan baik pada jangka pendek, jangka menengah juga jangka panjang. Beberapa cara untuk memproyeksikan jumlah penduduk dimasa yang akan datang diantaranya menggunakan metode matematik dan metode komponen [10].

### 2.2.1 Metode Matematik

Metode ini sering disebut dengan metode tingkat pertumbuhan penduduk (*Growth Rates*). Metode ini merupakan estimasi dari total penduduk dengan menggunakan tingkat pertumbuhan penduduk secara matematik. Proyeksi berdasarkan tingkat pertumbuhan penduduk mengasumsikan pertumbuhan yang konstan baik untuk mengestimasi jumlah penduduk [10].

#### 2.2.1.1 Metode Aritmatik

Proyeksi penduduk dengan metode aritmatik mengasumsikan bahwa jumlah penduduk pada masa depan akan bertambah dengan jumlah yang sama setiap tahun. Formula yang digunakan adalah [10]:

$$P_t = P_0(1 + rt) \quad (2.1)$$

Dimana:

$P_t$  = jumlah penduduk pada tahun  $t$

$P_0$  = jumlah penduduk pada tahun dasar

$r$  = laju pertumbuhan penduduk

$t$  = periode waktu antara tahun dasar dan tahun  $t$

### 2.2.1.2 Metode Geometrik

Metode geometrik menggunakan asumsi bahwa jumlah penduduk akan bertambah secara geometrik menggunakan dasar perhitungan bunga majemuk. Laju pertumbuhan penduduk (*rate of growth*) dianggap sama untuk setiap tahun. Formula yang digunakan adalah [10]:

$$P_t = P_0(1 + r)^t \quad (2.2)$$

Dimana:

$P_t$  = jumlah penduduk pada tahun  $t$

$P_0$  = jumlah penduduk pada tahun dasar

$r$  = laju pertumbuhan penduduk

$t$  = periode waktu antara tahun dasar dan tahun  $t$

### 2.2.1.3 Metode Eksponensial

Metode eksponensial menggambarkan pertambahan penduduk terjadi secara sedikit-sedikit sepanjang tahun, berbeda dengan metode geometrik yang mengasumsikan bahwa pertambahan penduduk hanya terjadi pada satu saat selama kurun waktu tertentu. Formula yang digunakan adalah:

$$P_t = P_0e^{rt} \quad (2.3)$$

Dimana:

$P_t$  = jumlah penduduk pada tahun  $t$

$P_0$  = jumlah penduduk pada tahun dasar

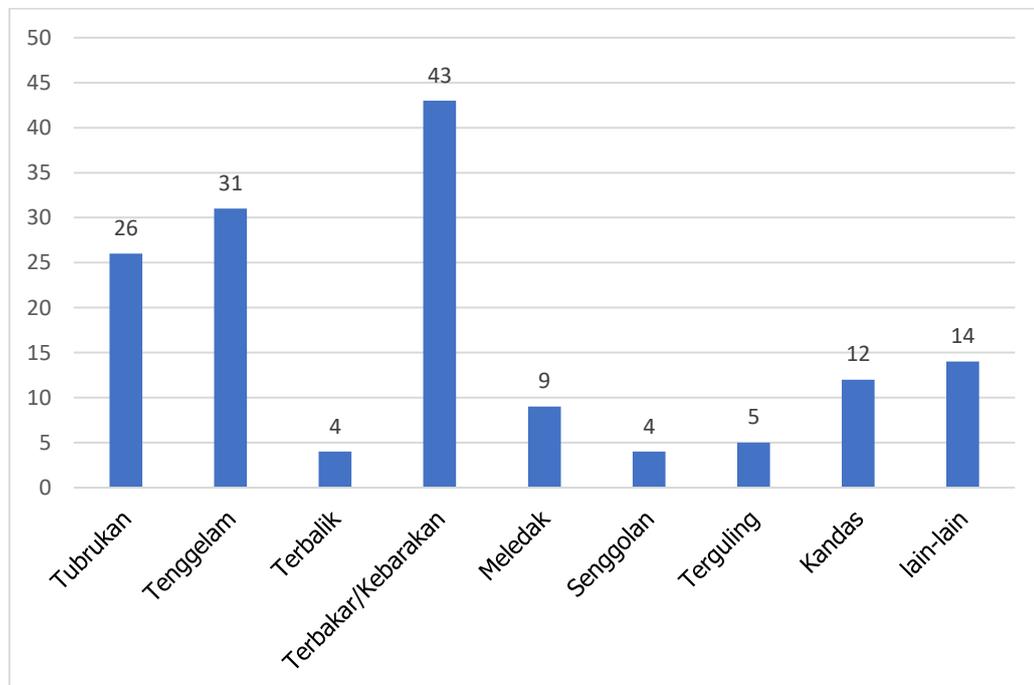
$r$  = laju pertumbuhan penduduk

$t$  = periode waktu antara tahun dasar dan tahun  $t$

## 2.3 Kecelakaan Kapal

Istilah kecelakaan dan insiden laut merujuk pada peristiwa yang tidak diinginkan sehubungan dengan operasi kapal. Istilah "insiden laut" digunakan untuk menunjukkan kejadian laut yang tidak diinginkan, seperti

kecelakaan, insiden, dan kejadian nyaris hilang. Kecelakaan adalah suatu kejadian yang tidak diinginkan yang mengakibatkan akibat yang merugikan, misalnya cedera, hilangnya nyawa, kerugian ekonomi, kerusakan lingkungan dan kerusakan atau kehilangan harta benda. Kecelakaan terjadi akibat kombinasi kondisi atau kejadian yang tidak terduga [11]. Berdasarkan data yang diperoleh dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi, jumlah kecelakaan kapal yang terjadi di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Data kecelakaan kapal di Indonesia 2007-2021 [12]

Mayoritas kecelakaan kapal yang paling fatal terjadi karena tubrukan dan kandas. Kecelakaan – kecelakaan ini terkait dengan area lalu lintas kapal yang padat dan operasi lepas pantai seperti anjungan produksi. Banyak sekali kecelakaan disebabkan oleh kesalahan manusia atau kegagalan kapal, tetapi juga oleh kondisi lingkungan yang keras [13].

Peningkatan lalu lintas laut tidak sejalan dengan peningkatan keselamatan, masih terdapat risiko yang terjadi pada saat kapal

melakukan pengangkutan, seperti kapal bertabrakan, tenggelam, kandas dan kebakaran. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mewujudkan keselamatan dalam transportasi laut, namun masih terjadi peningkatan angka kecelakaan kapal. Banyaknya kasus kecelakaan kapal menunjukkan bahwa masalah keselamatan belum menjadi prioritas [14].

Secara umum, beberapa penyebab kecelakaan kapal antara lain [15]:

- Kondisi alam, bisa merupakan fenomena alam seperti arus, arus pasang surut, angin kencang, jarak pandang berkurang (kabut, salju lebat, dan hujan), badai, dan kegelapan. Kondisi ini berpengaruh pada kapal atau orang yang mengontrol kapal.
- Kegagalan teknis adalah kecacatan yang ada pada kapal, seperti korosi, kegagalan kemudi, kegagalan mesin, kegagalan lambung yang timbul dari bahan atau konstruksi yang cacat, atau oleh instalasi berbasis pantai, seperti alat bantu navigasi.
- Kondisi rute dapat mencakup kesalahan navigasi seperti ketergantungan yang berlebihan pada peta yang tidak akurat, peta keandalan yang berdasarkan praduga atau berdasarkan survei lama, atau kanal yang sempit dengan bentuk berliku, menyebabkan manuver kapal menjadi terbatas terutama jika lalu lintas kapal padat, seperti Selat Turki dimana pelabuhan berdekatan dengan jalur pemisah lintasan, wilayah laut yang terbatas dengan ruang laut yang tidak memadai serta bahaya navigasi seperti gusung, karang, bangkai kapal. Dan lain-lain,
- Faktor yang berhubungan dengan kapal yang bisa menjadi kelemahan pada kapal, misalnya ukuran besar yang mempengaruhi kemampuan manuver dan stabilitas kapal.
- *Human Error*, misalnya kurangnya pengetahuan dan pengalaman yang memadai, ketidakmampuan teknis, pengawasan yang buruk,

tidak memperhatikan prosedur dan aturan dengan benar, kecerobohan dalam mengendalikan kapal, kesalahan interpretasi radar informasi, kurangnya kewaspadaan, kelelahan, kerja berlebihan, kurangnya waktu istirahat, dan lain – lain.

- Faktor yang berhubungan dengan cargo, sebagian besar berupa barang berbahaya dan kargo yang berat seperti minyak, bahan kimia, zat nuklir.

### **2.3.1 Tubrukan Kapal (*Collision*)**

Merujuk pada *International Maritime Organization* (IMO), tubrukan didefinisikan sebagai peristiwa kapal menabrak atau ditabrak oleh kapal lain terlepas dari apakah kapal itu sedang bergerak, berlabuh, atau sedang ditambatkan [16].

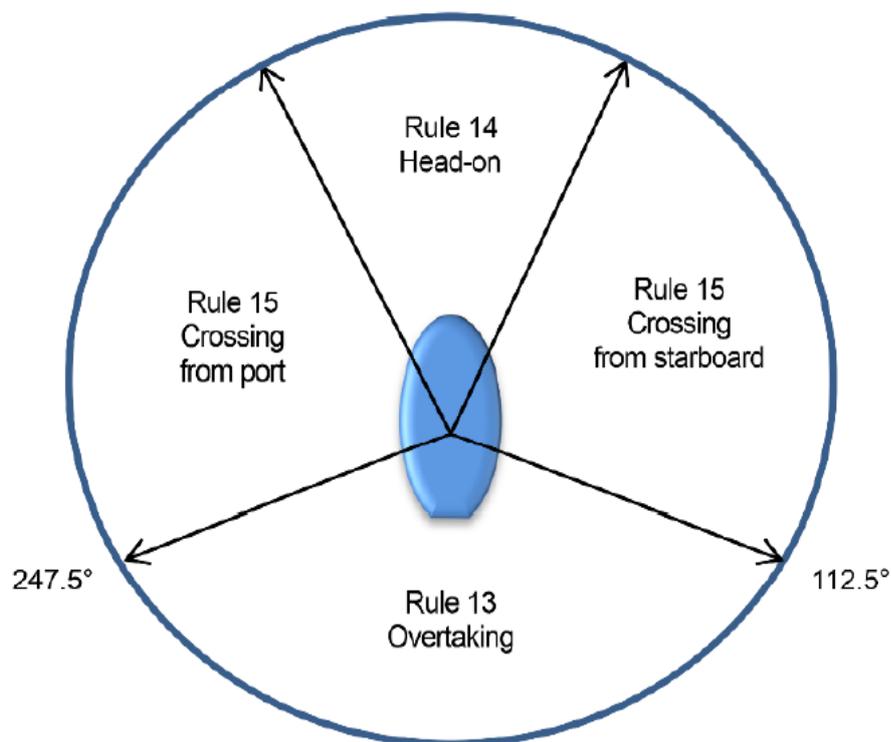
Sedangkan menurut *United States Coast Guard* (USCG), terdapat dua istilah yang merujuk pada tubrukan, yaitu *collision* dan *allision*. *Collision* didefinisikan sebagai tubrukan antara kapal yang bergerak dengan kapal yang lain bergerak lainnya, sedangkan *allision* didefinisikan sebagai tubrukan antara kapal yang bergerak dengan objek yang diam atau tetap (dermaga, kapal yang berlabuh, jembatan) [17].

Berdasarkan *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972* (COLREGs 1972) ada 3 jenis skenario tubrukan yaitu *overtaking*, *crossing*, dan *head-on*. Kejadian-kejadian ini berdasarkan aturan dari COLREGs dijelaskan dibawah [18].

- a. Sebuah kapal dianggap sedang melakukan *overtaking*, apabila ia mendekati kapal lain dari arah lebih dari 22,5 derajat di belakang sisi kapal yang sedang disusul, sehingga pada malam hari kapal yang sedang menyusul hanya dapat melihat lampu buritan kapal tetapi tidak dapat melihat lampu yang berada di lambung kapal. (*rule 13, point b*)

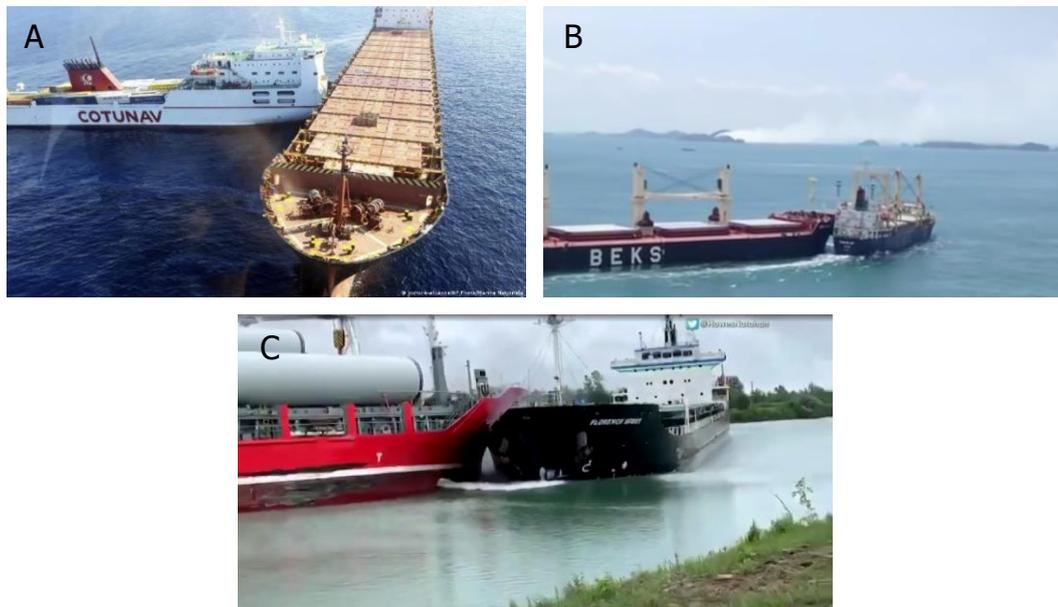
- b. Sebuah kapal dianggap berada dalam posisi *head-on*, apabila sebuah kapal melihat kapal lain di depan atau hampir di depan dan pada malam hari ia dapat melihat lampu-lampu tiang kapal lainnya segaris atau hampir segaris dan/atau kedua lampu lambung dan pada siang hari ia dapat mengamati aspek kapal lainnya. (*rule 14, point b*)
- c. Bilamana dua kapal sedang bergerak bersilangan sehingga menimbulkan risiko tubrukan, kapal yang disebelah kanannya terdapat kapal lain harus menyingkir dan jika keadaan mengizinkan, hindari melintas di depan kapal lainnya. (*rule 15*)

Aturan-aturan di atas kemudian dapat diilustrasikan pada Gambar 2.2



Gambar 2. 3 Pembagian sektor berdasarkan perbedaan situasi pertemuan kapal dalam COLREGs [19]

Adapun ilustrasi gambar tubrukan kapal untuk tiap-tiap situasi dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Ilustrasi Tubrukan kapal: a) Crossing, b) Overtaking, c) Head-on

### 2.3.1.1 Penyebab Tubrukan Kapal

Secara garis besar, faktor penyebab tubrukan kapal dipengaruhi oleh tiga kelompok besar yakni sistem jalur pelayaran termasuk kondisi lingkungan, faktor kapal, dan faktor manusia [20].

Sistem jalur pelayaran berkaitan erat dengan lalu lintas, manajemen lalu lintas, dan kondisi lingkungan. Lalu lintas kapal dipengaruhi oleh distribusi tipe kapal, distribusi ukuran kapal, dan intensitas lalu lintas. Manajemen lalu lintas termasuk *Vessel Traffic Service (VTS)*, *Automatic Identification System (AIS)*, alat bantu navigasi, dan ilmu pelayaran. Sedangkan kondisi lingkungan dipengaruhi oleh kedalaman perairan, arus, gelombang, angin, dan jarak pandang [20].

Faktor kapal berkaitan dengan desain kapal, manajemen kapal, dan instrumentasi. Desain kapal meliputi propulsi, mesin kemudi, sistem pendorong, kecepatan, ukuran kapal, dan kemampuan manuver kapal. Manajemen kapal meliputi perencanaan rute, pembaruan *chart*, dan

pemeliharaan. Instrumentasi meliputi radar, alarm, *Global Positioning System* (GPS), AIS [20].

Faktor manusia pada kasus kecelakaan kapal umumnya disebabkan oleh masalah komunikasi, seperti perbedaan bahasa, kesalahpahaman, bahkan hal seperti takut memperoleh teguran [20].

### **2.3.1.2 Dampak Tubrukan**

Dampak tubrukan dapat dibagi menjadi dampak terhadap kapal, dampak terhadap keselamatan manusia, untuk lingkungan, serta dampak untuk perusahaan pelayaran (reputasi dan ekonomi) [20]. Secara detail, dampak tubrukan diuraikan dibawah:

- Keselamatan manusia  
Secara umum, keselamatan manusia tidak terpengaruh secara langsung dengan tubrukan, namun dalam kasus kerusakan parah pada kapal, dapat menyebabkan kapal terbalik dan menyebabkan nyawa manusia hilang, apalagi jika tubrukan terjadi pada kapal penumpang. Sedangkan pada sedikit kasus, cedera terjadi akibat proses *de-acceleration* pada saat terjadi tubrukan.
- Dampak pada kapal  
Dampak pada kapal dibedakan menjadi empat kasus, yaitu kerusakan minor, kerusakan parah, terbalik, dan kerusakan total pada kapal. Kerusakan minor tidak menyebabkan deformasi permanen yang parah pada kapal, dan dapat segera diperbaiki serta tidak menyebabkan dampak lanjutan pada kapal. Kerusakan parah menyebabkan retak atau patah pada lambung kapal, sehingga harus diperbaiki dan terjadi penundaan pelayaran sehingga menyebabkan kerugian ekonomi sebagai dampak lanjutan. Terbalik (*capsizing*) bisa saja merupakan dampak lanjutan dari kerusakan parah, tetapi juga akibat dari hilangnya stabilitas akibat kerusakan yang lebih kecil.

*Capsizing* bisa menyebabkan minyak tumpah dan akan berdampak pada lingkungan. Kerusakan total kapal akan berdampak pada ekonomi dan reputasi perusahaan.

- Dampak pada lingkungan  
Dampak pada lingkungan yang berasal dari minyak dapat dibagi menjadi tiga kategori. Dampak pada industri komersial seperti industri perikanan, dan industri pariwisata. Dampak pemulihan seperti pembersihan pantai dan dermaga. Dampak non-komersial seperti hilangnya area rekreasi, kerugian sosial, dan kerugian ekologis.
- Dampak pada reputasi  
Tubrukan yang menyebabkan polusi pada lingkungan akan menyebabkan publisitas perusahaan menjadi buruk. Selain itu penundaan jadwal akibat adanya perbaikan kapal juga akan menyebabkan reputasi perusahaan menjadi berkurang.
- Dampak ekonomi  
Dampak ekonomi merupakan ujung dari semua dampak akibat tubrukan. Dampak ekonomi bisa berasal dari biaya perbaikan kapal, kerugian komersil dari barang yang dibawa, kerugian akibat biaya restorasi jika terjadi tumpahan minyak pada kapal, biaya penundaan kapal, dan kerugian akibat reputasi perusahaan yang menurun.

## **2.4 Penilaian Risiko**

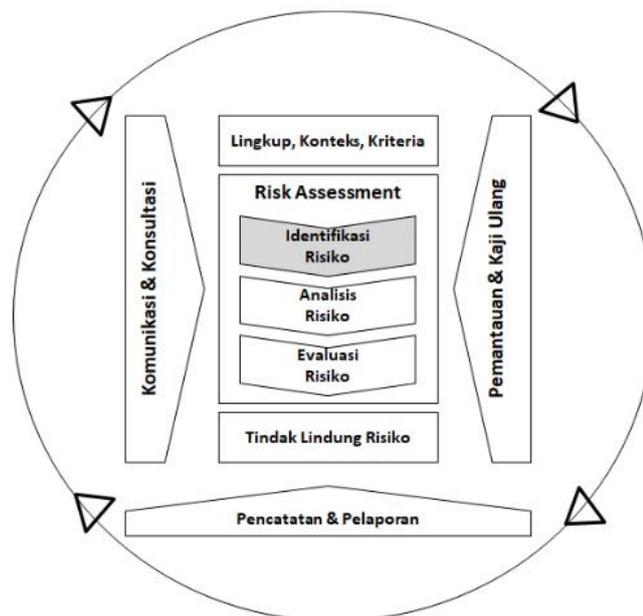
Risiko dapat diartikan sebagai ukuran potensi kerugian dari suatu sistem/proses/aset atau objek dan aktivitas lainnya. Potensi kerugian umumnya diwujudkan dalam dua ukuran yakni dimensi frekuensi atau probabilitas (kejadian bahaya/unit waktu) dan ukuran dimensi konsekuensi (efek/kejadian bahaya) [21].

Penilaian Risiko adalah keseluruhan dari proses identifikasi risiko, analisis risiko dan evaluasi risiko [22]. Penilaian risiko bukan metode baru

dalam menilai ukuran potensi kerugian sebuah aset atau sistem. Pada perkembangannya, penilaian risiko mengarah pada upaya – upaya perlindungan terhadap masyarakat dan lingkungan yang menuntut perusahaan harus menerapkan langkah – langkah pengurangan risiko, perlindungan asuransi atau bukti bahwa perusahaan/industri dapat beroperasi pada level yang dapat diterima [21].

### 2.4.1 Identifikasi Risiko

Identifikasi risiko adalah proses menemukan, mengenali dan mencatat risiko. Dalam proses manajemen risiko, identifikasi risiko merupakan bagian yang dilakukan paling terdahulu dalam proses *assessment* risiko [23]. Posisi identifikasi risiko dalam proses manajemen risiko dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Posisi identifikasi risiko dalam proses manajemen risiko [23]

Tujuan dari identifikasi risiko adalah untuk mengidentifikasi hal-hal, kejadian-kejadian atau situasi yang mungkin terjadi yang dapat mempengaruhi pencapaian tujuan organisasi termasuk penyebab dan sumber risiko, deskripsi kejadian risiko dan dampaknya terhadap tujuan organisasi [23].

Beberapa penulis mendefinisikan fase identifikasi risiko sebagai momen dimana kita menentukan risiko yang dapat merusak organisasi dan proyeknya, serta mengenali karakteristiknya. Bisa juga dicirikan sebagai “proses menentukan apa yang akan terjadi, dan bagaimana itu akan terjadi” [24].

Beberapa penulis, menganggap fase identifikasi risiko sebagai salah satu tahap terpenting dalam proses manajemen risiko atau bahkan fase yang paling menantang dan relevan dalam proses manajemen risiko. Fase identifikasi risiko dibagi menjadi tiga kategori [24]:

- Identifikasi risiko yang hanya dilakukan oleh seorang analis risiko dan didasarkan secara eksklusif pada praktik, pengetahuan, dan kapasitasnya;
- Identifikasi risiko yang dilakukan melalui wawancara analis risiko dengan anggota proyek untuk menganalisis data yang ditinjau berdasarkan pengetahuan dan keahlian orang yang diwawancarai;
- Identifikasi risiko dimana analis risiko memandu satu atau banyak kelompok kerja yang menerapkan identifikasi risiko.

#### **2.4.1.1 Teknik Identifikasi dan Analisis Risiko**

##### **A. *Brainstorming***

*Brainstorming* dilakukan dengan mendorong diskusi bebas antara orang – orang yang memiliki pengetahuan dan keahlian untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengetahui opsi – opsi penanganan risiko. *Brainstorming* sangat berguna untuk mengidentifikasi risiko dalam bisnis baru atau teknologi baru yang memerlukan ide – ide kreatif [23].

Empat peraturan dasar *brainstorming*:

- *Suspend judgment*, semua anggota tim harus menahan diri, tidak menghakimi ide, pendapat dan gagasan yang diajukan oleh anggota lain.

- *Record all ideas*, ada seseorang yang dapat menjadi notulen, mencatat semua ide, pendapat, atau gagasan yang diajukan, walaupun ide tersebut belum tentu digunakan.
- *Encourage "Piggy-backing" ideas*, koordinator atau fasilitator mendorong untuk membangun ide, pendapat, atau gagasan baru atau tambahan dari ide yang sudah pernah dijalankan atau dikemukakan.
- *Think out of the box*, yakni mendorong untuk mengeluarkan pemikiran yang baru, tidak mengulang ide atau pendapat yang sudah ada.

## **B. Wawancara Terstruktur atau Semi-Terstruktur**

Dalam wawancara terstruktur, pewawancara akan menanyakan pertanyaan-pertanyaan yang sudah disiapkan sebelumnya yang mendorong narasumber untuk melihat suatu situasi dari sudut pandang baru dan mengidentifikasi risiko dari sudut pandang tersebut. Wawancara semi-terstruktur dilakukan dengan cara serupa namun dapat melibatkan diskusi dan dan eksplorasi lebih lanjut [23].

Wawancara dapat dilakukan jika terdapat kesulitan dalam mengumpulkan orang yang diperlukan untuk melakukan brainstorming, atau jika diskusi bebas kurang tepat digunakan untuk pihak atau permasalahan tertentu. Wawancara sering dilakukan dalam mengidentifikasi risiko atau menilai efektivitas penanganan risiko [23].

## **C. Teknik *Delphi***

Teknik *Delphi* bertujuan untuk memperoleh konsensus pendapat dari orang-orang yang pakar di bidangnya. Perbedaan utama Teknik *Delphi* dari brainstorming adalah setiap pakar memberikan opininya secara individu dan anonim namun dapat melihat pandangan pakar lain selama *Delphi* dilakukan. Teknik *Delphi* dapat dilakukan di tahapan manapun dalam manajemen risiko di mana diperlukan konsesus opini dari pakar-pakar di bidangnya [23].

Kelebihan teknik *Delphi* adalah memungkinkan pendapat yang tidak populer muncul karena pemberian pendapat yang dilakukan secara anonim, mencegah pihak tertentu mendominasi pendapat yang muncul, menumbuhkan rasa memiliki terhadap konsensus yang dihasilkan, dan tidak perlu mengumpulkan orang-orang yang diperlukan secara fisik. Keterbatasannya adalah teknik ini memerlukan banyak waktu dan tenaga serta menuntut narasumber untuk dapat mengungkapkan pendapat dengan secara tertulis [23].

#### **D. Checklist**

*Checklist* adalah daftar bahaya, risiko atau kegagalan yang dibuat berdasarkan pengalaman, baik melalui penilaian risiko terdahulu atau informasi historikal. *Checklist* dapat digunakan untuk melakukan identifikasi risiko atau menilai efektivitas pengendalian risiko. *Checklist* juga bermanfaat untuk memeriksa apakah semua aspek telah tercakup setelah teknik lain dilakukan untuk mengidentifikasi risiko baru [23].

#### **E. Studi Hazard and Operability (HAZOP)**

Studi HAZOP adalah pemeriksaan terstruktur terhadap produk, proses, prosedur atau sistem yang sudah ada ataupun yang sedang direncanakan. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi risiko terhadap tujuan, personil, peralatan, lingkungan ataupun organisasi [23].

Proses Studi HAZOP bersifat kualitatif dan dilakukan berdasarkan kata kunci yang mempertanyakan bagaimana suatu tujuan rancangan atau kondisi operasi tidak dapat terpenuhi dalam setiap langkah rancangan, proses, prosedur ataupun sistem. Studi HAZOP umumnya dilaksanakan oleh tim multi-disiplin [23].

#### **F. Studi Hazard Identification (HAZID)**

Studi HAZID adalah metode sistematis dan bersifat high level yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya-bahaya yang dapat mengancam

pencapaian tujuan suatu system atau proyek. Studi ini umumnya dilakukan di fase perancangan awal. Studi HAZID mencakup semua aspek proyek ataupun sistem, baik permasalahan internal seperti konstruksi, commissioning, operasi dan perawatan hingga faktor eksternal seperti dampak lingkungan dan komunitas sekitar [23].

Tujuan dari HAZID adalah [23]:

- Mengidentifikasi bahaya utama yang terkait dalam suatu proyek atau sistem.
- Mengidentifikasi proses atau fase dalam proyek atau sistem yang dapat menyebabkan munculnya suatu bahaya.
- Mempertimbangkan bahaya yang dapat muncul dalam setiap alternatif rancangan proses.
- Mengidentifikasi perubahan besar yang dapat terjadi terhadap rancangan sistem.

### **G. Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)**

HACCP merupakan proses terstruktur untuk mengidentifikasi bahaya dan menerapkan pengendalian atas bahaya tersebut di bagian yang relevan dalam suatu proses untuk menjaga kehandalan dan keamanan suatu produk [23].

HACCP dilakukan dengan melakukan analisis terhadap diagram alur atau diagram proses dari suatu proses dan mengidentifikasi bahaya yang dapat mempengaruhi kualitas, keamanan atau kehandalan proses tersebut [23].

### **H. Environmental Risk Assessment**

*Environmental Risk Assessment* digunakan untuk menilai risiko yang dapat mempengaruhi tumbuhan, hewan, dan manusia yang diakibatkan oleh paparan bahaya lingkungan. (Tumpahan bensin di jalan tol, pembuangan limbah B3 tidak sesuai prosedur, Terjadi longsor, dsb).

Metode ini dilakukan dengan menganalisis bahaya lingkungan serta sumbernya, bahaya tersebut dapat mempengaruhi suatu populasi serta jalur yang ditempuh oleh bahaya tersebut untuk mencapai suatu populasi [23].

Metode ini dilakukan dengan menggunakan data mengenai sifat dan ciri-ciri bahaya, populasi yang dapat dipengaruhi dan bagaimana kedua hal tersebut berinteraksi. Data ini umumnya diperoleh berdasarkan penelitian laboratorium atau epidemiologi [23].

Kelebihan dari metode ini adalah dapat memberikan pemahaman yang terperinci mengenai sifat dari suatu risiko dan faktor-faktor yang dapat meningkatkan risiko. *Pathway Analysis* juga bermanfaat untuk mengidentifikasi dimana pengendalian risiko dapat ditingkatkan. Kekurangan metode ini adalah metode ini memerlukan data yang berkualitas namun sering kali tidak tersedia atau mengandung banyak ketidakpastian [23].

### **I. Scenario Analysis**

Analisis Skenario adalah model yang mendeskripsikan bagaimana masa depan akan terjadi. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi risiko dengan mempertimbangkan keadaan di masa depan dan mempertimbangkan dampak yang mungkin terjadi. Skenario '*best case*', '*worst case*' dan '*expected case*' dapat digunakan untuk menganalisis dampak potensial dan kemungkinan terjadinya sebagai bentuk analisis sensitivitas dalam menganalisis risiko [23].

Analisis skenario dilakukan dengan mempertimbangkan perubahan-perubahan besar yang terjadi dalam 50 tahun terakhir hingga saat ini di bidang teknologi, preferensi konsumen, keadaan sosial dan sebagainya. Skenario analisis tidak bisa memprediksi kemungkinan terjadinya perubahan-perubahan tersebut namun dapat memberi gambaran

mengenai dampaknya dan membantu organisasi dalam membangun kapabilitas untuk menghadapinya. Metode ini dapat digunakan untuk membantu membuat kebijakan dan rencana strategis dan mempertimbangkan aktivitas yang saat ini dilakukan [23].

Analisis skenario dapat digunakan untuk mengantisipasi kesempatan dan ancaman yang mungkin terjadi dan dapat digunakan untuk berbagai jenis risiko dalam jangka pendek maupun panjang. Untuk jangka pendek, skenario dapat diekstrapolasi dari kondisi saat ini dengan menggunakan data yang relevan. Untuk jangka panjang atau kondisi di mana data tidak tersedia, analisis skenario harus dilakukan secara imajinatif [23].

#### **J. *Root Cause Analysis (RCA)***

RCA dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab paling awal dari suatu risiko. RCA biasa dilakukan untuk mengevaluasi suatu kerugian besar namun dapat juga digunakan untuk menganalisis kerugian yang bersifat global dan menentukan di mana perbaikan dapat diimplementasi. RCA dilakukan menggunakan data-data yang dikumpulkan mengenai suatu kerugian atau kerusakan. Data dari kerugian serupa juga dapat dipertimbangkan dalam analisis [23].

#### **K. *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)***

*Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh engineers untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan efeknya. FMEA merupakan teknik evaluasi tingkat keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek dari kegagalan dari sistem tersebut. Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem [23].

Secara umum, FMEA didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu [23]:

- Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya.
- Efek dari kegagalan tersebut.
- Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

#### **L. *Fault Tree Analysis***

*Fault Tree Analysis* merupakan analisis induktif yaitu suatu kejadian disebabkan oleh kejadian sebelumnya. Kejadian sebelumnya disebabkan oleh kejadian lain lebih lanjut, kegagalan komponen atau kegagalan operator (manusia). Masing-masing kegagalan tersebut dianalisis lebih lanjut penyebabnya sehingga sampai pada kondisi kejadian dasar (*basic event*) [23].

*Fault Tree Analysis* dapat untuk mengkuantifikasi kegagalan sistem, komponen, fungsi atau operasi. Model *Fault Tree Analysis* dapat dipergunakan untuk menentukan [23]:

- Kombinasi beberapa kegagalan.
- Probabilitas gagal.
- Titik lemah (kritis) pada sistem, komponen, fungsi atau operasi.

#### **M. *Event Tree Analysis (ETA)***

*Event tree analysis* adalah teknik analisis untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi urutan peristiwa dalam skenario kecelakaan yang potensial. ETA menggunakan struktur pohon logika visual yang dikenal sebagai pohon kejadian (ET). Tujuan dari ETA adalah untuk menentukan apakah suatu kejadian akan berkembang menjadi sebuah kecelakaan serius atau jika peristiwat tersebut dapat dikendalikan oleh sistem keselamatan dan prosedur yang diterapkan dalam desain sistem. ETA dapat menghasilkan

berbagai kemungkinan hasil keluaran dari sebuah kejadian awal, dan dapat memprediksi kemungkinan terjadinya kecelakaan untuk setiap hasil keluaran [23].

#### **N. Cause and Consequence Analysis**

*Cause-consequences analysis* adalah gabungan dari FTA dan ETA dan memberikan gambaran lebih lengkap atas suatu risiko mulai dari akar penyebabnya hingga dampaknya. Analisis dimulai dari suatu kejadian risiko dan mencari akar penyebabnya menggunakan FTA dan mengidentifikasi dampaknya menggunakan logika ya/tidak untuk menilai dampak yang akan terjadi jika control yang sudah diterapkan gagal atau berhasil berfungsi [23].

#### **O. Cause and Effect Analysis**

*Cause and Effect Analysis* atau analisis Sebab-Akibat adalah metode terstruktur untuk mengidentifikasi kemungkinan penyebab dari suatu risiko. Metode ini menggolongkan penyebab-penyebab risiko dalam kategori untuk memudahkan dalam melakukan identifikasi. Informasi penyebab ini ditampilkan dalam diagram *fishbone* atau diagram Ishikawa Langkah dasar *Cause and Effect Analysis* adalah sebagai berikut [23]:

- Menentukan risiko atau akibat yang akan dianalisis, risiko ini dapat berdampak positif atau negatif tergantung keadaan
- Menentukan kategori utama dari penyebab risiko untuk dijadikan cabang utama dalam diagram
- Periksa setiap cabang kategori untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi
- Identifikasi penyebab yang paling mungkin berdasarkan opini dan bukti.

### 2.4.2 Analisis Risiko

Analisis risiko didefinisikan sebagai pemeriksaan terperinci yang dilakukan untuk memahami konsekuensi negatif yang tidak diinginkan terhadap kehidupan manusia, kesehatan, properti, atau lingkungan; proses analitis untuk memberikan informasi mengenai kejadian-kejadian yang tidak diinginkan; proses kuantifikasi probabilitas dan konsekuensi yang diperkirakan untuk mengidentifikasi risiko [25].

Analisis risiko mencakup analisis terhadap sumber risiko, dampak positif atau negatif suatu risiko, dan kemungkinan suatu risiko dapat terjadi. Faktor – faktor yang mempengaruhi dampak dan kemungkinan kejadian risiko harus diidentifikasi. Efisiensi dan efektifitas pengendalian risiko yang telah diterapkan sebelumnya juga harus dipertimbangkan. Keterkaitan yang mungkin terjadi di antara risiko – risiko yang telah diidentifikasi juga perlu dipertimbangkan [23].

Dalam menganalisis risiko, digunakan dua metode yaitu metode analisis frekuensi dan permodelan konsekuensi. Analisis frekuensi digunakan untuk memperkirakan seberapa besar kemungkinan terjadinya kecelakaan/bahaya (*probability*), sedangkan permodelan konsekuensi mengevaluasi konsekuensi atau dampak yang dihasilkan jika risiko terjadi [7].

Frekuensi adalah jumlah perkiraan terjadinya suatu kejadian per unit waktu, biasanya dalam tahun tetapi terkadang dalam jam atau jangka waktu proyek. Frekuensi ditulis dalam dimensi  $[1/time]$ , dan dapat berupa nilai positif apapun. Frekuensi dan jumlah risiko yang kurang dari 0.01 biasanya direpresentasikan dalam notasi saintifik seperti contohnya  $4.2 \times 10^{-3}$ . Persamaan notasi saintifik dari frekuensi dijelaskan pada Tabel 2.1 [26].

Tabel 2. 1 Persamaan notasi saintifik [26]

<b>SCIENTIFIC</b>	<b>DECIMAL</b>	<b>CHANCE</b>
$10^0$	1	1 in 1
$10^{-1}$	0.1	1 in 10
$10^{-2}$	0.01	1 in 100
$10^{-3}$	0.001	1 in 1,000
$10^{-4}$	0.0001	1 in 10,000
$10^{-5}$	0.00001	1 in 100,000
$10^{-6}$	0.000001	1 in 1 million
$10^{-7}$	0.0000001	1 in 10 million
$10^{-8}$	0.00000001	1 in 100 million

### 2.4.3 Matriks Risiko

Matriks risiko adalah alat sederhana untuk menggolongkan dan memprioritaskan risiko kejadian (umumnya merugikan) dan untuk membuat keputusan apakah risiko tertentu dapat ditoleransi. Matriks risiko menampilkan sifat dasar, "konsekuensi" dan "kemungkinan" dari suatu peristiwa yang merugikan dan keseluruhan kemungkinan risiko melalui grafik. Kombinasi antara konsekuensi dan kemungkinan/probabilitas dipetakan ke sejumlah kategori risiko (seringkali divisualisasikan dengan warna yang berbeda) dan pemetaan ini mencakup pertimbangan subjektif, seperti penghindaran bahaya besar [27].

Matriks menyajikan risiko secara grafis, dan termasuk dalam rangkaian diagram konsekuensi probabilitas. Matriks risiko merujuk pada berbagai standar internasional seperti ISO 17776 (2002), IEC 60812 (2006), dan ISO 31010 (2010) dan sektor industri atau praktisi manajemen risiko nasional, seperti (*Det Norske Veritas*, 2009) [27].

Matriks risiko memiliki dua aplikasi utama. Salah satu penerapannya adalah pengambilan keputusan mengenai penerimaan risiko; dan yang lainnya adalah memprioritaskan risiko mana yang perlu ditangani terlebih dahulu [27].

Matriks risiko yang dikeluarkan *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* (IALA) dapat dilihat pada Gambar 2.6.

		PROBABILITY / (LIKELIHOOD)				
		Very Rare (1)	Rare (2)	Occasional (3)	Frequent (4)	Very frequent (5)
CONSEQUENCE (IMPACT)	Catastrophic (5)	5	10	15	20	25
	Major (4)	4	8	12	16	20
	Severe (3)	3	6	9	12	15
	Minor (2)	2	4	6	8	10
	Insignificant (1)	1	2	3	4	5

Gambar 2. 6 Matriks Risiko [29]

Adapun tindakan yang perlu dilakukan oleh otoritas terkait berdasarkan hasil dari matriks risiko dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Tindakan yang diperlukan

Nilai Risiko	Kategori Risiko	Tindakan Yang Diperlukan
1-4	Hijau (Risiko rendah)	Tidak memerlukan opsi pengendalian risiko tambahan kecuali jika biaya yang digunakan relatif rendah dan dalam waktu singkat.
5-8	Kuning (Risiko sedang)	Risiko harus dikurangi hingga tingkat ALARP dengan menerapkan opsi pengendalian risiko tambahan yang mungkin membutuhkan biaya tambahan.
9-12	Jingga (Risiko Tinggi)	Upaya substansial dan mendesak harus dilakukan untuk mengurangi risiko hingga tingkat ALARP dalam waktu yang ditentukan. Pembiayaan yang signifikan mungkin diperlukan dan pelayanan mungkin perlu ditangguhkan atau dibatasi sampai opsi pengendalian risiko dilaksanakan.
15-25	Merah (Risiko Sangat Tinggi)	Perbaikan yang substansial perlu segera dilakukan. Mungkin diperlukan pembiayaan besar dan pelabuhan serta alur pelayaran kemungkinan akan ditutup dengan paksa sampai risiko dikurangi menjadi tingkat yang dapat diterima.

(Sumber : IALA,2017)

Seringkali dalam *risk acceptance*, penilaian hanya dibagi menjadi tiga tingkatan risiko: bahaya atau kejadian dengan risiko yang tidak dapat diterima (sering ditandai dengan warna merah); bahaya atau peristiwa dimana risiko dapat diabaikan dan tidak memerlukan tindakan pengurangan risiko lebih lanjut (sering ditandai dengan warna hijau), dan tingkat menengah, dimana risiko harus dikurangi hingga ketinggian ALARP (sering ditandai dengan warna kuning). Berdasarkan metode penafsiran ini, tidak perlu dilakukan proses penilaian prioritas bahaya lebih lanjut, setidaknya tidak di area merah atau hijau [27].

Prinsip ALARP (*As low as reasonably practicable*) mengasumsikan bahwa ada tingkat risiko yang dapat ditoleransi dan mensyaratkan bahwa risiko setidaknya berada di bawah tingkat itu. Istilah "*reasonably practicable*" menentukan seberapa rendah risiko harus ditekan hingga ke tingkat yang dapat diabaikan. Upaya tak terbatas memang bisa mengurangi risiko hingga ketinggian risiko yang paling rendah, namun hal itu membutuhkan biaya yang sangat besar. Jadi ALARP mengasumsikan bahwa ada tingkat risiko yang lebih rendah namun tidak layak secara ekonomi untuk dilakukan. Pada intinya ini berarti bahwa langkah – langkah pengurangan risiko harus dilakukan sampai tingkat dimana sudah tidak layak dilakukan pengurangan risiko lagi akibat modal atau sumber daya yang sudah tidak proporsional dengan jumlah pengurangan risiko yang dicapai [28].

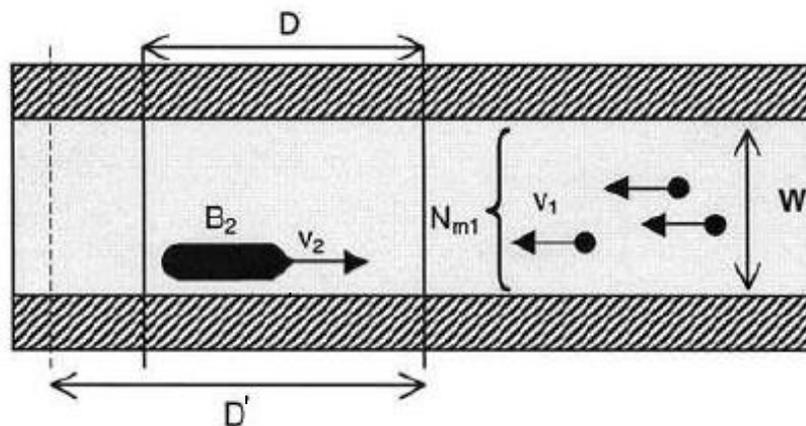
Dalam kasus dimana matriks risiko digunakan untuk menentukan prioritas (bahaya mana yang paling membutuhkan perhatian untuk mengurangi risiko kumulatif), jumlah tingkatan risiko yang lebih banyak mungkin diperlukan untuk mendapatkan resolusi yang lebih memadai untuk mengurutkan kejadian atau bahaya dalam urutan prioritas. Meski begitu, bahaya yang berbeda bisa saja berakhir pada sel yang sama atau risiko yang sama, ini disebut dengan *risk ties* [27].

## 2.5 Traffic Based Model

*Traffic based model* merupakan pendekatan perhitungan frekuensi kecelakaan yang disesuaikan dengan standar teknis, keadaan lingkungan sekitar, dan kepadatan lalu lintas perairan pada suatu daerah [7].

### 2.5.1 Tubrukan Antar Haluan (*Head-on Collision*)

Sebuah kapal terkena *meeting traffic* seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. Kapal subjek bergerak mendekati di dalam alur pelayaran dengan jarak  $D$  dan lebar rata-rata  $W$ . Model pendekatan mengasumsikan kapal subjek (*index 1*) mendekati lalu lintas beberapa kapal (*index 2*). Digunakan juga jarak relatif pelayaran  $D'$  sebagai pertanda bahwa kedua grup kapal bergerak [7]. Model kejadian tubrukan *head-on* dapat diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Model kejadian tubrukan *head-on* [7]

- $B_1$  = lebar rata-rata kapal yang ditemui (m)
- $V_1$  = kecepatan rata-rata kapal yang ditemui (knots)
- $B_2$  = lebar kapal subjek (m)
- $V_2$  = kecepatan kapal subjek (knot)
- $N_{m1}$  = Frekuensi pertemuan dengan kapal lain (kapal/*unit of time*)
- $D'$  = Jarak relatif pelayaran (nm)

Jumlah rata-rata pertemuan kapal dalam satu mil laut persegi dari jalur pelayaran disebut sebagai kepadatan kapal yang datang. Untuk menghitung hal ini digunakan rumus:

$$\rho_s = \frac{N_{m1} \cdot T}{(v_1 \cdot T) \cdot W} = \frac{N_{m1}}{v_1 \cdot W} \quad (2.4)$$

Dimana:

$\rho_s$  = Kepadatan lalu lintas kapal yang ditemui (kapal/nm<sup>2</sup>)

$T$  = Periode waktu yang berubah-ubah (jam)

Kapal subjek (*index 2*) menghabiskan waktu sebanyak  $T_2$  unit waktu untuk berlayar menuju bagian yang telah ditentukan dari jalur pelayaran dan memiliki kecepatan relatif  $V$  terhadap *meeting traffic*.

$$T_2 = \frac{D}{v_2}; \quad v = v_1 + v_2 \quad (2.5)$$

Sedangkan jarak relatif kapal subjek terhadap kapal yang datang dapat ditulis dengan persamaan:

$$D' = v \cdot T_2 = (v_1 + v_2) \cdot \frac{D}{v_2} \quad (2.6)$$

Diameter dampak dari tubrukan adalah sama dengan jumlah lebar kapal yang terekspos dan lebar kapal yang ditemui, dituliskan dalam persamaan:

$$B = B_1 + B_2 \quad (2.7)$$

Oleh karena itu area  $A$  dimana kapal subjek terkena dampak bahaya tubrukan di wilayah jalur pelayaran dapat dirumuskan sebagai:

$$A = B \cdot D' = (B_1 + B_2) \cdot (v_1 + v_2) \cdot \frac{D}{v_2} \quad (2.8)$$

Jumlah tubrukan yang diperkirakan terjadi ditiap lintasan pada jalur pelayaran, dengan pertimbangan hilangnya kontrol atas kapal, merupakan hasil kali dari area paparan dan kepadatan lalu lintas, dituliskan dengan persamaan:

$$N_i = A \cdot \rho_s = (B_1 + B_2) \cdot (v_1 + v_2) \cdot \frac{D}{v_2} \cdot D \cdot \rho_s$$

atau: (2.9)

$$N_i = \frac{(B_1 \cdot B_2)}{W} \cdot \frac{(v_1 + v_2)}{v_1 \cdot v_2} \cdot D \cdot N_{m1}$$

Jika parameter utama kapal subjek dan kapal yang ditemui sama, maka dapat dicari dengan persamaan:

$$N_1 = 4 \cdot B \cdot D \cdot \rho_s \quad (2.10)$$

Peluang terjadinya tubrukan antar haluan untuk satu kapal pada alur pelayaran dituliskan dengan persamaan:

$$P_a = N_i \cdot \rho_c \quad (2.11)$$

Perkiraan jumlah tubrukan antar haluan dengan mempertimbangkan arus kapal dari dua arah adalah sama, dapat dituliskan dengan persamaan:

$$N_a = P_a \cdot N_m \quad (2.12)$$

### 2.5.2 Tubrukan Antar Haluan & Buritan (*Overtaking Collision*)

Dalam kasus *overtaking*, kapal – kapal yang terlibat bergerak dengan arah yang sama namun dengan kecepatan yang berbeda. Perhitungan tubrukan antar haluan dan buritan pada dasarnya identik dengan tubrukan antar haluan selain variabel kecepatan relatif. Dengan asumsi bahwa kapal subjek dihadapkan pada arus lalu lintas yang seragam dalam arah yang sama, ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_i = \frac{(B_1 + B_2)}{W} \cdot \frac{(v_1 - v_2)}{v_1 \cdot v_2} \cdot D \cdot N_{m1} \quad (2.13)$$

Adapun Perhitungan estimasi jumlah tubrukan kapal secara *overtaking* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$N_a = N_a \cdot P_c \quad (2.14)$$

### 2.5.3 Tubrukan Antar Haluan dan Lambung Kapal (*Crossing Collision*)

Tubrukan antara kapal secara bersilangan sedikit lebih kompleks untuk dianalisis. Hal ini berdasarkan fakta bahwa skenario tersebut mewakili dua situasi pertemuan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, dimana kapal subjek tampak bersilangan dengan kapal lain di dalam suatu bagian pada jalur pelayaran dengan panjang  $D$  dan lebar  $W$ . Sehingga ada perbedaan antara kapal yang menghantam dan dihantam, sehingga jelas kedua set kapal memiliki perannya masing-masing.

Deskripsi situasi lalu lintas berdasarkan nomenklatur berikut:

- $B_1$  = Lebar kapal yang bersilangan (m)
- $L_1$  = Panjang kapal yang bersilangan (m)
- $v_1$  = Kecepatan yang bersilangan (knots)
- $B_2$  = Lebar rata-rata kapal subjek (m)
- $L_2$  = Panjang rata-rata kapal subjek (m)
- $v_2$  = Kecepatan rata-rata kapal subjek (knots)
- $N_{m1}$  = Frekuensi kedatangan kapal ditemui (kapal/unit waktu)

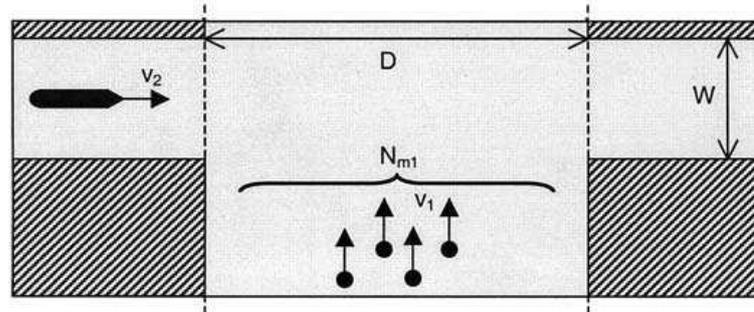
Jumlah rata-rata kapal yang menyebrang dalam satu mil laut persegi jalur pelayaran disebut sebagai kepadatan kapal yang menyebrang. Hal ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\rho_m = \frac{N_{m1} \cdot T}{(v_1 \cdot T) \cdot W} = \frac{N_{m1}}{v_1 \cdot W} \quad (2.15)$$

Dimana  $T$  adalah periode waktu yang dipilih secara acak. Kapal subjek (2) membutuhkan  $T_2$  jam untuk melewati bagian jalur pelayaran yang terjadi lalu lintas yang bersilangan. Ini ditulis dengan persamaan:

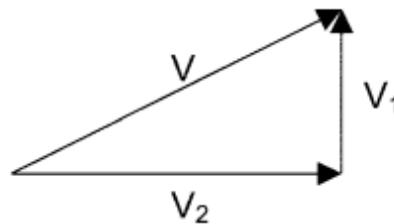
$$T_2 = \frac{D}{v_2} \quad (2.16)$$

Ilustrasi kapal bersilangan di wilayah persimpangan lalu lintas kapal dijelaskan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Situasi kapal bersilangan[7]

Sementara untuk mencari kecepatan relatif kapal bersilangan dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Kecepatan relatif kapal yang bersilangan[7]

Kapal yang menyeberang berlayar sejauh jarak  $D_1$  selama periode kapal subjek berada di area terpapar pada bagian jalur pelayaran kritis. Ini dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$D_1 = v_1 \cdot T_2 = v_1 \cdot \frac{D}{v_2} \quad (2.17)$$

Perkembangan model dibagi menjadi dua karena seperti yang sudah dijelaskan bahwa terdapat dua situasi pada jenis model *crossing collision*:

1. Kapal yang menyeberang menabrak kapal subjek
2. Kapal subjek menabrak kapal yang menyeberang

Situasi pertama, diameter dari dampak tubrukan adalah sama dengan penjumlahan panjang kapal yang terpapar dan lebar rata-rata kapal yang menyeberang:

$$Q_1 = (B_1 + L_2) \quad (2.18)$$

Oleh karena itu area dimana kapal subjek terpapar bahaya tubrukan adalah:

$$A_1 = Q_1 \cdot D_1 = (B_1 + L_2) \cdot D \cdot \frac{v_1}{v_2} \quad (2.19)$$

Jumlah tubrukan yang diperkirakan terjadi sebagai hasil perkalian dari area paparan dan kepadatan lalu lintas:

$$\begin{aligned} P_i &= A_1 \cdot \rho_m \\ &= (B_1 + L_2) \cdot D \cdot \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{N_{m1}}{v_1 \cdot D} \\ &= (B_1 + L_2) \cdot \frac{N_{m1}}{v_2} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Untuk situasi kedua, digunakan uraian yang sama namun posisi kapal yang menubruk dan ditubruk diubah.

$$\begin{aligned} D_2 &= D \\ Q_2 &= L_1 + B_2 \\ A_2 &= Q_2 \cdot D_2 = (L_1 + B_2) \cdot D \\ P_{i2} &= A_2 \cdot \rho_m = (L_1 + B_2) \cdot \frac{N_{m1}}{v_1} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Jumlah perkiraan total tubrukan samping (*total side collision*) adalah penjumlahan antara  $P_{i1}$  dan  $P_{i2}$  :

$$\begin{aligned} P_{i1} &= P_{i1} + P_{i2} \\ &= (B_1 + L_2) \cdot \frac{N_{m1}}{v_2} + (L_1 + B_2) \cdot \frac{N_{m1}}{v_1} \\ &= \frac{N_{m1}}{v_1 \cdot v_2} \cdot [(B_1 + L_2) \cdot v_1 + (L_1 + B_2) \cdot v_2] \end{aligned} \quad (2.22)$$

Dengan asumsi bahwa kedua kapal yang terlibat tubrukan memiliki karakteristik yang sama, maka dapat disederhanakan dengan persamaan:

$$P_i = \frac{N_{m1}}{v} \cdot 2 \cdot (B + L) = \rho_m \cdot 2 \cdot (B + L) \cdot D \quad (2.23)$$

Kemudian untuk menghitung dampak kecelakaan digunakan persamaan:

$$P_a = P_c \cdot P_i \quad (2.24)$$

Adapun untuk mencari perkiraan jumlah tubrukan pertahun digunakan persamaan:

$$N_a = N_m \cdot P_a \quad (2.25)$$