



TUGAS AKHIR - ME184834

**ANALISIS DAMPAK PENERAPAN TRAFFIC  
SEPARATION SCHEME TERHADAP KESELAMATAN  
KAPAL DI SELAT LOMBOK DAN KAWASAN  
KONSERVASI PERAIRAN NUSA PENIDA DAN  
KEPULAUAN GILI**

**AULYA FADILLA RACHMAN**

**NRP. 04211640000035**

Dosen Pembimbing

A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES., Ph.D.

Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020









Tugas Akhir - ME184834

**Analisis Dampak Penerapan *Traffic Separation Scheme*  
terhadap Keselamatan Kapal di Selat Lombok dan  
Kawasan Konservasi Perairan Nusa Penida dan Kepulauan  
Gili**

Aulya Fadilla Rachman

04211640000035

Dosen Pembimbing :

A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D

Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2020











---

BACHELOR THESIS - ME184834

**The Impact Analysis of Applying the Traffic Separation Scheme in Lombok Strait to the Safety of the Ship and Marine Conservation Areas in Nusa Penida Island and Gili Islands**

Aulya Fadilla Rachman

04211640000035

Supervisors:

A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D

Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2020



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS DAMPAK PENERAPAN TRAFFIC SEPARATION SCHEME TERHADAP KESELAMATAN KAPAL DI SELAT LOMBOK DAN KAWASAN KONSERVASI PERAIRAN NUSA PENIDA DAN KEPULAUAN GILI

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Reliability, Availability, Management  
and Safety* (RAMS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Aulya Fadilla Rachman**

NRP. 04211640000035

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

A.A.B. Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D.



Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS DAMPAK PENERAPAN TRAFFIC SEPARATION SCHEME TERHADAP KESELAMATAN KAPAL DI SELAT LOMBOK DAN KAWASAN KONSERVASI PERAIRAN NUSA PENIDA DAN KEPULAUAN GILI

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Reliability, Availability, Management  
and Safety* (RAMS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Aulya Fadilla Rachman**

NRP. 04211640000035



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*



# **Analisis Dampak Penerapan *Traffic Separation Scheme* terhadap Keselamatan Kapal di Selat Lombok dan Kawasan Konservasi Perairan Nusa Penida dan Kepulauan Gili**

**Nama Mahasiswa** : Aulya Fadilla Rachman

**NRP** : 0421164000035

**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan

**Dosen Pembimbing 1** : A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D

**Dosen Pembimbing 2** : Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

## **ABSTRAK**

Selat Lombok merupakan salah satu selat tersibuk di Indonesia. Berdasarkan data lalu lintas kapal di tahun 2018, selat yang berada diantara Pulau Bali dan Pulau Lombok tersebut tercatat dilewati 36.773 kapal. Dengan tujuan untuk mengurangi risiko kecelakaan kapal di jalur pelayaran internasional, pemerintah melalui sidang *International Maritime Organization* (IMO) pada Januari 2019 mengajukan proposal *Traffic Separation Scheme* di Selat Sunda dan Selat Lombok yang akhirnya disetujui dan disahkan oleh IMO. Penetapan alur pelayaran yang baru setelah TSS diberlakukan menyebabkan perlu dilakukannya perhitungan baru mengenai risiko terjadinya tubrukan kapal di kawasan tersebut. Terlebih lagi, tubrukan kapal di daerah tersebut dapat menyebabkan tumpahan minyak yang berpotensi menimbulkan bahaya besar untuk wilayah konservasi Nusa Penida dan Kepulauan Gili. Studi ini bertujuan untuk mensimulasikan dampak diberlakukannya TSS terhadap kemungkinan penyebaran tumpahan minyak di dua kawasan konservasi tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal setelah TSS diberlakukan yang dihitung berdasarkan *IWRAP theory* menunjukkan hasil yaitu sebesar  $1,29 \times 10^{-2}$  tubrukan kapal pertahun, berkurang secara signifikan dibandingkan sebelum TSS berlaku yaitu  $1,21 \times 10^{-1}$ . Pada tahun 2035, diprediksi TSS masih cukup efektif dengan frekuensi tubrukan kapal yaitu  $2,4 \times 10^{-2}$ . Hasil permodelan tumpahan minyak menggunakan *software* GNOME menunjukkan hanya tubrukan dekat Nusa Penida yang berpotensi kecil mencemari kawasan konservasi perairan, yang setelah dimasukkan ke dalam *risk matrix* dari DNV-GI; *Hazard Identification and Qualitative Risk Evaluation of the Navigational risk for the Omø Syd Wind Farm* menunjukkan hasil *unwanted* atau tidak diinginkan dikarenakan frekuensi kejadian yang cukup rendah dengan konsekuensi yang cukup parah.

**Kata kunci:** *Ship Collision, Lombok Strait, IWRAP, GNOME, Traffic Separation Scheme, Oil Spill*

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

# **The Impact Analysis of Applying the Traffic Separation Scheme in Lombok Strait to the Safety of the Ship and Conservation Areas in Nusa Penida Island and Gili Islands**

**Student's name** : Aulya Fadilla Rachman  
**NRP** : 0421164000035  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor 1** : A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D  
**Supervisor 2** : Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc.

## **Abstract**

Lombok Strait is one of the busiest straits in Indonesia and is connected Bali Island and Lombok Island. Based on the data, this strait was passed by 36.773 ships in 2018. As one of the efforts to minimize the ship collisions in the international passage in Indonesian water, the government had submitted two proposals for Traffic Separation Scheme in Sunda Strait and Lombok Strait to the International Maritime Organization (IMO) and will be come into force on June 2020. New routing measures implemented to the Lombok Strait led to the need for a comparison of the ship collisions risk in the area before and after the TSS design is applied. Moreover, ship collisions in the Lombok Strait can cause oil spills, which could potentially produce a massive damage to the conservation areas of Nusa Penida and Gili Islands. As a marine protective area (MPA), it is necessary to estimate the impact of the implementation of the TSS by simulating the possible spread of oil spills in those two conservation areas. Calculation of ship collision frequency after TSS is implemented which is calculated based on IWRAP theory shows the result is  $1,29 \times 10^{-2}$  collisions per year, significantly reduced compared to before the TSS took effect that was  $1,22 \times 10^{-1}$ . In 2035, it is predicted that TSS is still quite effective with the frequency of ship collisions, in which the frequency is  $2,4 \times 10^{-2}$ . The results of the oil spill modeling using GNOME software show that only a collision near Nusa Penida has little potential to pollute the marine conservation area, which after being incorporated into the risk matrix shows unwanted results because of the frequency that may occur is quite low with catastrophic consequences.

**Key words:** *Ship Collision, Lombok Strait, IWRAP, GNOME, Traffic Separation Scheme, Oil Spill*

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga skripsi berjudul “Analisis Dampak Penerapan *Traffic Separation Scheme* terhadap Keselamatan Kapal di Selat Lombok dan Kawasan Konservasi Perairan Nusa Penida dan Kepulauan Gili” ini dapat diselesaikan tepat waktu. Skripsi merupakan salah satu syarat kelulusan sehingga penulis sangat berterima kasih kepada beberapa pihak yang sudah membantu untuk menyelesaikan skripsi ini:

1. Bambang Djuhartono, Etty Yulia, Nabilla Rahmi Ramadhani, Asy Syifa Rahmi Ramadhana, Bahiyaafi Rachman Farizi, Vito Fauzan, dan Muhammad Ilhan Alfatih sebagai keluarga yang selalu memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak A.A.B. Dinariyana D.P. S.T., MES., Ph.D sebagai dosen pembimbing pertama yang memberikan arahan, nasihat, serta motivasi dalam penulisan skripsi ini.
3. Ibu Fadilla Indrayuni P. S.T., M.Sc. sebagai dosen pembimbing kedua yang sudah membantu penulis memecahkan masalah yang ditemui dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc, Bapak Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc., Bapak Dr. I. Made Ariana, ST., MT., Ibu Dr. Emmy Pratiwi S.T. yang sudah membantu penulis dalam mengembangkan diri selama berada di lingkungan Laboratorium Keandalan dan Keselamatan.
5. Bapak Beny Cahyono S.T, M.T., Ph.D selaku dosen wali penulis yang sudah membimbing penulis selama perkuliahan.
6. Seluruh dosen dan tenaga pendidikan Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
7. Mas Azka Avesina S.T., Mas Muhammad Firman Fahrirozhan S.T., B.Eng., Mbak Nanda Dwi W. S.T., dan Mas Fajar Wahyu Saputra S.T. yang sudah memberikan saran maupun solusi dalam penyelesaian skripsi ini
8. Para rekan di lab. RAMS, Mas Thariq A. Akbar S.T., B.Eng., Mbak Hayy Nur Abdillah S.T., M.T., Mbak Widhi Aprillia S.T., yang menjadi rekan dalam menjalankan aktivitas di laboratorium selama tahun keempat ini.
9. Rekan-rekan seperjuangan skripsi di lab. RAMS yang bersama-sama berusaha menyelesaikan skripsi di semester ini, Capt. Andra, Daffa, Dany, Ical, Fadhil, Zaky, Bagas, Arvin, Bima, Pess, Wahyu, Joshua, Kevin, PW, Rama, dan Daniel.
10. Rekan-rekan yang menemani kehidupan kampus, Abdul, Hanif, Satrio, Ardi, Rheza, Pontang, Tito, Lintong, Ilham, Rifqi, Anhdhika, Kamil, Triska, Winda, Cholis, Taufiq, dan Allysha Prista.

11. Teman-teman pengurus Himasiskal Kabinet Bara dan Kabinet Bersama, khususnya Departemen Hubungan Luar yang membantu penulis mengembangkan *softkill*-nya, Roby, Dhana, Sophie, Agoy, Mufqi, Mas Fadhil, Mas Ebil, Mba Herdira, dan Vio.
12. Sahabat-sahabat SMA saya yang senantiasa memberikan dukungan walaupun terhalang jarak, Ghea, Taufiq, Fikri, Naufal, Musa, Elga, Sarah, Denise, Inggi, Nabila Zahra, Revina, Eky, Ika, dan Ibra.
13. Angkatan saya, Voyage'16, yang telah menjadi sahabat, partner, bahkan keluarga penulis selama penulis berkuliah. Semoga dapat tetap berhubungan baik meskipun terhalang ruang dan waktu.
14. Mas dan mbak saya dari Barakuda'13, Mercusuar'14, dan Salvage'15 yang telah menjadi kakak yang baik sejak penulis menjejakkan kaki di siskal.
15. Adik-adik tingkat penulis, Badrikara'17, Cakrawala'18, dan angkatan 2019 yang akan melewati fase yang sama seperti penulis, semoga sukses ke depannya.
16. Dan semua rekan-rekan yang sudah menghiasi perjalanan selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun akan sangat membantu agar penulis bisa mengembangkan diri ketika melakukan penelitian selanjutnya.

Semoga para pembaca dapat mengambil sebuah manfaat dari skripsi ini, terima kasih. Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Depok, 22 Juli 2020

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN I .....	i
LEMBAR PENGESAHAN II .....	iii
ABSTRAK .....	v
Abstract .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Manfaat .....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 <i>Traffic Separation Scheme</i> .....	5
2.2 Selat Lombok .....	8
2.3 Kawasan Konservasi .....	9
2.3.1 Kawasan Konservasi Kepulauan Gili .....	9
2.3.2 Kawasan Konservasi Nusa Penida.....	10
2.4 Tubrukan Kapal.....	10
2.4.1 Penyebab Kecelakaan Kapal.....	12
2.4.2 Penilaian Risiko Tubrukan Kapal .....	13
2.4.3 <i>IWRAP Theory</i> .....	13
2.4.4 <i>Head-On Collision</i> .....	13
2.4.5 <i>Overtaking Collision</i> .....	14
2.4.6 <i>Crossing Collision</i> .....	15
2.4.7 Perhitungan <i>Causation Probability</i> .....	15
2.5 Tumpahan Minyak .....	19
2.5.1 Persebaran Tumpahan Minyak .....	20
2.5.2 GNOME .....	21
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	22

BAB III METODE PENELITIAN .....	24
3.1 Perumusan Masalah.....	26
3.2 Studi Literatur .....	26
3.3 Pengumpulan Data .....	26
3.4 Analisis Risiko Tubrukan .....	26
3.5 Perhitungan Frekuensi Menggunakan Metode Numerik.....	27
3.6 Pemodelan Konsekuensi.....	27
3.7 Risk Matrix.....	28
3.8 Rekomendasi Mitigasi dan Kesimpulan.....	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Penjelasan Umum.....	31
4.2 Pengolahan Data.....	31
4.2.1 Perkiraan Lalu Lintas Kapal Selat Lombok di Masa Depan .....	35
4.3 Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal Setelah TSS .....	38
4.3.1 <i>Head-on Collision</i> .....	38
4.3.2 <i>Overtaking Collision</i> .....	41
4.3.3 <i>Crossing Collision</i> .....	43
4.4 Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal di Masa Depan .....	45
4.4.1 <i>Head-on Collision</i> .....	46
4.4.2 <i>Overtaking Collision</i> .....	47
4.4.3 <i>Crossing Collision</i> .....	48
4.5 Perhitungan Frekuensi Tubrukan Kapal sebelum TSS .....	49
4.6 Pemodelan Persebaran Minyak Akibat Tubrukan Kapal.....	49
4.6.1 Skenario 1 Tumpahan Minyak.....	50
4.6.2 Skenario 2 Tumpahan Minyak.....	51
4.7 <i>Risk Matrix</i> .....	52
4.8 Langkah Mitigasi.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	59
BIODATA PENULIS.....	67



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Persimpangan Jalur Pelayaran di Selat Lombok .....	3
Gambar 2. 1 ALKI II Selat Lombok.....	6
Gambar 2. 2 Traffic Separation Scheme di Selat Lombok.....	7
Gambar 2. 3 Peta Coral Triangle .....	8
Gambar 2. 4 Daerah Konservasi Kepulauan Gili.....	9
Gambar 2. 5 Daerah Konservasi Nusa Penida .....	10
Gambar 2. 6 Tipe Tubrukan Kapal .....	11
Gambar 2. 7 Contoh model Bayesian Network pada risiko pelayaran .....	17
Gambar 2. 8 Contoh Fault Tree pada Kejadian Kecelakaan .....	18
Gambar 2. 9 Tumpahan minyak akibat Exxon Valdez .....	20
Gambar 2. 10 Tampilan Awal Software GNOME.....	22
Gambar 3. 1 Flowchart Pengerjaan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 3. 2 Tampilan Software GNOME dengan Base Map Selat Lombok .....	28
Gambar 3. 3 Risk Matrix berdasarkan standar DNV-GL.....	29
Gambar 4. 1 Selat Lombok.....	31
Gambar 4. 2 Perkiraan peningkatan perdagangan melalui laut .....	36
Gambar 4. 3 Laju pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto sektor Transportasi Provinsi Bali tahun 2015-2019 .....	37
Gambar 4. 4 Jalur yang berpotensi terjadi head-on collision .....	39
Gambar 4. 5 Lokasi yang berpotensi terjadi crossing collision.....	44
Gambar 4. 6 Hasil permodelan pada skenario 1 dekat Nusa Penida setelah (a) 12 jam, (b) 24 jam, dan (c) 36 jam. ....	50
Gambar 4. 7 Hasil permodelan pada skenario 1 dekat Kepulauan Gili setelah (a) 12 jam, (b) 24 jam, dan (c) 36 jam. ....	51
Gambar 4. 8 Hasil permodelan pada skenario 2 dekat Nusa Penida setelah (a) 12 jam, (b) 24 jam, dan (c) 36 jam. ....	52
Gambar 4. 9 Hasil permodelan pada skenario 2 dekat Kepulauan Gili setelah (a) 12 jam, (b) 24 jam, dan (c) 36 jam. ....	52
Gambar 4. 10 Hasil pemetaan pada Risk Matrix .....	53
Gambar 4. 11 Contoh penggunaan oil boom untuk mencegah penyebaran minyak dari kecelakaan kapal .....	54

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Kecelakaan Kapal di Indonesia 2010-2016.....	1
Tabel 1. 2 Jumlah Trip Kapal Ferry Lembar - Padangbai.....	2
Tabel 2. 1 Nilai causation probability dari berbagai referensi .....	16
Tabel 2. 2 Hasil Perhitungan Frekuensi Tubrukan sebelum TSS.....	23
Tabel 4. 1 Kapal yang melintasi Selat Lombok dari utara ke selatan selama Mei 2018 .....	32
Tabel 4. 2 Kapal yang melintasi Selat Lombok dari selatan ke utara selama Mei 2018 .....	33
Tabel 4. 3 Kapal yang menyebrangi Selat Lombok dari Pelabuhan Benoa ke Lombok .....	34
Tabel 4. 4 Perkiraan jumlah kapal niaga yang melewati Selat Lombok 2018-2035	36
Tabel 4. 5 Perkiraan kapal yang melintasi Selat Lombok pada 2018-2035 .....	38
Tabel 4. 6 Contoh perhitungan frekuensi head-on collision .....	41
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan frekuensi head-on collision setelah TSS .....	41
Tabel 4. 8 Contoh hasil perhitungan frekuensi crossing collision.....	45
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan frekuensi crossing collision setelah TSS berlaku .....	45
Tabel 4. 10 Hasil perhitungan head-on collision di tahun 2035.....	47
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan frekuensi crossing collision di tahun 2035.....	48
Tabel 4. 12 Frekuensi tubrukan sebelum dan sesudah TSS berlaku .....	49
Tabel 4. 13 Volume minyak yang tumpah setelah 36 jam pada skenario 1 .....	51
Tabel 4. 14 Volume minyak yang tumpah setelah 36 jam pada skenario 2 .....	52

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Transportasi laut merupakan salah satu sektor yang penting di Indonesia. Sebagai negara kepulauan dengan luas lautan mencapai 70% dari total luas negara, transportasi laut memiliki peran penting dalam menghubungkan 17.504 pulau di Indonesia. Tidak dapat dipungkiri bahwa transportasi laut menjadi salah satu sektor yang memiliki efek besar dalam menunjang perekonomian di Indonesia.

Namun disayangkan, besarnya peran sektor transportasi laut di Indonesia belum diikuti dengan tingginya tingkat keselamatan kapal di Indonesia. Keselamatan kapal tersebut meliputi keselamatan manusia di kapal, keselamatan alur pelayaran baik terkait tubrukan antar kapal maupun kapal dengan benda lainnya, keselamatan kapal dari bahaya kebakaran, dan keselamatan lingkungan di sekitarnya. Tercatat dari tahun 2010-2016, terjadi 54 kecelakaan kapal di Indonesia dengan total korban meninggal hingga 337 orang. Padahal, keselamatan merupakan faktor paling penting dalam setiap kegiatan manusia. Dari segi ekonomi, setiap kecelakaan kapal yang terjadi menyebabkan kerugian yang signifikan dikarenakan kehilangan yang besar dari sisi material, energi, serta waktu. Diperlukan langkah kongkret baik dari pemerintah maupun pelaku usaha di bidang transportasi laut. Investasi di bidang keselamatan menjadi hal yang harus diutamakan dalam setiap perhitungan modal usaha.

*Tabel 1. 1 Kecelakaan Kapal di Indonesia 2010-2016 (Media Release KNKT, 2016)*

No	Tahun	Jumlah Kecelakaan	Jenis Kecelakaan					Korban Jiwa	
			Tenggelam	Terbakar	Tubrukan	Kandas	Lain-lain	Hilang/meninggal	Luka-luka
1	2010	5	1	1	3	0	0	15	85
2	2011	6	1	3	2	0	0	86	346
3	2012	4	0	2	2	0	0	13	10
4	2013	6	2	2	2	0	0	65	9
5	2014	7	2	3	2	0	0	22	4
6	2015	11	3	4	3	1	0	85	2
7	2016	15	4	4	3	2	2	51	18
<b>Total</b>		54	13	19	17	3	2	337	474

Di wilayah perairan Indonesia, terdapat banyak wilayah yang menjadi pusat dari kegiatan transportasi laut. Selat Lombok merupakan salah satu selat “tersibuk” di Indonesia. Selat yang berada di antara Pulau Bali dan Pulau Lombok tersebut memiliki lebar 18 km di bagian selatan dan 40 km di bagian utara. Berdasarkan data pada tahun 2018, selat yang berada diantara Pulau Bali dan Pulau Lombok tersebut tercatat dilewati 36.773 kapal. Selain sebagai lintasan alur pelayaran internasional maupun domestik, banyaknya kawasan wisata di sekitar Selat Lombok menyebabkan selat tersebut juga dipenuhi oleh kapal-kapal wisata dan kapal *yacht*. Di kawasan

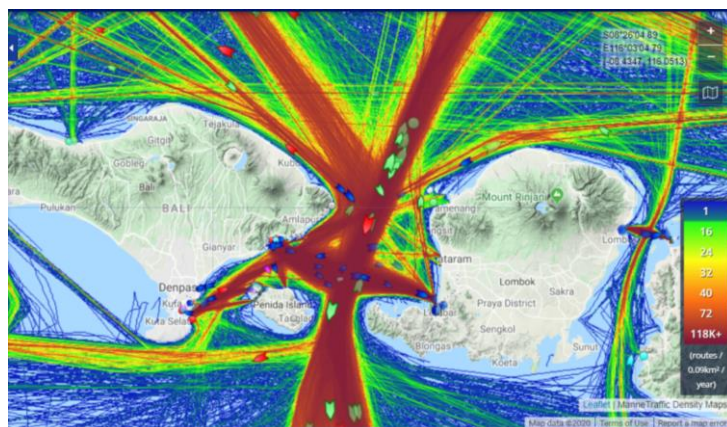
tersebut terdapat jalur kapal ferry dari Lembar menuju Padangbai. Gambar 1.1 menunjukkan kepadatan lalu lintas di Selat Lombok, baik kapal yang berlayar dari utara-selatan dan sebaliknya yang didominasi oleh kapal *bulk carrier*, juga kapal *fast ferry* yang menyeberang antara kedua pulau. Kondisi selat yang cukup ramai dan banyaknya kawasan wisata menyebabkan munculnya potensi kecelakaan kapal yang cukup besar. Untuk menanggulangi hal tersebut pemerintah mengeluarkan peraturan PP No 37 tahun 2002 dimana dalam pasal 7 menuliskan pasal : “Kapal asing sewaktu melewati alur laut wajib menaati peraturan internasional mengenai keselamatan pelayaran tentang pencegahan tubrukan kapal di laut dan Skema pemisahan lintas,” yang pada akhirnya melalui sidang International Maritime Organization (IMO) pada 16-25 Januari 2019 telah disetujui dan disahkan *Traffic Separation Scheme* (TSS) di Selat Sunda dan Selat Lombok. TSS tersebut selanjutnya diadopsi dalam sidang IMO *Maritime Safety Committee* pada Juni 2019.

Tabel 1. 2 Jumlah Trip Kapal Ferry Lembar – Padangbai (PT. ASDP Ferry, dikutip dari Saputra, 2019)

Bulan	Tahun			Total Trip
	2015	2016	2017	
<b>Januari</b>	581	676	738	2.518
<b>Februari</b>	490	671	666	2.290
<b>Maret</b>	568	690	597	2.366
<b>April</b>	583	676	483	2.299
<b>Mei</b>	660	639	501	2.378
<b>Juni</b>	674	712	514	2.425
<b>Juli</b>	614	711	597	2.497
<b>Agustus</b>	721	717	565	2.003
<b>September</b>	621	597	583	1.801
<b>Oktober</b>	541	734	587	1.862
<b>Nopember</b>	498	578	588	1.664
<b>Desember</b>	613	730	573	1.916
<b>Total Trip</b>	7.164	8.131	6.992	

TSS merupakan suatu skema pemisahan jalur lalu lintas pelayaran kapal-kapal yang berlawanan arah dalam suatu alur pelayaran yang ramai dan sempit, misalnya alur pelayaran saat memasuki pelabuhan atau selat. Penetapan TSS mempertimbangkan kondisi lebar alur pelayaran, dimensi kapal, serta kepadatan lalu lintas pelayaran, sebagaimana tertuang dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 129 Tahun 2016 Tentang Alur Pelayaran di Laut dan Bangunan dan/atau Instalansi

di Perairan. Penetapan alur pelayaran yang baru setelah TSS diberlakukan menyebabkan perlu dilakukannya perhitungan baru mengenai risiko terjadinya tubrukan kapal di kawasan tersebut, mengingat cukup tingginya risiko tubrukan kapal sebelum diberlakukannya TSS. Selain itu, diberlakukannya TSS juga menyebabkan peningkatan biaya untuk pelayaran *fast boat* yang beroperasi di Selat Lombok (Saputra, 2019).



Gambar 1. 1 Persimpangan Jalur Pelayaran di Selat Lombok  
Sumber: marinetraffic.com

Selain itu perlu diketahui bahwa menurut Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No 67 Tahun 2009 dan No 24 Tahun 2014, terdapat 2 kawasan konservasi perairan di wilayah Selat Lombok yaitu Pulau Gili (Gili Trawangan, Gili Aer, dan Gili Meno) dan Nusa Penida. Kedua kawasan tersebut menjadi salah satu kawasan wisata yang menyedot ratusan ribu wisatawan setiap tahunnya karena keragaman hayati laut yang dimilikinya. Selat Lombok terletak di *Coral Triangle*, sebuah area yang dikenal dengan kekayaan keanekaragaman hayati laut. Terjadinya tubrukan kapal di daerah tersebut dapat menyebabkan tumpahnya minyak, khususnya kapal berjenis *oil tanker*.

Berdasarkan data dari *International Tanker Owner Pollution Federation* pada tahun 2011 menunjukkan 64% tumpahan minyak yang terjadi diakibatkan kecelakaan kapal *tanker*. Data dari Dirjen Transportasi Laut Kemenhub, sepanjang tahun 2017 Selat Lombok dilewati 2921 kali oleh kapal *tanker*. Tumpahan minyak tersebut berpotensi mencemari kawasan konservasi Nusa Penida dan Pulau Gili. Berdasarkan hasil penelitian dari Lecklin, Ryoma, dan Kuikka (2011) tumpahan minyak menyebabkan efek yang luar biasa pada ekosistem laut. Dari sisi ekonomi, pembersihan tumpahan minyak membutuhkan biaya yang besar (Montewka, Weckstrom, & Kujala, 2013 pada Goerlandt *et al.*, 2013) dan akan berdampak besar bagi kegiatan perekonomian di kawasan tersebut khususnya akibat berkurangnya

wisatawan yang datang (Crotts & Mazanec, 2013 pada Goerlandt *et al.*, 2013). Sebagai kawasan yang perlu dijaga keanekaragaman hayati lautnya, perlu dilakukan analisis mengenai dampak diberlakukannya TSS terhadap peluang penyebaran tumpahan minyak di dua kawasan konservasi tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini meliputi:

1. Bagaimana risiko terjadinya tubrukan kapal setelah diberlakukannya TSS jika dibandingkan dengan kondisi saat ini?
2. Bagaimana persebaran tumpahan minyak yang terjadi apabila terjadi tubrukan kapal di selat Lombok setelah diberlakukannya TSS?
3. Bagaimana langkah mitigasi yang dapat dilakukan apabila nilai risiko tidak dapat diterima?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Untuk menghitung risiko terjadinya tubrukan kapal di Selat Lombok setelah diberlakukannya TSS dan dibandingkan dengan kondisi sebelum TSS berlaku
2. Untuk menganalisis persebaran tumpahan minyak yang terjadi apabila terjadi tubrukan kapal di selat Lombok setelah diberlakukannya TSS
3. Untuk menentukan langkah mitigasi yang tepat apabila frekuensi dan konsekuensi yang mungkin terjadi tidak dapat diterima

## 1.4 Manfaat

Tugas akhir ini memiliki manfaat untuk mengetahui dampak penerapan *Traffic Separation Scheme* terhadap kecelakaan kapal dan daerah konservasi di Selat Lombok, sehingga penerapannya dapat dievaluasi, serta sebagai saran tambahan untuk mengetahui langkah tepat untuk mengurangi risiko kecelakaan kapal dan persebaran tumpahan minyak yang berpotensi terjadi.

## 1.5 Batasan Masalah

Tugas akhir ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Keselamatan kapal yang dianalisis berdasarkan frekuensi tubrukan antar kapal
2. Data yang digunakan adalah data kapal yang melintasi Selat Lombok pada bulan Mei 2018
3. Dampak lingkungan yang dianalisis diakibatkan oleh tumpahan minyak dari *cargo tank* akibat tubrukan antar kapal yang melibatkan kapal tanker
4. Penilaian risiko berdasarkan standar DNV-GL; *Hazard Identification and Qualitative Risk Evaluation of the Navigational risk for the Omø Syd Wind Farm*.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Traffic Separation Scheme**

*Traffic Separation Scheme* atau biasa disingkat TSS adalah penentuan rute alur pelayaran yang bertujuan untuk memisahkan arus lalu lintas yang berlawanan dengan cara yang tepat dan dengan menetapkan jalur lalu lintas (imo.org). Dapat disimpulkan bahwa TSS merupakan suatu skema pemisahan jalur lalu lintas pelayaran kapal-kapal yang berlawanan arah dalam suatu alur pelayaran yang ramai dan sempit, misalnya alur pelayaran saat memasuki pelabuhan atau selat. TSS diatur dalam *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (COLREG 72) Part B Rule 10*. Alur pelayaran TSS dirancang dengan mengoptimalkan penggunaan kedalaman air yang tersedia dan area navigasi yang aman, dengan mempertimbangkan kedalaman air maksimum yang dapat dicapai sepanjang rute. Lebar alur harus memperhitungkan kepadatan lalu lintas, penggunaan area umum dan ruang laut yang tersedia. Terdapat beberapa metode yang dapat diterapkan dalam penetapan TSS, antara lain:

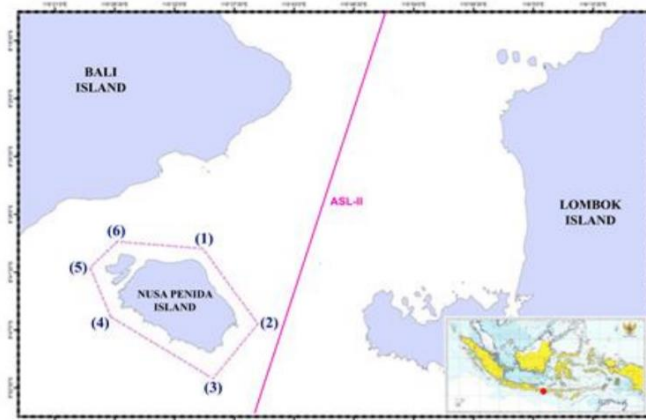
1. Pemisahan alur yang berlawanan dengan zona pemisah, atau garis pemisah apabila zona tidak memungkinkan.
2. Pemisahan alur yang berlawanan dengan halangan atau batasan dari benda yang terbentuk secara natural atau geografis.
3. Pemisahan alur dan lalu lintas lokal dengan menyediakan zona lalu lintas darat.
4. Divisi sektoral dari skema pemisahan alur yang berdekatan pada pendekatan ke titik fokus.
5. Rute alur pelayaran di titik fokus dan rute persimpangan dimana skema pemisah alur bertemu.

Berdasarkan COLREG 1972 *Rule 10*, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan oleh kapal ketika melewati TSS, yaitu:

1. Melewati alur pelayaran yang sudah ditetapkan dengan arah yang sesuai di jalur tersebut
2. Menjauhi sejauh mungkin garis atau zona pemisahan jalur
3. Memasuki atau meninggalkan alur pelayaran di ujung akhir jalur, namun ketika ingin memasuki atau meninggalkan alur dari salah satu sisi alur harus dilakukan dengan sudut sekecil mungkin dari arah alur yang dilewati
4. Kapal sebisa mungkin menghindari menyeberang alur pelayaran, namun ketika terpaksa untuk menyeberang harus dilakukan dengan mengarah sedekat mungkin dengan arah yang sesuai dengan arah alur.

5. Kapal tidak diperbolehkan untuk menggunakan zona alur darat ketika kapal tersebut dapat menggunakan alur pelayaran yang sesuai dengan aman dalam skema pemisahan alur yang berdekatan, kecuali:
  - a. Kapal tersebut memiliki panjang kurang dari 20 meter, kapal layar atau kapal untuk menangkap ikan
  - b. Kapal berada dalam rute dari atau menuju pelabuhan, instalasi lepas pantai, *pilot station* atau pun segala tempat yang berada dalam zona alur darat, atau untuk menghindari bahaya tiba-tiba.
6. Kapal selain kapal penyeberangan atau kapal yang memasuki atau meninggalkan alur tidak boleh memasuki zona pemisahan atau melewati garis pemisahan, kecuali:
  - a. dalam keadaan darurat untuk menghindari bahaya tiba-tiba
  - b. untuk melakukan penangkapan ikan dalam zona pemisahan.

Di Indonesia, sebelum ditetapkan TSS sudah ditetapkan mengenai Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI). Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) menurut UU no.6 Tahun 1996 adalah alur laut yang dilalui oleh kapal atau pesawat udara asing diatas alur laut tersebut, untuk melakukan pelayaran dan penerbangan secara normal. Alur-alur tersebut dijelaskan pada pasal 11 PP 37 tahun 2002, yang secara umum dibagi menjadi tiga daerah ALKI, yaitu : ALKI 1 melewati Selat Sunda, ALKI 2 melewati Selat Lombok, dan ALKI 3 melewati Laut Banda. Gambar 2.1 menunjukkan jalur ALKI 2 yang melewati Selat Lombok.



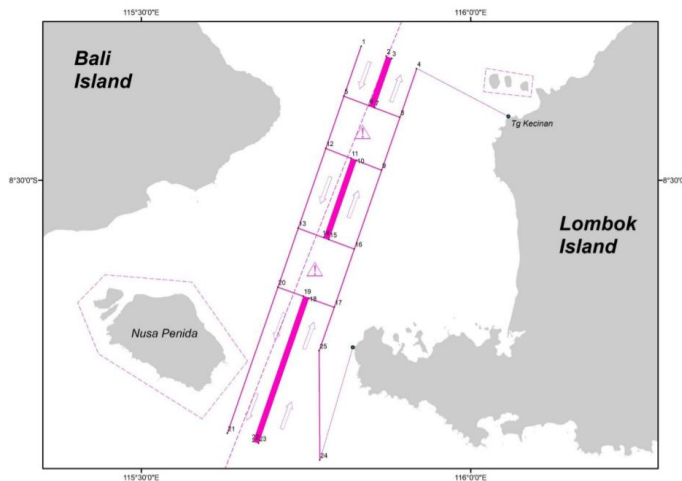
Gambar 2. 1 ALKI II Selat Lombok

Untuk mencegah terjadinya kecelakaan kapal di daerah-daerah tersebut, pemerintah mengeluarkan peraturan PP no 37 tahun 2002 dimana dalam pasal 7 mengatur : “Kapal asing sewaktu melewati alur laut wajib menaati peraturan internasional mengenai keselamatan pelayaran tentang pencegahan tubrukan kapal di

laut dan Skema pemisahan lintas,”. Melalui Peraturan Menteri Perhubungan No. 129 Tahun 2016, dijelaskan tentang sistem rute alur laut, termasuk didalamnya mengenai *Traffic Separation Scheme*. Dalam pasal 23 disebutkan bahwasannya TSS ditetapkan berdasarkan poin-poin berikut:

1. Kondisi lebar alur pelayaran
2. Dimensi kapal
3. Kepadatan lalu lintas berlayar
4. Bahaya pelayaran
5. Sifat-sifat khusus kapal
6. Alur tertentu
7. Setiap alur yang biasanya digunakan untuk navigasi internasional

Melalui sidang *International Maritime Organization* (IMO) pada 16-25 Januari 2019 telah disetujui dan disahkan TSS di Selat Sunda dan Selat Lombok. TSS tersebut selanjutnya diadopsi dalam sidang *IMO Maritime Safety Committee* pada Juni 2019. Pada sidang tersebut, Indonesia mempertahankan proposal tentang TSS pada Selat Sunda dan Selat Lombok. Tujuannya adalah untuk mengamankan jalur lalu lintas pelayaran di dua selat tersebut dan menjawab kebutuhan dari pasal 7 PP no.37 tahun 2002 tersebut. Dari sidang ini, Indonesia menjadi negara kepulauan pertama yang memiliki TSS. Gambar 2.2 menunjukkan alur TSS di Selat Lombok. Sebelumnya, Indonesia telah memiliki sistem TSS untuk Selat Malaka. Namun di wilayah tersebut TSS dimiliki oleh 3 negara yaitu Indonesia, Malaysia, serta Singapura.



Gambar 2. 2 *Traffic Separation Scheme* di Selat Lombok

Sumber: Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI Angkatan Laut

## 2.2 Selat Lombok

Selat Lombok adalah selat yang terletak di antara Pulau Bali dan Pulau Lombok dan menghubungkan Laut Jawa dengan Samudra Hindia. Selat ini memiliki panjang 60 km dengan pembukaan selebar 18 km di bagian selatan dan 40 km di pembukaan utara. Selat Lombok adalah salah satu wilayah *throughflow* di Indonesia dimana terjadi pertukaran air laut antara Samudera Pasifik dengan Samudera Hindia. Selat Lombok juga menandakan Garis Wallace yaitu lintasan divisi biogeografikal antara fauna Indo-Malaysia dan jenis fauna yang sangat berbeda yaitu Australasia. Selat Lombok terletak di *Coral Triangle*, sebuah area yang dikenal dengan kekayaan keanekaragaman hayati laut yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Selat Lombok merupakan alternatif jalur pelayaran internasional yang menghubungkan Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Berdasarkan Undang-undang No. 6 tahun 1996 dan Peraturan Pemerintah no. 37 tahun 2002, Selat Lombok termasuk dalam Alur Laut Kepulauan Indonesia II (ALKI II).



Gambar 2. 3 Peta Coral Triangle

Sumber: WWF

Berdasarkan data Kementerian Perhubungan yang dikutip dari situs resmi Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi ([maritime.go.id](http://maritime.go.id)), pada tahun 2018 jumlah kapal yang melewati Selat Lombok dapat mencapai hingga 36.773 kapal. Sebagai selat yang memiliki lebar paling sempit pada ALKI II, jumlah tersebut cukup tinggi. Karenanya, ditetapkanlah TSS sebagai langkah pengaturan lalu lintas kapal untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan yang dapat merugikan berbagai pihak. Penyebab padatnya arus pelayaran di Selat Lombok antara lain karena perairan tersebut merupakan titik temu berbagai kapal dengan rute yang berbeda-beda. Kapal dari Samudera Hindia menuju Selat Makassar yang melewati ALKI II, ataupun

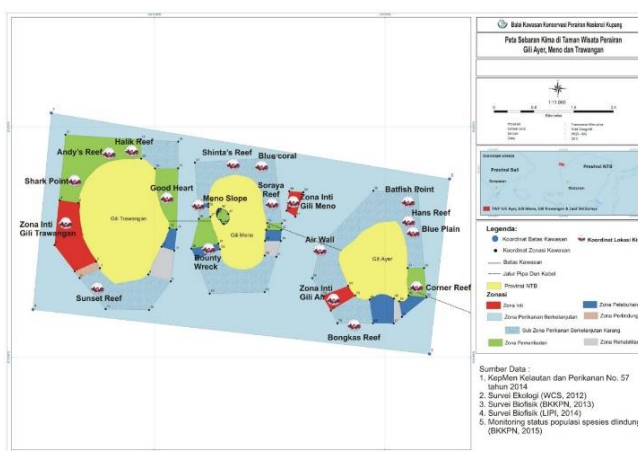
sebaliknya, akan melewati perpotongan rute dengan kapal penyeberangan dari Pulau Lombok ke Pulau Bali ataupun sebaliknya.

## 2.3 Kawasan Konservasi

Berdasarkan SK Dirjen Pelestarian Hutan dan Perlindungan Alam No. 129 tahun 1996, Kawasan Konservasi merupakan kawasan yang ditetapkan sebagai kawasan suaka alam, kawasan pelestarian alam, taman buru dan hutan lindung. Kawasan konservasi adalah salah satu cara yang ditempuh pemerintah untuk melindungi keanekaragaman hayati dan ekosistemnya dari kerusakan dan kepunahan. Di Indonesia, daerah konservasi diatur dalam Undang-Undang No. 5 Tahun 1990 tentang konservasi Sumber Daya Alam hayati dan Ekosistemnya. Sumber daya kelautan tersebut dilindungi oleh otoritas lokal, negara bagian, teritorial, pribumi, regional, nasional, atau internasional dan berbeda secara substansial antara dan antar negara; variasi ini mencakup keterbatasan yang berbeda pada pengembangan, praktik memancing, musim penangkapan ikan dan batas penangkapan, tambatan dan larangan menghapus atau mengganggu kehidupan laut. Dalam beberapa situasi, wilayah konservasi juga memberikan pendapatan bagi negara karena digunakan sebagai kawasan pariwisata.

### 2.3.1 Kawasan Konservasi Kepulauan Gili

Berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 67 tahun 2009 Kepulauan Gili yang terdiri dari Gili Ayer, Gili Meno dan Gili Trawangan ditetapkan sebagai Kawasan Konservasi Perairan dan Taman Wisata Perairan. Kepulauan Gili memiliki luas potensi terumbu karang mencapai 236.25 ha dengan tipe terumbu karang tepi (*fringing reef*). Data dari Dinas Pariwisata Kabupaten Lombok Utara, pada tahun 2018 kunjungan wisatawan ke Kepulauan Gili mencapai 474.298 wisatawan. Kawasan Konservasi Kepulauan Gili dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Daerah Konservasi Kepulauan Gili

Sumber: kkp.go.id



pada sisi kapal, memiliki risiko tinggi untuk kehilangan stabilitas dan berada dalam bahaya tenggelam. Berdasarkan COLREG, terdapat 3 tipe tubrukan antar kapal yang mungkin terjadi:

1. *Head-on collision*

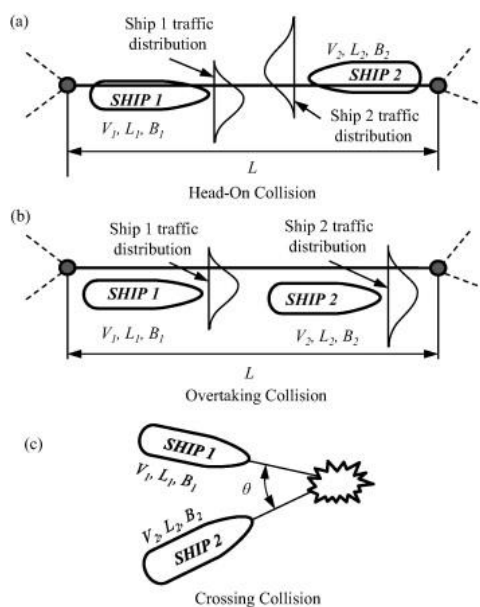
Yaitu keadaan dimana tubrukan terjadi ketika dua kapal mendekat dengan posisi saling berhadapan dalam arah yang berlawanan sehingga tubrukan terjadi di bagian haluan kapal. Kejadian ini sering terjadi di tempat yang lalu lintas pelayarannya padat.

2. *Crossing collision*

Yaitu tubrukan yang terjadi ketika dua atau lebih kapal bertemu pada sebuah persimpangan pada waktu yang sama, sehingga salah satu kapal menubruk kapal lain di bagian *midship*-nya. Untuk menghindari situasi ini salah satu kapal harus memberi tanda pada kapal lain untuk lewat terlebih dahulu.

3. *Overtaking collision*

Yaitu keadaan dimana kapal berjalan berdekatan pada arah yang sama namun dalam kecepatan berbeda dengan maksud untuk menyalip. Untuk menghindari situasi ini, kapal yang lebih lambat harus memberikan jalan kepada kapal yang lebih cepat agar tidak terjadi tubrukan. Kejadian ini dapat terjadi pada area pelayaran yang padat tanpa adanya rekomendasi kecepatan aman.



Gambar 2. 6 Tipe Tubrukan Kapal

Sumber: *Probabilistic ship collision risk and sustainability assessment considering risk attitudes*, Yu Dong; Dan M. Frangopol

### 2.4.1 Penyebab Kecelakaan Kapal

Terdapat beberapa penyebab terjadinya kecelakaan kapal, antara lain adalah sebagai berikut (Akten, 2006 pada Ceyhun, 2014):

1. *Human Error*

*Human error* meliputi segala hal yang berhubungan dengan kesalahan manusia, diantaranya adalah kurangnya pengetahuan dan pengalaman, ketidakmampuan teknis, kurang memperhatikan prosedur dan peraturan, misinterpretasi informasi dari radar, kelelahan, dan berbagai hal lainnya yang berhubungan dengan interaksi manusia dengan kapal.

2. Spesifikasi kapal

Spesifikasi kapal adalah faktor yang berhubungan dengan kecelakaan kapal karena mempengaruhi dimensi serta kemampuan kapal. Spesifikasi tersebut antara lain panjang kapal, tinggi kapal, lebar kapal, area kapal yang terkena angin, *trim* pada bagian buritan ataupun anjungan kapal, tipe kapal, serta kemampuan kapal untuk bermanuver.

3. Karakteristik dari rute pelayaran

Karakteristik ataupun kondisi dari rute pelayaran dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan, termasuk diantaranya adalah kedalaman serta lebar dari alur, perbedaan kedalaman pada rute pelayaran, volume lalu lintas yang padat, area untuk maneuver yang terbatas, keberadaan karang atau bangkai kapal di dalamnya, ataupun *nautical chart* yang kurang akurat.

4. Kondisi Alam

Kondisi alam yang dapat menyebabkan kecelakaan kapal antara lain kecepatan serta arah dari angin dan arus, tinggi dan arah gelombang, kabut, hujan, atau salju yang menyebabkan jarak pandang terbatas, badai, kegelapan, ataupun segala hal yang berefek pada kapal dan pengontrolan kapal.

5. Faktor yang berhubungan dengan kargo

Barang berbahaya ataupun kargo yang besar dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan kapal. Selain itu, karakteristik bahaya dari kargo dan peletakan kargo di kapal juga berpengaruh pada keselamatan kapal tersebut.

6. Kegagalan teknis

Kegagalan ataupun kerusakan teknis seperti korosi, kegagalan kemudi, kegagalan mesin, atau kegagalan lainnya pada instalasi di darat seperti kerusakan pada *navigational aid*.



### 2.4.2 Penilaian Risiko Tubrukan Kapal

Penilaian risiko dilakukan untuk memperkirakan suatu risiko dari suatu situasi yang bida didefinisikan dengan jelas, atau memperkirakan potensi dari suatu ancaman atau bahaya termasuk potensi terjadinya tubrukan kapal. Secara sistematis, risiko tubrukan kapal dapat dihitung dengan formula berikut (Fujii, 1971):

$$R = N \times C \quad (2.1)$$

Dimana,

$N$  = Frekuensi terjadinya tubrukan (*frequency*)

$C$  = Konsekuensi yang ditimbulkan dari tubrukan (*concequences*)

### 2.4.3 IWRAP Theory

Pada tahun 1974, Fujii dan juga Macduff membuat pendekatan baru yang lebih sistematis dan didasarkan oleh risiko untuk analisis tubrukan kapal dan kapal kandas. Pendekatan tersebut mendasari terbentuknya aplikasi IWRAP. IWRAP (IALA *Waterway Risk Assessment Programme*) Mk II adalah perangkat lunak yang berguna untuk menghitung frekuensi tubrukan dengan pemodelan baik pada *head-on*, *crossing*, ataupun *overtaking* yang didasarkan pada lalu lintas pelayaran dan rute geometris. Perhitungan frekuensi pada perangkat lunak ini didasarkan pada formula yang dirumuskan oleh Fujii dan Macduff. Perhitungan frekuensi tubrukan dapat dihitung dengan rumus berikut,

$$N_O = N_G \times P_C \quad (2.2)$$

Dimana,

$N_O$  = Frekuensi tubrukan

$N_G$  = *Geometric Number*

$P_C$  = *Causation factor*

*Geometric Number* adalah angka geometris yang menunjukkan kandidat tubrukan apabila manuver untuk menghindari tidak dilakukan (Khaled *et al.*, 2014). *Causation factor* (faktor penyebab) adalah probabilitas terjadinya kegagalan untuk menghindari kecelakaan ketika kapal tersebut berada pada *collision course*. Dengan kata lain, akan terjadi kecelakaan sejumlah  $N_G$  apabila tidak dilakukan manuver untuk menghindari tubrukan (Kim *et al.*, 2011).

### 2.4.4 Head-On Collision

*Head On Collision* merupakan salah satu tipe tubrukan kapal dimana tubrukan terjadi di bagian haluan antara 2 kapal yang bergerak berlawanan arah. Berdasarkan

IWRAP Mk II *Working Document: Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies* oleh Friis-Hansen (2008), nilai dari *geometric number* untuk kapal yang berlayar sepanjang segmen rute dapat dihitung sebagai berikut:

$$N_G^{head-on} = Lw \sum_i P_{Gi,j}^{head-on} \frac{V_{ij}}{V_i V_j} (Q_i \cdot Q_j) \quad (2.3)$$

Dimana,

$N_G$  = Nilai *collision candidate*

$Lw$  = Panjang segmen (m)

$P_G$  = peluang terjadinya tubrukan

$V_i$  = kecepatan kapal pada rute I (m/s)

$V_j$  = kecepatan kapal pada rute j (m/s)

$V_{ij}$  = Kecepatan relatif (m/s)

$Q_i$  = frekuensi kapal setiap tahun di rute i

$Q_j$  = frekuensi kapal setiap tahun di rute j

Untuk menghitung  $P_{Gi,j}^{head-on}$  dapat digunakan rumus berikut:

$$P_{Gi,j}^{head-on} = \phi \left( \frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) - \phi \left( -\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \quad (2.4)$$

Dimana,

$P_{Gi,j}$  = peluang terjadinya tubrukan

$\phi$  = fungsi distribusi normal standar

$\mu$  = jarak kapal

$\mu_{ij}$  = rata-rata jarak pelayaran antara 2 kapal

$\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}$ ; standar deviasi dari distribusi gabungan

$B_{ij} = \frac{B_i - B_j}{2}$ ; rata-rata lebar kapal

#### 2.4.5 Overtaking Collision

*Overtaking Collision* adalah skenario tubrukan yang dapat terjadi ketika terdapat satu kapal yang memiliki kecepatan lebih tinggi ingin mendahului satu kapal lain dalam suatu jalur yang sama. Besarnya frekuensi *overtaking collision* dipengaruhi

oleh faktor yang sama dengan *Head-on collision*. Untuk menghitung nilai *collision candidate* dapat digunakan rumus yang sama dengan *head-on collision* yaitu rumus (2-3). Kecepatan relatif dapat dihitung menggunakan formula  $V_{ij} = V_i - V_j$ , dan apabila  $V_{ij} < 0$  maka kapal  $i$  dinyatakan tidak dapat mendahului kapal  $j$ . Nilai kandidat kapal yang berpotensi mengalami tubrukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{G_{i,j}}^{overtaking} = P \left[ y_i - y_j < \frac{B_i + B_j}{2} \right] - P \left[ y_i - y_j < -\frac{B_i + B_j}{2} \right] \quad (2.5)$$

#### 2.4.6 Crossing Collision

*Crossing Collision* adalah skenario tubrukan yang terjadi ketika terdapat satu kapal menubruk satu kapal lainnya yang memiliki arah gerak berpotongan dengan alur pelayarannya. Hal yang mempengaruhi terjadinya tubrukan ini adalah sudut ( $\theta$ ) yang terbentuk antara dua buah jalur pada sebuah persimpangan. Nilai kandidat kapal yang berpotensi mengalami tubrukan dapat dihitung sebagai berikut.

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_{ij}}{Q_{i,Qj}} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \text{ untuk sudut sebesar } 10^0 < [\theta] < 270^0 \quad (2.6)$$

Kecepatan relatif ( $V_{ij}$ ) dari kedua kapal dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{ij} = \sqrt{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i \cdot V_j \cdot \cos \theta} \quad (2.7)$$

$D_{ij}$  yang melambangkan diameter dari area tubrukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$D_{ij} = \frac{L_i \cdot V_j + L_j \cdot V_i}{V_{ij}} \sin \theta + B_j \left\{ 1 - \left( \sin \theta \cdot \frac{V_i}{V_{ij}} \right)^2 \right\} + B_i \left\{ 1 - \left( \sin \theta \cdot \frac{V_j}{V_{ij}} \right)^2 \right\} \quad (2.8)$$

Dimana  $L_i$  adalah panjang kapal di  $i$  dan  $L_j$  adalah panjang kapal di  $j$ .

#### 2.4.7 Perhitungan Causation Probability

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, *Causation Probability* atau *causation factor* (faktor penyebab) adalah probabilitas terjadinya kegagalan untuk menghindari kecelakaan ketika kapal tersebut berada pada *collision course*. Menurut Friis-Hansen (2008) hampir tidak mungkin untuk merumuskan analisis risiko secara penuh yang mempertimbangkan semua aspek yang relevan dengan baik. Pada perangkat lunak IWRAP, telah ditetapkan *default number* dari *causation factor* untuk setiap skenario tubrukan yang mungkin terjadi. Nilai tersebut didapatkan dari arus lalu lintas di Jepang dengan mempertimbangkan visibilitas, kegelapan, arus, dan angin (Friis-Hansen, 2008). Tabel 1.3 menunjukkan nilai *causation probability* dari beberapa literatur, dimana nilai tersebut adalah nilai yang general untuk area laut tertentu ataupun sesuai dengan tipe kapal atau kondisi tertentu.

Tabel 2. 1 Nilai causation probability dari berbagai referensi (Cucinotta, 2017)

Lokasi	Nilai Causation Probability untuk tubrukan antar kapal		
	Pc [ $\times 10^{-4}$ ]	Keterangan	Referensi
Selat di Jepang	0,49	Head-on	(Fujii <i>et al.</i> , 1971)
Selat di Jepang	1,23	Crossing	(Fujii <i>et al.</i> , 1971)
Selat di Jepang	1,1	Overtaking	(Fujii <i>et al.</i> , 1971)
Selat Dover	5,18	Head-on, tanpa pemisahan alur	(Mcduff, 1974)
Selat Dover	3,15	Head-on, dengan pemisahan alur	(Mcduff, 1974)
Selat Dover	1,11	Crossing, tanpa pemisahan alur	(Mcduff, 1974)
Selat Dover	0,95	Crossing, dengan pemisahan alur	(Mcduff, 1974)

Namun, *causation factor* dapat mempunyai nilai yang berbeda di setiap tempat dikarenakan pengaruh dari berbagai faktor di daerah tersebut. Untuk menentukan sendiri *causation factor* dari sebuah skenario tubrukan terdapat dua pendekatan yang dapat dilakukan, yaitu pendekatan berdasarkan skenario dan pendekatan sintesis. Pendekatan berdasarkan skenario dilakukan berdasarkan data statistik kapal yang melewati daerah tersebut dan kejadian tubrukan yang terjadi. Untuk pendekatan sintesis, beberapa metode yang dapat digunakan antara lain adalah:

#### A. Bayesian Network

*Bayesian Network* (BN) adalah representasi grafis berupa gabungan dari probabilitas fungsi distribusi yang terdiri lebih dari satu set variabel. Friis-Hansen (2008) menyarankan penggunaan BN sebagai alat bantu untuk pemodelan dan analisa risiko. Struktur jaringan direpresentasikan sebagai *Directed Acyclic Graph* (DAG) di mana setiap node berkorespondensi dengan variabel acak dan setiap *edge* menunjukkan hubungan ketergantungan antar variabel-variabel yang terhubung (Charles River Analytics, Inc, 2004 dalam Marlita, Adiwijaya, & Kurniati, 2013). Struktur *Bayesian Network* terdiri dari 2 bagian, yaitu:

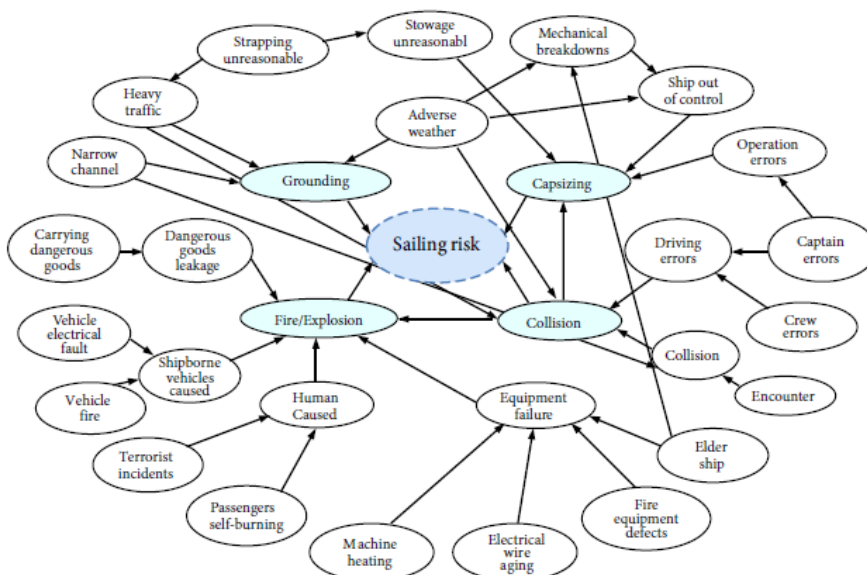
##### 1. Directed Acyclic Graph (DAG)

DAG terdiri dari dari *nodes* dan busur-busur atau biasa disebut *arcs* yang menghubungkan satu *node* dengan yang lainnya. Umumnya, nilai yang digunakan pada *node* tersebut adalah nilai diskrit. Dikutip dari Kjaerluff dan Madsen, 2013 terdapat 3 jenis dari *node* diskrit yaitu *Boolean*, *ordered*, dan *integral*. Nilai dari *Boolean nodes* adalah nilai biner, antara 'True' atau 'False'. Untuk nilai pada *ordered nodes*, dapat berupa beberapa tingkatan nilai seperti 'High', 'Medium', atau 'Low'. Pada *nodes integral*, dapat mencapai ribuan nilai. *Arcs* merepresentasikan relasi ketergantungan antara dua *node*. *Node-node* yang

dihubungkan dengan *arc* disebut dengan *node* orang tua dan *node* anak. Satu *node* anak dapat memiliki beberapa *node* orang tua yang berarti *node* tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor. Satu *node* orang tua juga dapat memiliki beberapa *node* anak yang berarti faktor tersebut dapat mempengaruhi beberapa faktor lainnya.

## 2. Conditional Probability Table (CPT)

CPT merepresentasikan dependensi probabilitas pada *Bayesian network* dengan *node* diskrit. Probabilitas tersebut berdasarkan informasi *prior*. Pada CPT terdapat status dari tiap variable yang merupakan suatu nilai yang bisa diambil oleh *node*. Gambar 2.7 menunjukkan contoh penggunaan *Bayesian Network* pada analisis risiko pelayaran.



Gambar 2. 7 Contoh model Bayesian Network pada risiko pelayaran

Sumber: *Modeling the Sailing Risk of RoPax Ships with Bayesian Network*, Zeng (2014).

## B. Fault Tree Analysis (FTA)

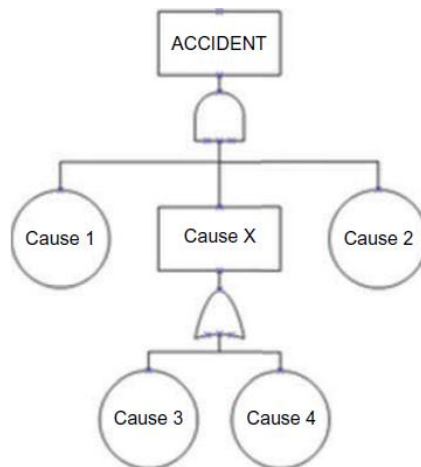
*Fault Tree Analysis* adalah metode yang banyak digunakan untuk mengestimasi *causation probability*. *Fault Tree* adalah ilustrasi grafis dari kombinasi logis penyebab terjadinya kejadian atau peristiwa yang tidak diinginkan (Ringdhal, 2005 pada Ugurlu *et al.*, 2013). Pada *faulty tree*, kecelakaan dianggap sebagai *root node*. Dari *root node*, semua penyebab kecelakaan yang memungkinkan dicatat sebagai *branches* dan selanjutnya pohon baru dapat dihasilkan dari setiap *node* sebagai penyebab dari *node* tersebut. Nilai peluang dari

setiap *node* didapat dari data historis atau estimasi ahli (pada banyak kasus). Gambar 2.8 menunjukkan contoh FTA pada analisis penyebab kecelakaan. Kekurangan dari FTA adalah bahwa probabilitas pada setiap node harus diestimasi secara langsung dan karenanya memiliki varian yang besar (Rahman, 2014). Elemen dasar dari sebuah *fault tree analysis* adapat dibagi menjadi kejadian terakhir, kejadian dasar, kejadian tengah, dan gerbang logika (Antonio & Soares, 2006).

Pengerjaan FTA pada kecelakaan kapal meliputi dua tahap, yaitu pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pada tahap pertama yaitu tahap pendekatan kualitatif, penyebab kecelakaan telah diklasifikasikan, nilai peluang telah ditentukan, dan hubungan logika diantara penyebab-penyebab telah dibentuk. Pada tahap kedua yaitu tahap pendekatan kuantitatif, *cut set* minimum telah ditentukan, kombinasi kejadian kecelakaan telah diperiksa, dan tingkat signifikansi peristiwa awal yang menyebabkan terjadinya kecelakaan telah diajukan (Ugurlu *et al.*, 2013).

Dibandingkan dengan *Bayesian Network*, FTA dan ETA memiliki beberapa kekurangan, diantaranya adalah (Friis-Hansen, 2008):

1. Pada FTA, akan sulit untuk memasukkan ketergantungan kondisional dan *mutually exclusive events*.
2. Ukuran ETA akan semakin besar secara eksponensial sesuai jumlah variabel
3. Jika analisis harus memasukkan mekanisme kegagalan primer, maka model keseluruhan, yang menggabungkan *fault tree* dan *event tree*, umumnya menjadi sangat besar sehingga hampir tidak mungkin bagi pihak ketiga (dan terkadang bahkan untuk pihak pertama) untuk memvalidasi model tersebut.



Gambar 2. 8 Contoh Fault Tree pada Kejadian Kecelakaan

Sumber: *Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method*, Ugurlu *et al.*, 2013

## 2.5 Tumpahan Minyak

Terjadinya tubrukan kapal menyebabkan potensi bahaya lainnya yang dapat merusak lingkungan sekitarnya, yaitu tumpahan minyak. Kapal berpotensi mengalami kebocoran pada lambung, sehingga memungkinkan minyak baik dari bahan bakar ataupun muatan pada kapal tanker tumpah dan tersebar di laut. Tumpahan minyak dapat menyebabkan berkurangnya populasi biota laut yang signifikan (Lecklin, Ryoma, & Kuikka, 2011 pada Goerlandt *et al.*, 2013). Dari sisi ekonomi, pembersihan tumpahan minyak membutuhkan biaya yang besar (Montewka, Weckstrom, & Kujala, 2013 pada Goerlandt *et al.*, 2013) dan akan berdampak besar bagi kegiatan perekonomian di kawasan tersebut khususnya akibat berkurangnya wisatawan yang datang (Crotts, & Mazanec, 2013 pada Goerlandt *et al.*, 2013). Masuknya substansi minyak ke laut dapat terjadi karena berbagai macam hal, namun informasi dari berbagai sumber menunjukkan bahwa kecelakaan kapal mendominasi penyebab tumpahan minyak di laut. Menurut Ceyhun (2014) hasil investigasi tumpahan minyak berdasarkan jumlah kejadian dan kuantitas minyak, 50% tumpahan minyak besar (diatas 700 ton) terjadi akibat kapal yang sedang dalam perjalanan di laut lepas, dengan lebih dari setengah angka tersebut terjadi akibat tubrukan atau kandasnya kapal. Data dari ITOPF pada tahun 2011 menunjukkan 64% tumpahan minyak yang terjadi diakibatkan kecelakaan kapal *tanker*. Tumpahan minyak dapat berdampak pada lingkungan dengan salah satu atau beberapa mekanisme berikut (Ceyhun, 2014):

1. Menutupi secara fisik sehingga berdampak pada fungsi fisiologis
2. Racun kimiawi menyebabkan timbulnya dampak mematikan atau menyebabkan pelemahan fungsi sel
3. Perubahan ekologis, utamanya disebabkan oleh matinya organisme inti dari sebuah komunitas dan pengambilalihan habitat oleh spesies oportunistis
4. Efek tidak langsung, seperti hilangnya habitat atau tempat berlindung dan eliminasi spesies ekologis yang penting

Salah satu kasus tumpahan minyak dari *tanker* yang terkenal adalah pada kasus Exxon Valdez yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Dikutip dari study.com, kejadian yang terjadi pada tahun 1989 tersebut menumpahkan 250.000 barel minyak mentah ke Teluk Alaska, mengakibatkan sedikitnya 250.000 ekor burung laut, 2.800 ekor berang-berang, 247 ekor elang, 300 ekor anjing laut, dan 22 ekor paus pembunuh mati beberapa saat setelah minyak tersebut tumpah. Bahkan, sisa-sisa minyak yang tumpah tersebut masih dapat ditemukan di sekitar pantai puluhan tahun setelah kejadian terjadi.



*Gambar 2. 9 Tumpahan minyak akibat Exxon Valdez*  
Sumber: cnn.com

### **2.5.1 Persebaran Tumpahan Minyak**

Kejadian seperti pada Exxon Valdez dan Deepwater Horizon telah menunjukkan potensi kerusakan alam yang disebabkan oleh manusia. Dalam upaya untuk mencegah atau menghindari kerusakan sumber daya alam yang berharga di masa depan, berbagai riset telah dilakukan untuk mempelajari proses yang mempengaruhi distribusi pencemaran lingkungan akibat tumpahan minyak (Samuels, Amstutz, Bahadur, & Ziemniak, 2013). Karena bahaya yang dapat ditimbulkan oleh tumpahan minyak di lingkungan laut, perlu dilakukan permodelan dan perhitungan untuk menghitung persebaran tumpahan tersebut.

Dengan mengetahui peluang persebaran tumpahan minyak, dapat diketahui pula apakah kecelakaan kapal *tanker* pada sebuah alur pelayaran akan membahayakan lingkungan sekitar khususnya daerah konservasi yang dilindungi. Persebaran minyak dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut, yaitu (Hui, 2019):

1. Kecepatan dan arah angin
2. Kecepatan dan arah arus laut
3. Gelombang laut
4. Peleburan partikel minyak dengan air
5. Penguapan minyak ke udara
6. Kecenderungan lapisan minyak untuk menyebar walaupun pada air yang tenang

Untuk melakukan permodelan tumpahan minyak, dapat dilakukan dengan metode matematis ataupun dengan model komputerisasi. Menurut Hui pada tahun 2019, perhitungan matematis khususnya pada *crude oil* akan cukup menyulitkan dikarenakan minyak tersebut berupa campuran dari berbagai macam zat kimia



dengan sifatnya masing-masing. Dikarenakan adanya peluang terjadinya reaksi kimia antar komponen yang berbeda, ditambah dengan penguapan dan peleburan, *crude oil* mengalami evolusi pada saat penyebaran dan sifat yang dimilikinya seperti kerapatan dan kekentalan dapat berubah sepanjang waktu dan ruang.

Salah satu bidang penelitian yang dilakukan adalah mengenai *Langrangian Transport* atau permodelan lintasan yang terkomputerisasi. Semua bentuk komputerisasi permodelan lintasan tumpahan minyak yang tersedia memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Berdasarkan NOAA pada tahun 2002 dan Beegle-Krause pada tahun 2001, pengembangan pada *General NOAA Operational Modeling Environment* (GNOME) menghasilkan model komprehensif yang mudah untuk diatur serta telah divalidasi menggunakan hasil observasi dari berbagai peristiwa tumpahan minyak.

### 2.5.2 GNOME

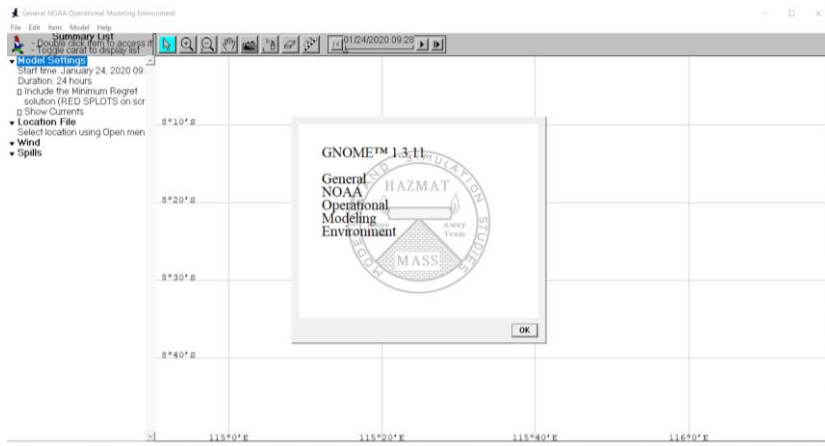
*General NOAA Operational Modeling Environment* (GNOME) adalah perangkat lunak yang dirancang untuk melakukan pemodelan lintasan polutan di lingkungan laut yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Input yang dibutuhkan untuk perangkat lunak ini antara lain peta, garis pantai dan deskriptor garis pantai, batimetri, model sirkulasi numerik, simulasi klimatologis statistik, lokasi dan jenis bahan yang tumpah, pengamatan oseanografi dan meteorologi, serta data lingkungan lainnya. Output dari GNOME terdiri dari grafik, video, dan data lainnya untuk pasca-pemrosesan dalam sistem GIS (Beegle & Krause, 2001 pada Samuels *et al.*, 2013). Gambar 2.10 menunjukkan tampilan awal dari *software* tersebut.

Dikutip dari *GNOME User's Manual*, GNOME memiliki beberapa fungsi, yaitu:

1. Memprediksi bagaimana angin, arus, dan hal-hal lainnya dapat memindahkan menyebarkan tumpahan minyak di laut
2. Mempelajari bagaimana lintasan minyak yang terprediksi dipengaruhi oleh ketidakpastian pada observasi dan prakiraan arus maupun angin
3. Melihat bagaimana tumpahan minyak diprediksi untuk berubah secara kimiawi maupun fisik selama tumpahan tersebut berada di permukaan air

GNOME dapat dijalankan dalam mode *batch* untuk menghasilkan banyak lintasan di bawah variabel kondisi lingkungan. Output dari proses *batch* ini dapat diteruskan ke perangkat lunak *Trajectory Analyst Planner* (TAP) yang dirancang untuk menginvestigasi peluang tumpahan minyak akan bergerak dan menyebar dengan cara tertentu dalam area tertentu (Samuels *et al.*, 2013). Dengan perangkat lunak ini, persebaran minyak yang mengapung di laut, mencapai pantai, dan sudah menguap atau terdispersi dapat diestimasi.

Untuk data yang diperlukan, NOAA membuat perangkat *online* yaitu *GNOME Online Oceanographic Data Server* (GOODS) yang dapat digunakan untuk mengakses peta dasar dan mengetahui arus laut serta angin dari berbagai model dan sumber data. Pengguna dapat mengunduh berkas yang diperlukan dengan format yang dapat langsung dibaca oleh GNOME.



Gambar 2. 10 Tampilan Awal Software GNOME

## 2.6 Penelitian Sebelumnya

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian perihal penilaian risiko terjadinya tubrukan kapal dan kapal kandas serta pemodelan tumpahan minyak di Selat Lombok oleh Avesina (2018). Pada penelitian tersebut, perhitungan frekuensi tubrukan dilakukan dengan perhitungan numerik dan validasi dengan *software* IWRAP berdasarkan data kapal yang melewati Selat Lombok pada tahun 2016 dengan alur pelayaran ALKI II (TSS belum berlaku). Nilai *causation probability* yang digunakan pada penelitian tersebut berdasarkan *default number* dari IWRAP. Nilai frekuensi tubrukan yang didapatkan pada penelitian tersebut tercantum pada Tabel 2.2 dengan nilai error pada tabel tersebut didapatkan dari perbedaan antara hasil perhitungan manual dengan hasil dari pemodelan *software* IWRAP. Namun, penelitian tersebut tidak membandingkan secara langsung konsekuensi tubrukan berupa tumpahan minyak dengan frekuensi tubrukan kapal tanker yang menjadi penyebab utamanya. Berdasarkan hasil akhir penelitian, Avesina (2018) menyimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya jumlah kapal yang melintas setiap tahunnya, peluang terjadinya tubrukan juga akan meningkat dan untuk mengatasi hal tersebut, Skema Pemisahan Lalu Lintas (TSS) dapat diterapkan di Selat Lombok dengan harapan dapat mengurangi peluang terjadinya tubrukan dan kandas, namun perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait penerapannya.

*Tabel 2. 2 Hasil Perhitungan Frekuensi Tubrukan sebelum TSS*

No	Tipe Tubrukan	Nilai frekuensi	Nilai error
1	<i>Head on collision</i>	0,0405	1,3%
2	<i>Overtaking collision</i>	0,004173	0,9%
3	<i>Crossing collision</i>	0,001791	0,94%

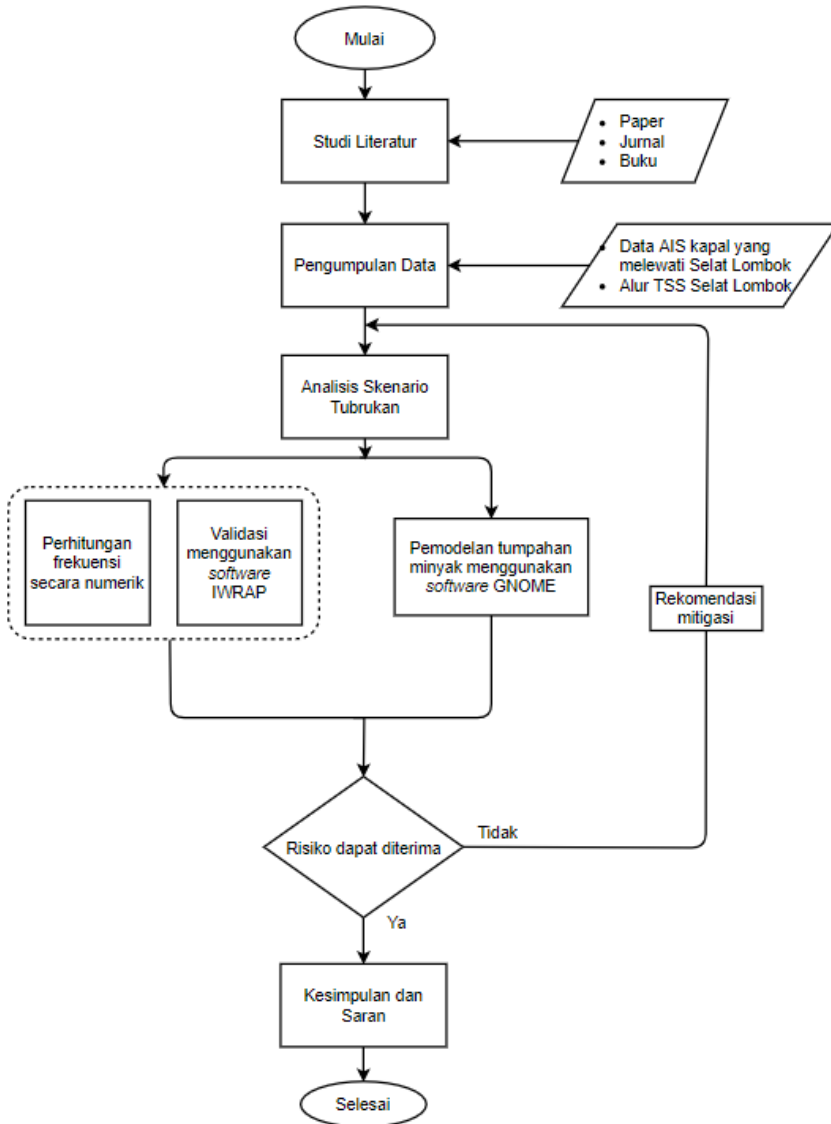
Sumber: Penilaian Risiko Terjadinya Tubrukan Kapal & Kapal Kandas dan Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak di Selat Lombok, Avesina M. A., 2018

Pada penelitian ini, frekuensi tubrukan juga dihitung secara numerik. Namun, yang akan dihitung adalah frekuensi tubrukan menggunakan data kapal yang melintasi Selat Lombok pada tahun 2018 dengan alur pelayaran sebelum dan sesudah TSS diberlakukan. Untuk membandingkan dengan konsekuensi berupa potensi tumpahan minyak, akan digunakan frekuensi tubrukan yang hanya melibatkan kapal *tanker*.

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

### BAB III METODE PENELITIAN

Dalam menyusun skripsi ini, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan. Tahapan tersebut diperlukan agar proses yang dilakukan terstruktur sehingga memudahkan pengerjaan. Tahapan tersebut dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Flowchart Pengerjaan

### 3.1 Perumusan Masalah

Tahapan awal dalam merumuskan tugas akhir ini adalah dengan merumuskan masalah dengan mengidentifikasi permasalahan yang akan diselesaikan pada *output* skripsi ini. Identifikasi masalah dapat dilakukan dengan mencari informasi melalui berbagai media seperti berita, jurnal ilmiah, dan berbagai sumber lainnya. Selat Lombok sebagai alur pelayaran internasional merupakan salah satu lokasi diberlakukannya *Traffic Separation Scheme* di Indonesia. Di wilayah tersebut, terdapat beberapa kawasan konservasi perairan untuk menjaga keanekaragaman hayati yang dimilikinya. Oleh karena itu, permasalahan yang diambil dan dijadikan topik pada tugas akhir ini adalah “Analisis Dampak Penerapan *Traffic Separation Scheme* terhadap Keselamatan Kapal di Selat Lombok dan Kawasan Konservasi Perairan Nusa Penida dan Pulau Gili”

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk menggali informasi lebih dalam mengenai topik yang diambil dengan tujuan sebagai data serta dasaran untuk menyelesaikan topik permasalahan yang disebutkan sebelumnya. Literatur yang digunakan dapat berupa jurnal ilmiah maupun buku. Beberapa contoh literatur yang sudah digunakan antara lain:

1. *Paper* dan jurnal ilmiah tentang tubrukan kapal
2. *Paper* dan jurnal ilmiah tentang tumpahan minyak
3. *GNOME user manual*

### 3.3 Pengumpulan Data

Setelah studi literatur, tahapan yang dilakukan adalah pengumpulan data yang berkaitan dengan topik. Data yang dihimpun antara lain adalah data lalu lintas kapal yang melewati Selat Lombok di tahun 2018. Data yang dibutuhkan antara lain adalah nama kapal, ukuran kapal, jenis kapal, kecepatan, rute, kapan kapal tersebut melewati Selat Lombok, serta asal & tujuan kapal tersebut. Apabila ada kekurangan data seperti ukuran atau kecepatan kapal, akan dilengkapi dari situs *marinetraffic.com*, *Llyod's ship database*, ataupun data dari situs resmi badan klasifikasi lain. Data yang berhasil diperoleh adalah data lalu lintas kapal di Selat Lombok pada Januari - Agustus 2018. Dari data tersebut, dipilih data lalu lintas pada bulan Mei 2018 untuk dilakukan perhitungan lebih lanjut karena memiliki tingkat kepadatan kapal paling tinggi. Selain data lalu lintas kapal, data yang diperlukan adalah peta lokasi pemberlakuan TSS di Selat Lombok sehingga diketahui lokasi serta lebar alur pelayaran setelah TSS diberlakukan

### 3.4 Analisis Risiko Tubrukan

Untuk mengetahui nilai risiko dari setiap skenario, dilakukan analisis frekuensi dan analisis konsekuensi. Skenario tubrukan yang dihitung frekuensinya yaitu

skenario *head-on collision*, *crossing collision*, dan *overtaking collision*. Frekuensi tubrukan yang dihitung dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Frekuensi tubrukan kapal sebelum dan sesudah TSS diberlakukan
2. Frekuensi tubrukan kapal tanker di sekitar kawasan konservasi perairan Nusa Penida dan Kepulauan Gili.
3. Frekuensi tubrukan kapal di masa depan

### **3.5 Perhitungan Frekuensi Menggunakan Metode Numerik**

Langkah selanjutnya adalah menghitung frekuensi dengan metode numerik pada setiap skenario, sebelum dan sesudah TSS diberlakukan serta di masa yang akan datang. Perhitungan dilakukan berdasarkan teori pada IWRAP dengan formula yang disebutkan pada bab sebelumnya, yaitu pada skenario *head-on*, *overtaking*, dan *crossing*. Sebelum dilakukan perhitungan, data kapal yang melintas di Selat Lombok tersebut perlu dikelompokkan berdasarkan jenis dan panjangnya untuk melakukan perhitungan dengan metode numerik. Nilai *causation probability* yang akan digunakan berasal dari hasil perhitungan Macduff (1974) dan Fujii (1971). Pada studi ini, hasil perhitungan tidak divalidasi menggunakan *software* IWRAP karena terbatasnya akses untuk menggunakan *software* tersebut di laboratorium.

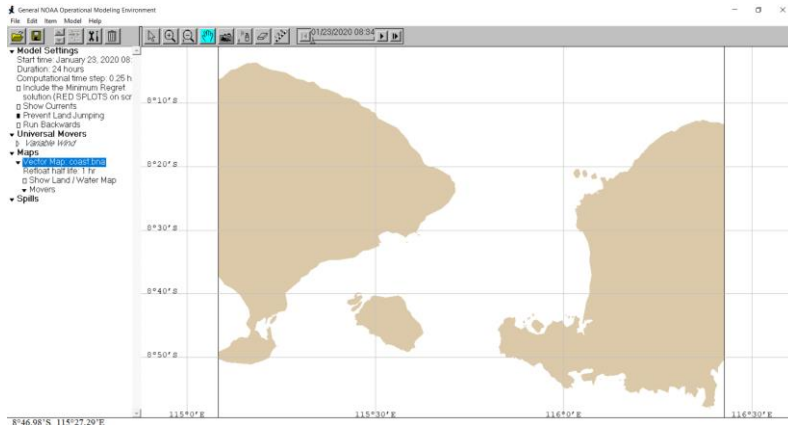
### **3.6 Pemodelan Konsekuensi**

Untuk memprediksi persebaran dari tumpahan minyak dan penyebarannya akibat adanya arus laut, digunakan perangkat lunak GNOME. Untuk melakukannya permodelan, dikumpulkan beberapa data terkait yaitu:

1. *Base map* Selat Lombok (ditunjukkan pada Gambar 3.2)
2. Data kecepatan dan arah arus angin di Selat Lombok
3. Data kecepatan dan arah arus laut di Selat Lombok

Untuk mendapatkan data tersebut, NOAA menyediakan *GNOME Online Oceanographic Data Server (GOODS)* untuk memudahkan pengguna GNOME mendapatkan data yang diperlukan dengan format yang sesuai. Dari sumber tersebut, selanjutnya data dimasukkan pada GNOME dan pemodelan persebaran tumpahan minyak akan berjalan selama waktu yang ditentukan.

Pemodelan akan dilakukan dengan meletakkan titik terjadinya kecelakaan kapal berjenis *tanker* pada alur pelayaran di dekat kawasan konservasi. Titik tersebut ditentukan berdasarkan lokasi yang apabila terjadi tubrukan kapal, tumpahan minyaknya berpotensi mencemari kawasan konservasi perairan.



Gambar 3. 2 Tampilan Software GNOME dengan Base Map Selat Lombok

### 3.7 Risk Matrix

Setelah menganalisa frekuensi dan konsekuensi, langkah selanjutnya adalah melakukan penilaian dengan memetakan kombinasi hasil dari frekuensi dan konsekuensi pada *Risk Matrix* dari DNV-GL; *Hazard Identification and Qualitative Risk Evaluation of the Navigational risk for the Omø Syd Wind Farm* yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Frekuensi tubrukan kapal dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu:

1. Lebih dari 10 kecelakaan pertahun
2. 1-10 kecelakaan per tahun
3. 1 kecelakaan dalam 10 tahun
4. 1 kecelakaan dalam 100 tahun
5. 1 kecelakaan dalam 1000 tahun
6. 1 kecelakaan dalam 10.000 tahun
7. 1 kecelakaan dalam 100.000 tahun
8. 1 kecelakaan dalam lebih dari 100.000 tahun

Konsekuensi pada lingkungan yang pada hal ini diakibatkan oleh tumpahan minyak dibagi menjadi 6 kategori, yaitu:

1. Tidak ada atau dapat diabaikan
2. Kerusakan lingkungan minor, dapat diperbaiki dalam hitungan hari
3. Kerusakan lingkungan serius, dapat diperbaiki dalam hitungan minggu
4. Kerusakan lingkungan serius, tumpahan minyak lebih dari 3 ton
5. Kerusakan lingkungan kritis, tumpahan minyak lebih dari 30 ton
6. Kerusakan lingkungan bencana, tumpahan minyak lebih dari 300 ton.



		Consequence					
		None	Negligible	Significant	Serious	Critical	Catastrophic
Frequency	>10						
	1-10						
	0,1-1						
	0,01-0,1						
	0,001-0,01						
	0,0001-0,001						
	0,00001-0,0001						
	<0,00001						

*Gambar 3. 3 Risk Matrix berdasarkan standar DNV-GL*

Sumber: DNV-GL, *Hazard Identification and Qualitative Risk Evaluation of the Navigational risk for the Omø Syd Wind Farm.*

Warna hijau pada *Risk Matrix* tersebut melambangkan risiko berada dalam fase *negligible* atau dapat diabaikan. Warna kuning muda dan kuning tua secara berturut-turut melambangkan risiko berada dalam fase *tolerable* atau dapat ditoleransi dan *unwanted* atau tidak diinginkan. Warna merah melambangkan risiko berada dalam fase *unacceptable* atau tidak dapat diterima sehingga memerlukan langkah mitigasi untuk mencegah terjadinya risiko tersebut.

### 3.8 Rekomendasi Mitigasi dan Kesimpulan

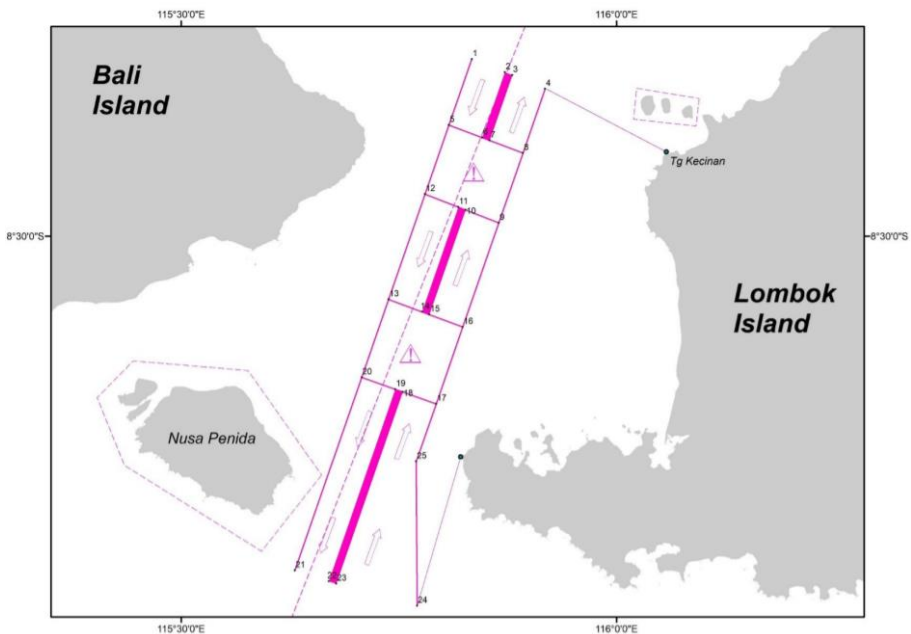
Langkah terakhir adalah memberikan rekomendasi mitigasi dan menarik kesimpulan dari hasil penelitian. Rekomendasi mitigasi akan diberikan apabila risiko berada dalam fase *unacceptable*. Pada kesimpulan, dievaluasi bagaimana dampak penerapan *Traffic Separation Scheme* terhadap keselamatan kapal dan kawasan konservasi di area Selat Lombok sesuai dengan penelitian yang dilakukan.

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penjelasan Umum

Pada tugas akhir ini, dilakukan analisis frekuensi tubrukan kapal dengan studi kasus Selat Lombok menggunakan alur pelayaran sebelum dan sesudah TSS diberlakukan. Gambar 4.1 menunjukkan alur pelayaran Selat Lombok setelah penerapan TSS. Data yang diperlukan adalah data AIS kapal yang melintas di Selat Lombok yang didapatkan dari VTS Benoa. Setelah mendapatkan data, analisis dapat dilakukan dengan metode perhitungan secara manual berdasarkan rumus pada teori IWRAP.



*Gambar 4. 1 Selat Lombok*

### 4.2 Pengolahan Data

Data dinamis berupa data kapal yang melintasi Selat Lombok pada bulan Mei tahun 2018 berdasarkan data AIS digunakan untuk menghitung peluang frekuensi tubrukan yang terjadi sebelum dan setelah TSS diberlakukan. Data dinamis tersebut berisi perubahan posisi masing-masing kapal yang melintasi Selat Lombok dalam rentang waktu tertentu, sehingga dapat diketahui arah pelayaran kapal tersebut. Data yang diperoleh penulis adalah data kapal yang melintas pada Januari-Agustus 2018. Data bulan Mei dipilih karena menunjukkan jumlah paling besar. Kekurangan dari data tersebut dilengkapi berdasarkan data dari situs *marinetraffic.com*. Data tersebut akan dikelompokkan berdasarkan jenis serta panjang dari kapal tersebut sebagai

langkah awal untuk melakukan perhitungan. Total kapal yang melintas pada tahun 2018 yang sudah dikelompokkan pada Tabel 4.1, 4.2, dan 4.3. Data tersebut dikelompokkan berdasarkan panjang, jenis yang sesuai dengan IWRAP *theory*, dan arah pelayarannya.

*Tabel 4. 1 Kapal yang melintasi Selat Lombok dari utara ke selatan selama Mei 2018*

	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	Container	General Cargo	Bulk Carrier
0-25	0	0	0	0	0	0	0
25-50	0	0	0	0	0	0	0
50-75	0	2	0	0	0	0	0
75-100	0	10	0	0	0	0	0
100-125	0	5	0	0	0	5	0
125-150	0	3	0	0	0	6	0
150-175	0	3	0	0	0	3	3
175-200	0	11	0	0	0	4	33
200-225	0	0	0	0	0	0	7
225-250	11	0	0	0	0	0	15
250-275	3	0	0	3	0	0	13
275-300	0	0	0	15	0	0	238
300-325	0	0	0	0	0	0	9
325-350	0	0	0	0	0	0	8
350-375	0	0	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.1 (lanjutan)

	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship
0-25	0	0	0	0	0	0	0
25-50	0	0	0	0	2	0	0
50-75	0	0	0	0	0	0	0
75-100	0	0	0	0	0	2	2
100-125	0	0	0	0	0	0	12
125-150	0	0	0	0	0	0	0
150-175	0	0	0	0	0	0	0
175-200	0	3	0	0	0	0	0
200-225	0	0	0	0	0	0	0
225-250	0	0	0	0	0	0	0
250-275	0	0	0	0	0	0	0
275-300	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4. 1 (lanjutan)

300-325	0	0	0	0	0	0	0
325-350	0	0	0	0	0	0	0
350-375	0	0	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4. 2 Kapal yang melintasi Selat Lombok dari selatan ke utara selama Mei 2018

	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	Container	General Cargo	Bulk Carrier
0-25	0	0	0	0	0	0	0
25-50	0	0	0	0	0	0	0
50-75	0	0	0	0	0	0	0
75-100	0	4	0	0	0	3	0
100-125	0	6	0	0	0	3	0
125-150	0	6	0	0	0	8	5
150-175	0	2	0	0	0	4	6
175-200	0	24	0	0	0	3	81
200-225	2	0	0	0	0	0	15
225-250	20	0	0	4	0	0	31
250-275	4	0	0	3	0	0	26
275-300	0	0	0	15	0	0	320
300-325	0	0	0	0	0	0	14
325-350	3	0	0	0	0	0	13
350-375	0	0	0	0	0	0	2
375-400	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.2 (Lanjutan)

	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship
0-25	0	0	0	0	0	5	0
25-50	0	0	0	0	3	0	0
50-75	0	3	0	2	0	0	0
75-100	0	3	0	2	0	0	0
100-125	0	0	0	0	0	0	9
125-150	0	0	0	0	0	0	0
150-175	0	0	0	0	0	0	0
175-200	3	0	0	0	0	0	0
200-225	0	0	0	0	0	0	0
225-250	0	0	0	0	0	0	0
250-275	0	0	0	0	0	0	0
275-300	0	0	0	0	0	0	0
300-325	0	0	0	0	0	0	0
325-350	0	0	0	0	0	0	0
350-375	0	0	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0	0	0

*Tabel 4. 3 Kapal yang menyebrangi Selat Lombok dari Pelabuhan Benoa ke Lombok*

	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	Container	General Cargo	Bulk Carrier
0-25	0	0	0	0	0	0	0
25-50	0	0	0	0	0	0	0
50-75	0	0	0	0	0	2	0
75-100	0	22	0	0	0	5	0
100-125	0	22	0	0	0	0	0
125-150	0	0	0	0	0	0	0
150-175	0	0	0	1	0	0	0
175-200	0	0	0	0	0	0	0
200-225	0	0	0	0	0	0	0
225-250	0	0	0	0	0	0	0
250-275	0	0	0	0	0	0	0
275-300	0	0	0	0	0	0	0
300-325	0	0	0	0	0	0	0
325-350	0	0	0	0	0	0	0
350-375	0	0	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.3 (Lanjutan)

	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship
0-25	0	0	57	0	125	8	0
25-50	0	147	53	3	5	7	0
50-75	0	0	0	0	4	0	3
75-100	0	25	0	0	0	0	0
100-125	0	4	0	0	0	0	4
125-150	0	0	0	0	0	5	0
150-175	0	0	0	0	0	0	0
175-200	0	0	0	0	0	0	0
200-225	0	0	0	0	0	0	0
225-250	0	0	0	0	0	0	0
250-275	0	0	0	0	0	0	0
275-300	0	0	0	0	0	0	0
300-325	0	0	0	0	0	0	0
325-350	0	0	0	0	0	0	0
350-375	0	0	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0	0	0

#### 4.2.1 Perkiraan Lalu Lintas Kapal Selat Lombok di Masa Depan

*Traffic Separation Scheme* akan mulai berlaku pada 20 Juli 2020 mendatang. Untuk mengetahui pengaruh yang diberikan TSS pada frekuensi kecelakaan kapal di Selat Lombok, diperlukan data perkiraan lalu lintas kapal di masa yang akan datang sehingga dapat diketahui hingga tahun berapa TSS tersebut efektif dalam mengurangi peluang frekuensi tubrukan kapal mengingat jumlah kapal yang melintas terus meningkat setiap tahunnya.

Pada studi ini, data peningkatan lalu lintas kapal difokuskan pada 2 jenis pelayaran yang mendominasi alur pelayaran tersebut, yaitu:

##### 1. Pelayaran niaga

Berdasarkan data yang dimiliki, pelayaran niaga internasional mendominasi alur pelayaran di Selat Lombok khususnya dengan rute Australia – Cina maupun sebaliknya. Untuk menghitung perkiraan lalu lintas kapal pada pelayaran Internasional, pada studi ini menggunakan perkiraan hingga tahun 2035 yang didapatkan dari *Market Forecast Report 2018* dari *Shipyards & Maritime Equipment Association* yang disusun pada forum *The International Shipbuilding Forecast Expert Meeting* (ISFEM). Pada jurnal tersebut, perkiraan kebutuhan bangunan kapal baru dihitung berdasarkan aspek berikut:

##### a. *Macro Economic*

Aspek ini didasarkan pada *Gross Domestic Product*, demografi, produksi, serta energi.

##### b. *Global Trade*

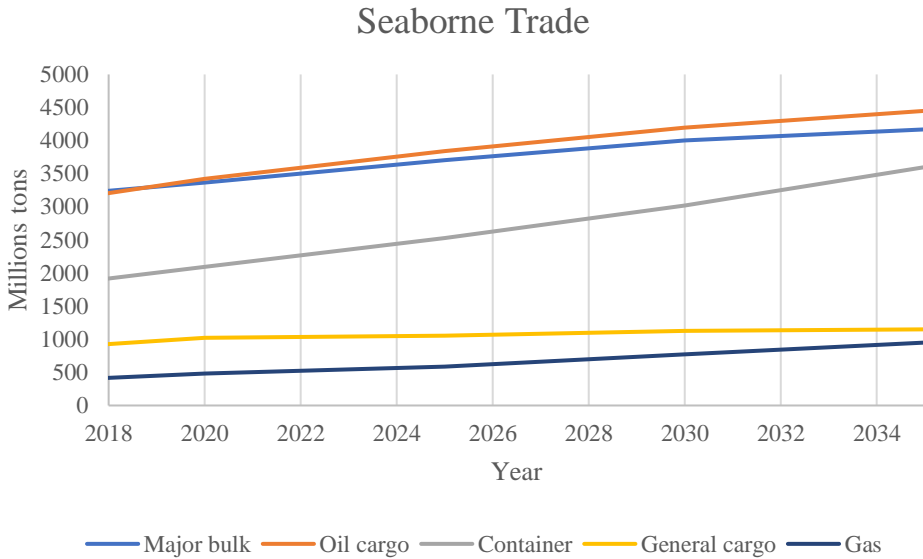
Termasuk didalamnya adalah pola perdagangan, tipe perdagangan, dan pelayaran.

##### c. Kebutuhan armada kapal

Mempertimbangkan ukuran dan umur armada kapal saat ini, pergantian armada, serta regulasi.

Gambar 4.2 menunjukkan perkiraan peningkatan perdagangan melalui laut dari tahun 2018 hingga tahun 2035. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa keseluruhan komoditas terus mengalami kenaikan berdasarkan berat muatan yang dibawa, dengan kenaikan paling pesat dimiliki oleh perdagangan menggunakan kontainer. Perdagangan curah kering dan minyak masih mendominasi perdagangan laut hingga tahun 2035. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah kapal yang melewati Selat Lombok juga akan terus bertambah setiap tahunnya. Pada studi ini, perkiraan kenaikan jumlah kapal dianggap berbanding lurus dengan kenaikan perdagangan laut. Pada keadaan sebenarnya, perhitungan ini tidak dapat dianggap demikian karena kenaikan muatan perdagangan laut juga berimbas pada ukuran kapal yang

semakin besar, bukan hanya pada jumlah kapalnya. Selain itu, letak geografis dari Selat Lombok juga menentukan berapa besar kenaikan lalu lintas kapal yang sebenarnya terjadi. Hasil perhitungan perkiraan kenaikan jumlah kapal untuk pelayaran perdagangan tertera pada Tabel 4.4.



*Gambar 4. 2* *Perkiraan peningkatan perdagangan melalui laut*  
 Sumber: *Market Forecast Report 2018, Shipyard & Maritime Equipment Association* (diolah kembali)

*Tabel 4. 4* *Perkiraan jumlah kapal niaga yang melewati Selat Lombok 2018-2035*

Ship Type	Year				
	2018	2020	2025	2030	2035
Tanker	2.994	3.303	3.714	4.052	4.298
LNG	472	588	723	944	1.165
Container	3.650	4.169	5.046	6.023	7.180
General Cargo	2.482	2.877	2.976	3.173	3.244
Bulk Carrier	8.677	9.195	10.110	10.914	11.378
<b>Total</b>	<b>18.275</b>	<b>20.132</b>	<b>22.568</b>	<b>25.107</b>	<b>27.265</b>



## 2. Penyeberangan Bali – Lombok

Sebagai 2 kawasan wisata yang dikenal dunia internasional, arus penyeberangan dari Bali ke Lombok ataupun sebaliknya memiliki intensitas yang tinggi. Penyeberangan menggunakan kapal *ferry* dapat mencapai 8000 *trip* setiap tahunnya, belum ditambah pelayaran domestik menggunakan *fast boat* yang beroperasi di sekitarnya. Pada penyeberangan antara Lombok – Bali, peningkatan jumlah kapal didasarkan hal berikut:

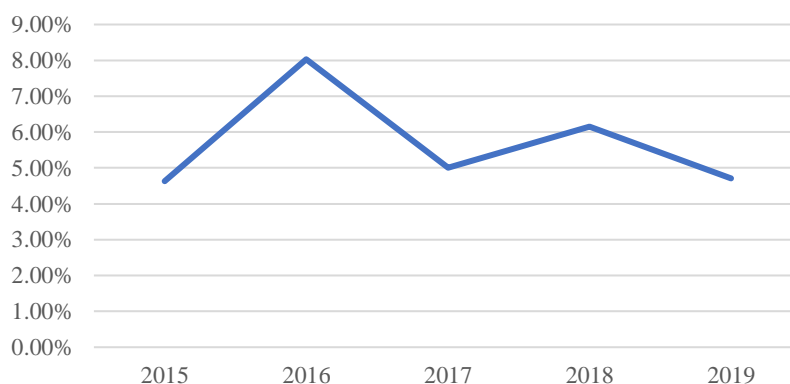
### a. Peningkatan Wisatawan

Sebagai wilayah dengan banyak tujuan wisata, pelayaran penyeberangan yang melintas di selat tersebut sangat dipengaruhi jumlah wisatawan yang berkunjung. Berdasarkan perhitungan dari Saputra (2019), peningkatan jumlah wisatawan pertahun di ke Nusa Penida mencapai 6% pertahunnya.

### b. Peningkatan kegiatan ekonomi

Meningkatnya kegiatan ekonomi di kedua pulau tersebut akan menyebabkan kebutuhan akan transportasi laut di selat tersebut menjadi meningkat. Data dari Badan Pusat Statistik Provinsi Bali menunjukkan laju pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto dari tahun 2015-2019 memiliki rata-rata pertumbuhan 5,7% pertahunnya.

### Peningkatan PDRB Sektor Transportasi Provinsi Bali



Gambar 4. 3 Laju pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto sektor Transportasi Provinsi Bali tahun 2015-2019

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Bali (diolah kembali)

Didasari dari data yang disebutkan sebelumnya, peningkatan jumlah kapal penyeberangan dan kapal non-penyeberangan (di luar kapal niaga yang disebutkan sebelumnya) diasumsikan meningkat sebesar 6% setiap tahunnya,

Total jumlah kapal yang diperkirakan akan melintasi Selat Lombok hingga tahun 2035 berikut jenisnya terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Perkiraan kapal yang melintasi Selat Lombok pada 2018-2035

Ship Type	Year				
	2018	2020	2025	2030	2035
Tanker	2.994	3.303	3.714	4.052	4.298
LNG	472	588	723	944	1.165
Container	3.650	4.169	5.046	6.023	7.180
General Cargo	2.482	2.877	2.976	3.173	3.244
Bulk Carrier	8.677	9.195	10.110	10.914	11.378
Ro-Ro Ship	4.484	5.341	7.147	9.564	12.799
Passenger Ship	5.993	7.138	9.552	12.783	17.106
Lain-Lain	3.960	4.584	5.851	7.467	9.530
Total	32.712	37.195	45.118	54.920	66.700

### 4.3 Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal Setelah TSS

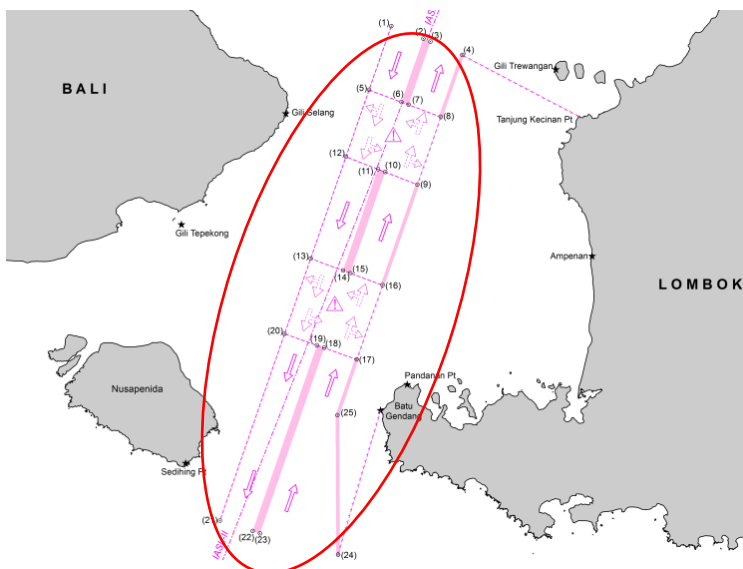
Analisis frekuensi tubrukan kapal dilakukan menggunakan metode numerik sesuai yang tertuang pada *IWRAP Theory*, yang didasarkan pada formula yang dikemukakan oleh Peter Friis-Hansen (2007). Formula tersebut menjadi dasar perhitungan yang digunakan pada perangkat lunak IWRAP. Analisis frekuensi dilakukan dengan skenario *head-on*, *overtaking*, dan *crossing collision*. Jalur kapal yang digunakan dimodelkan sesuai dengan desain TSS yang telah disetujui dan akan berlaku pada Juli 2020. Data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan tersebut adalah sebagai berikut, dengan notasi  $i$  dan  $j$  melambangkan 2 kelompok kapal tertentu yang berlayar pada kurun waktu tertentu dengan arah tertentu:

- $L_i, L_j$  menyatakan panjang kapal *sample* dari kelompok  $i$  dan kelompok  $j$ .
- $B_i, B_j$  menyatakan lebar kapal *sample* dari kelompok  $i$  dan kelompok  $j$ .
- $V_i, V_j$  menyatakan kecepatan kapal *sample* dari kelompok  $i$  dan kelompok  $j$ .
- $Q_i, Q_j$  menyatakan jumlah kapal kelompok  $i$  dan kelompok  $j$  yang melintas pada kurun waktu tertentu.
- $\theta$ , merupakan sudut yang terbentuk dari dua jalur yang bersimpangan.

#### 4.3.1 Head-on Collision

Analisis dilakukan pada jalur TSS dari koordinat  $08^\circ 18'.73$  S,  $115^\circ 52'.32$  E hingga koordinat  $08^\circ 53'.73$  S,  $115^\circ 40'.18$  E. Gambar 4.4 menunjukkan lokasi dari

area tersebut. Lokasi tersebut memungkinkan terjadinya *head-on collision* atau tubrukan antara 2 buah kapal yang berlayar berlawanan arah. Berdasarkan desain, TSS memiliki panjang lintasan ( $Lw$ ) yaitu 68 km dengan lebar alur pelayaran 5 km. Pada skenario ini, distribusi kapal dinyatakan sebagai distribusi normal dengan nilai standar deviasi yaitu 1250 m.



Gambar 4. 4 Jalur yang berpotensi terjadi head-on collision

Pada skenario ini, kelompok kapal  $i$  adalah kapal *bulk carrier* dengan panjang 275-300 m yang berlayar dari arah selatan ke utara, dan kapal  $j$  adalah kapal *bulk carrier* dengan panjang 275-300 m yang berlayar dari arah utara ke selatan. Perhitungan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Identifikasi data yang dibutuhkan dalam perhitungan

Panjang kapal $i$	$(L_i)$	=	295	meter
Lebar kapal $i$	$(B_i)$	=	46	meter
Jumlah kapal $i$	$(Q_i)$	=	320	unit
Kecepatan kapal $i$	$(V_i)$	=	14,6 knots = 7,510824	m/s
Panjang kapal $j$	$(L_j)$	=	292	meter
Lebar kapal $j$	$(B_j)$	=	45	meter
Jumlah kapal $j$	$(Q_j)$	=	238	unit
Kecepatan kapal $j$	$(V_j)$	=	14,6 knots = 7,510824	m/s
Panjang lintasan	$(Lw)$	=	68000	meter

2. Menghitung kecepatan relatif dengan menjumlahkan kedua kecepatan kelompok kapal yang dianalisis sebagai berikut.

$$V_{ij} = V_i + V_j$$

$$\begin{aligned} V_{ij} &= 7,510824 + 7,510824 \text{ m/s} \\ &= 15,02165 \end{aligned}$$

3. Menghitung lebar rata-rata kapal dengan menjumlahkan keduanya dan dibagi 2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{ij} &= \frac{B_i + B_j}{2} \\ B_{ij} &= \frac{46 + 45}{2} \\ B_{ij} &= 45,5 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Mengidentifikasi *mean* dan *standar deviasi* yang digunakan untuk menghitung *collision probability* ( $P_G$ ) yang dihitung menggunakan distribusi normal.

$$\begin{aligned} \text{Mean } i \quad (\mu_i) &= 2500 \\ \text{Mean } j \quad (\mu_j) &= 2500 \\ \text{Mean } ij \quad (\mu_{ij}) &= (\mu_i) + (\mu_j) \\ &= 5926 \\ \text{Standar deviasi } i \quad (\sigma_i) &= 1250 \\ \text{Standar deviasi } j \quad (\sigma_j) &= 1250 \\ \text{Standar deviasi } ij \quad (\sigma_{ij}) &= \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2} \\ \text{Standar deviasi } ij \quad (\sigma_{ij}) &= 1767,766953 \end{aligned}$$

Perhitungan *collision probability* ( $P_G$ ) dilakukan dengan formula sebagai berikut.

$$P_{G_{i,j}}^{\text{head-on}} = \phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)$$

$$P_{G_{i,j}}^{\text{head-on}} = \phi\left(\frac{45,5 - 5926}{1767,767}\right) - \phi\left(-\frac{45,5 + 5926}{1767,767}\right)$$

$$P_G = 0,000435 - 0,0004$$

$$P_G = 0,00003487$$

5. Dari nilai *collision probability* tersebut, nilai *geometric number* dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut.

$$N_G^{\text{head-on}} = Lw \sum_{i,j} P_{G_{i,j}}^{\text{head-on}} \cdot \frac{V_{ij}}{V_i \cdot V_j} (Q_i \cdot Q_j)$$

$$N_G^{head-on} = 68000 \cdot \sum_{i,j} 0,00003487 \cdot \frac{15,0216}{7,51 \cdot 7,51} \left( \frac{320 \cdot 238}{30 \times 24 \times 3600} \right)$$

$$N_G^{head-on} = 0,2206757$$

6. Menghitung frekuensi *head-on collision* dengan mengalikan *geometric number* dengan *causation probability (Pc)*. Pada studi ini, nilai *causation probability* yang digunakan berdasarkan hasil perhitungan Mcduff (1974) karena memiliki nilai Pc untuk kondisi dengan pemisahan alur pelayaran, dan hasil perhitungan Fujii (1971) yang biasa digunakan pada *software IWRAP* sebagai pembanding. Hasil perhitungan frekuensi tubrukan selama 1 bulan terdapat pada Tabel 4.6. Untuk mendapatkan frekuensi tahunan, hasil dikalikan 12 dengan asumsi jumlah kapal yang lewat tiap bulan berjumlah sama atau mendekati.

Tabel 4. 6 Contoh perhitungan frekuensi *head-on collision*

Sumber	Nilai Pc	Frekuensi Tubrukan
Fujii (1971)	0,00005	0,00001103
Mcduff (1974)	0,000315	0,000069513

Berdasarkan hasil perhitungan secara keseluruhan, frekuensi *head-on collision* yang berpotensi terjadi di Selat Lombok selama setahun setelah TSS diberlakukan terdapat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan frekuensi *head-on collision* setelah TSS

Sumber	Nilai Pc	Frekuensi Tubrukan
Fujii (1971)	0,00005	0,000414243
Mcduff (1974)	0,000315	0,002609729

#### 4.3.2 Overtaking Collision

Analisis dilakukan pada jalur TSS yang sama dengan analisi *head-on collision* yaitu diantara koordinat 08° 18'.73 S, 115° 52'.32 E hingga koordinat 08° 53'.73 S, 115° 40'.18 E. Gambar 4.3 menunjukkan lokasi dari area tersebut. Lokasi tersebut memungkinkan terjadinya *overtaking collision* atau tubrukan yang terjadi ketika terdapat satu kapal yang memiliki kecepatan lebih tinggi ingin mendahului satu kapal lain dalam suatu jalur yang sama.. Berdasarkan desain TSS, lokasi tersebut memiliki panjang lintasan ( $L_w$ ) yaitu 68 km dengan lebar alur pelayaran 5 km. Pada skenario ini, distribusi kapal dinyatakan sebagai distribusi normal dengan nilai standar deviasi yaitu 1250 m.

Pada skenario ini, kelompok kapal  $i$  adalah kapal *oil product tanker* dengan panjang 175-200 m yang berlayar dari arah selatan ke utara, dan kapal  $j$  adalah kapal *bulk carrier* dengan panjang 275-300 m yang berlayar dengan arah yang sama. Perhitungan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Identifikasi data yang diperlukan dalam perhitungan

Panjang kapal $i$	$(L_i)$	=	183	meter
Lebar kapal $i$	$(B_i)$	=	32	meter
Jumlah kapal $i$	$(Q_i)$	=	24	unit
Kecepatan kapal $i$	$(V_i)$	=	14,9 knots	= 7,665156 m/s
Panjang kapal $j$	$(L_j)$	=	295	meter
Lebar kapal $j$	$(B_j)$	=	46	meter
Jumlah kapal $j$	$(Q_j)$	=	320	unit
Kecepatan kapal $j$	$(V_j)$	=	14,6 knots	= 7,510824 m/s
Panjang lintasan	$(L_w)$	=	68000	meter

2. Menghitung kecepatan relatif dengan mengurangi kecepatan kelompok kapal yang lebih tinggi dengan kecepatan kelompok kapal yang lebih rendah

$$V_{ij} = V_i - V_j$$

$$\begin{aligned} V_{ij} &= 7,665156 - 7,510824 \text{ m/s} \\ &= 0,154332 \end{aligned}$$

3. Menghitung lebar rata-rata kapal dengan menjumlahkan keduanya dan dibagi 2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{ij} &= \frac{B_i + B_j}{2} \\ B_{ij} &= \frac{46 + 32}{2} \\ B_{ij} &= 39 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Mengidentifikasi *mean* dan *standar deviasi* yang digunakan untuk menghitung *collision probability* ( $P_G$ ) yang dihitung menggunakan distribusi normal.

Mean $i$	$(\mu_i)$	=	0
Mean $j$	$(\mu_j)$	=	0
Mean $ij$	$(\mu_{ij})$	=	$(\mu_i) + (\mu_j)$
		=	0
Standar deviasi $i$	$(\sigma_i)$	=	1250
Standar deviasi $j$	$(\sigma_j)$	=	1250

$$\begin{aligned}\text{Standar deviasi } ij \quad (\sigma_{ij}) &= \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2} \\ \text{Standar deviasi } ij \quad (\sigma_{ij}) &= 1767,766953\end{aligned}$$

Perhitungan *collision probability* ( $P_G$ ) dilakukan dengan formula sebagai berikut.

$$P_{G_{i,j}}^{\text{overtaking}} = \phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)$$

$$P_{G_{i,j}}^{\text{overtaking}} = \phi\left(\frac{39 - 0}{1767,767}\right) - \phi\left(-\frac{39 + 0}{1767,767}\right)$$

$$P_G = 0,508825 - 0,491175$$

$$P_G = 0,017649$$

5. Dari nilai *collision probability* tersebut, nilai *geometric number* dapat diketahui dengan formula sebagai berikut.

$$N_G^{\text{overtaking}} = Lw \sum_{i,j} P_{G_{i,j}}^{\text{overtaking}} \cdot \frac{V_{ij}}{V_i, V_j} (Q_i, Q_j)$$

$$N_G^{\text{overtaking}} = 14000 \cdot \sum_{i,j} 0,017649 \cdot \frac{0,154332}{7,66 \cdot 7,51} \left(\frac{24 \cdot 320}{30 \times 24 \times 3600}\right)$$

$$N_G^{\text{overtaking}} = 0,0095326$$

6. Menghitung frekuensi *overtaking collision* dengan mengalikan *geometric number* dengan *causation probability* ( $P_c$ ) sebesar 0,000111 sebagai berikut:

$$N_O = N_G \times P_c$$

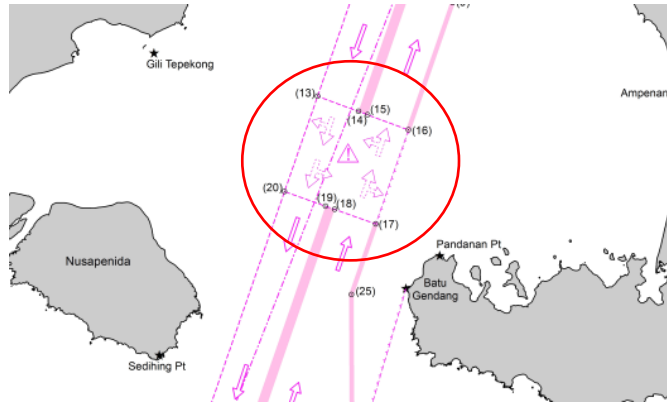
$$N_O = 0,0019626 \times 0,000111$$

$$N_O = 0,000001049$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara keseluruhan, frekuensi *overtaking collision* perbulan yang berpotensi terjadi di Selat Lombok setelah TSS diberlakukan adalah 0,000092906 sehingga frekuensi tahunannya adalah 0,001114914.

### 4.3.3 Crossing Collision

Analisis untuk skenario *crossing collision* dilakukan di daerah *precautionary area* bagian selatan sesuai dengan desain TSS yang sudah disetujui. Gambar 4.5 menunjukkan lokasi area tersebut. Analisis dilakukan di area tersebut karena memungkinkan terjadinya *crossing collision* atau tubrukan yang terjadi ketika terdapat satu kapal menubruk satu kapal lainnya yang memiliki arah gerak berpotongan dengan alur pelayarannya, yaitu kapal yang melintasi Selat Lombok dari utara ke selatan atau sebaliknya dengan kapal yang menyebrangi Selat Lombok dari Bali ke Lombok ataupun sebaliknya.



Gambar 4. 5 Lokasi yang berpotensi terjadi crossing collision

Pada skenario ini, kelompok kapal  $i$  adalah kapal *passenger* dengan panjang 25-50 m yang berlayar menyebrangi Selat Lombok, dan kapal  $j$  adalah kapal *bulk carrier* dengan panjang 275-300 m yang berlayar dari arah selatan ke utara. Perhitungan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Identifikasi data yang diperlukan

Panjang kapal $i$	$(L_i)$	=	50	meter
Lebar kapal $i$	$(B_i)$	=	12	meter
Jumlah kapal $i$	$(Q_i)$	=	147	unit
Kecepatan kapal $i$	$(V_i)$	=	16,8	knots = 8,6426 m/s
Panjang kapal $j$	$(L_j)$	=	295	meter
Lebar kapal $j$	$(B_j)$	=	46	meter
Jumlah kapal $j$	$(Q_j)$	=	320	unit
Kecepatan kapal $j$	$(V_j)$	=	14,6	knots = 7,511 m/s
Sudut perpotongan	$(\theta)$	=	90	

2. Menghitung kecepatan relatif skenario *crossing collision* menggunakan formula sebagai berikut:

$$V_{ij} = \sqrt{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i \cdot V_j \cdot \cos\theta}$$

$$V_{ij} = \sqrt{8,64^2 + 7,51^2 - 2 \cdot (8,64) \cdot (7,51) \cdot 0,5}$$

$$V_{ij} = 8,136 \text{ m/s}$$

3. Melakukan perhitungan untuk mengetahui diameter area tubrukan ( $D_{ij}$ ) menggunakan formula sebagai berikut.

$$D_{ij} = \frac{L_i \cdot V_j + L_j \cdot V_i}{V_{ij}} \sin\theta + B_j \left\{ 1 - \left( \sin\theta \cdot \frac{V_i}{V_{ij}} \right)^2 \right\} + B_i \left\{ 1 - \left( \sin\theta \cdot \frac{V_j}{V_{ij}} \right)^2 \right\}$$



$$Dij = \frac{50.7,51 + 295.8,64}{8,136} \cdot 1 + 46\{1 - (1 \cdot \frac{8,64}{8,136})^2\} + 12\{1 - (1 \cdot \frac{7,51}{8,136})^2\}$$

$$Dij = 355,394 \text{ m}$$

4. Melakukan perhitungan *geometric number* dengan memasukkan nilai yang sudah didapatkan sebelumnya menggunakan formula berikut.

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i \cdot Q_j}{V_i \cdot V_j} Dij V_{ij} \frac{1}{\sin \theta}$$

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{147 \cdot 320}{8,643 \cdot 7,511} 355,394 \cdot 8,136 \frac{1}{\sin \theta}$$

$$N_G^{crossing} = 0,80839$$

5. Menghitung frekuensi *overtaking collision* dengan mengalikan *geometric number* dengan *causation probability* ( $P_c$ ). Pada studi ini, nilai *causation probability* yang digunakan berdasarkan hasil perhitungan Mcduff (1974) karena memiliki nilai  $P_c$  untuk kondisi dengan pemisahan alur pelayaran, dan hasil perhitungan Fujii (1971) yang biasa digunakan pada *software* IWRAP sebagai pembanding. Hasil perhitungan frekuensi selama 1 bulan terdapat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Contoh hasil perhitungan frekuensi crossing collision

Sumber	Nilai $P_c$	Frekuensi Tubrukan
Fujii (1971)	0,000123	0,00009943
Mcduff (1974)	0,000095	0,00007680

Berdasarkan hasil perhitungan secara keseluruhan, frekuensi *crossing collision* pertahun yang berpotensi terjadi di Selat Lombok setelah TSS diberlakukan terdapat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan frekuensi crossing collision setelah TSS berlaku

Sumber	Nilai $P_c$	Frekuensi Tubrukan
Fujii (1971)	0,000123	0,011981667
Mcduff (1974)	0,000095	0,009254133

#### 4.4 Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal di Masa Depan

Untuk mengetahui dampak pemberlakuan *Traffic Separation Scheme* di Selat Lombok, dilakukan juga analisis perkiraan frekuensi tubrukan kapal di masa yang

akan datang. Pada studi ini, dilakukan perhitungan frekuensi tubrukan kapal berdasarkan skenario *head-on*, *overtaking*, dan *crossing collision* menggunakan perkiraan frekuensi kapal yang melintasi Selat Lombok di tahun 2035 berdasarkan perkiraan yang tertera pada sub bab 4.2. Jalur yang dianalisis menggunakan jalur yang sama dengan yang dihitung pada sub bab 4.3

#### 4.4.1 *Head-on Collision*

Analisis dilakukan pada jalur TSS dari koordinat  $08^{\circ} 18'.73$  S,  $115^{\circ} 52'.32$  E hingga koordinat  $08^{\circ} 53'.73$  S,  $115^{\circ} 40'.18$  E. Gambar 4.3 menunjukkan lokasi dari area tersebut. Lokasi tersebut memungkinkan terjadinya *head-on collision* atau tubrukan antara 2 buah kapal yang berlayar berlawanan arah. Berdasarkan desain, TSS memiliki panjang lintasan ( $Lw$ ) yaitu 68 km dengan lebar alur pelayaran 5 km. Pada skenario ini, distribusi kapal dinyatakan sebagai distribusi normal dengan nilai standar deviasi yaitu 1250 m.

Pada skenario ini, kelompok kapal  $i$  adalah kapal *bulk carrier* dengan panjang 275-300 m yang berlayar dari arah selatan ke utara, dan kapal  $j$  adalah kapal *bulk carrier* dengan panjang 275-300 m yang berlayar dari arah utara ke selatan. Perhitungan dilakukan dengan tahapan sama dengan tahapan pada 4.3.1 dengan perubahan pada jumlah kapal yang melintas, yaitu kapal  $i$  sejumlah 420 unit dan kapal  $j$  sejumlah 312 unit, sehingga perhitungan dilakukan sebagai berikut:

1. Dari nilai *collision probability* tersebut, nilai *geometric number* dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut.

$$N_G^{head-on} = Lw \sum_{i,j} P_{Gi,j}^{head-on} \cdot \frac{V_{ij}}{V_i \cdot V_j} (Q_i \cdot Q_j)$$

$$N_G^{head-on} = 68000 \cdot \sum_{i,j} 0,00003487 \cdot \frac{15,0216}{7,51 \cdot 7,51} \left( \frac{420 \cdot 312}{30 \times 24 \times 3600} \right)$$

$$N_G^{head-on} = 0,379692$$

2. Menghitung frekuensi *head-on collision* dengan mengalikan *geometric number* dengan *causation probability* ( $P_c$ ) sebesar 0,00005 sebagai berikut:

$$N_O = N_G \times P_c$$

$$N_O = 0,379692 \times 0,00005$$

$$N_O = 0,00001898$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara keseluruhan menggunakan 2 nilai *causation probability*, frekuensi tubrukan kapal yang berpotensi terjadi pada tahun 2035 terdapat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil perhitungan head-on collision di tahun 2035

Sumber	Nilai Pc	Frekuensi Tubrukan
Fujii (1971)	0,00005	0,000776229
Mcduff (1974)	0,000315	0,004890243

#### 4.4.2 Overtaking Collision

Analisis dilakukan pada jalur TSS yang sama dengan analisis *head-on collision* yaitu diantara koordinat 08° 28'.01 S, 115° 49'.10 E dan koordinat 08° 35'.21 S, 115° 46'.61 E yang terletak diantara dua *precautionary area* di Selat Lombok. Gambar 4.3 menunjukkan lokasi dari area tersebut. Lokasi tersebut dipilih karena memungkinkan terjadinya *overtaking collision* atau tubrukan yang terjadi ketika terdapat satu kapal yang memiliki kecepatan lebih tinggi ingin mendahului satu kapal lain dalam suatu jalur yang sama. Berdasarkan desain TSS, lokasi tersebut memiliki panjang lintasan ( $Lw$ ) yaitu 14 km dengan lebar alur pelayaran 5 km. Pada skenario ini, distribusi kapal dinyatakan sebagai distribusi normal dengan nilai standar deviasi yaitu 1852 m.

Pada skenario ini, kelompok kapal  $i$  adalah kapal *oil product tanker* dengan panjang 175-200 m yang berlayar dari arah selatan ke utara, dan kapal  $j$  adalah kapal *bulk carrier* dengan panjang 275-300 m yang berlayar dengan arah yang sama. Perhitungan dilakukan dengan tahapan sama dengan tahapan pada 4.3.2 dengan perubahan pada jumlah kapal yang melintas, yaitu kapal  $i$  sejumlah 35 unit dan kapal  $j$  sejumlah 420 unit, sehingga perhitungan dilakukan sebagai berikut:

1. Dari nilai *collision probability* tersebut, nilai *geometric number* dapat diketahui dengan formula sebagai berikut.

$$N_G^{overtaking} = Lw \sum_{i,j} P_{Gi,j}^{overtaking} \frac{V_{ij}}{V_i V_j} (Q_i \cdot Q_j)$$

$$N_G^{overtaking} = 68000 \cdot \sum_{i,j} 0,0176494 \cdot \frac{0,154332}{7,66 \cdot 7,51} \left( \frac{35 \cdot 420}{30 \times 24 \times 3600} \right)$$

$$N_G^{overtaking} = 0,01824602$$

2. Menghitung frekuensi *overtaking collision* dengan mengalikan *geometric number* dengan *causation probability* ( $P_c$ ) sebesar 0,000111 sebagai berikut:

$$N_O = N_G \times P_c$$

$$N_O = 0,01824602 \times 0,000111$$

$$N_O = 0,000002007$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara keseluruhan, frekuensi *overtaking collision* yang berpotensi terjadi di Selat Lombok pada tahun 2035 adalah 0,002808134.

#### 4.4.3 Crossing Collision

Analisis untuk skenario *crossing collision* dilakukan di daerah *precautionary area* bagian selatan sesuai dengan desain TSS yang sudah disetujui. Gambar 4.4 menunjukkan lokasi area tersebut. Analisis dilakukan di area tersebut karena memungkinkan terjadinya *crossing collision* atau tubrukan yang terjadi ketika terdapat satu kapal menubruk satu kapal lainnya yang memiliki arah gerak berpotongan dengan alur pelayarannya, yaitu kapal yang melintasi Selat Lombok dari utara ke selatan atau sebaliknya dengan kapal yang menyebrangi Selat Lombok dari Bali ke Lombok ataupun sebaliknya.

Pada skenario ini, kelompok kapal *i* adalah kapal *passenger* dengan panjang 25-50 m yang berlayar menyebrangi Selat Lombok, dan kapal *j* adalah kapal *bulk carrier* dengan panjang 275-300 m yang berlayar dari arah selatan ke utara. Perhitungan dilakukan dengan tahapan sama dengan tahapan pada 4.3.3 dengan perubahan pada jumlah kapal yang melintas, yaitu kapal *i* sejumlah 186 unit dan kapal *j* sejumlah 420 unit, sehingga perhitungan dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan *geometric number* dengan memasukkan nilai yang sudah didapatkan sebelumnya menggunakan formula berikut.

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i \cdot Q_j}{V_i \cdot V_j} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta}$$

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{186 \cdot 420}{8,643 \cdot 7,511} 355,394 \cdot 8,136 \frac{1}{\sin \theta}$$

$$N_G^{crossing} = 1,3425$$

2. Menghitung frekuensi *overtaking collision* dengan mengalikan *geometric number* dengan *causation probability (Pc)* sebesar 0,0000129 sebagai berikut:

$$N_O = N_G \times P_C$$

$$N_O = 1,3425 \times 0,0000123$$

$$N_O = 0,00016513$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara keseluruhan, frekuensi *crossing collision* yang berpotensi terjadi di Selat Lombok pada tahun 2035 terdapat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil perhitungan frekuensi *crossing collision* di tahun 2035

Sumber	Nilai Pc	Frekuensi Tubrukan
Fujii (1971)	0,000123	0,021362125
Mcduff (1974)	0,000095	0,016499202

#### 4.5 Perhitungan Frekuensi Tubrukan Kapal sebelum TSS

Untuk membandingkan frekuensi tubrukan dengan setelah TSS berlaku, pada studi ini dihitung pula frekuensi tubrukan kapal yang terjadi sebelum TSS berlaku. Perhitungan dilakukan menggunakan formula yang sama dengan perhitungan pada sub bab 4.3 dan 4.4. Dari perhitungan tersebut, didapatkan hasil frekuensi tubrukan menggunakan kedua nilai *collision probability* dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Frekuensi tubrukan sebelum dan sesudah TSS berlaku

Jenis Tubrukan	Sebelum TSS	Sesudah TSS
<i>Head-on</i>	0,110424682	0,0026097
<i>Overtaking</i>	0,000557624	0,001149
<i>Crossing</i>	0,010812724	0,009254

Dari Tabel 4.12, terlihat bahwa sesudah TSS diberlakukan peluang frekuensi tubrukan yang terjadi menurun secara signifikan, khususnya pada *head-on collision* dikarenakan dikarenakan terdapat pemisahan alur untuk kapal yang bergerak ke utara dengan yang bergerak ke selatan. Pada *crossing collision*, terdapat sedikit pengurangan frekuensi dikarenakan nilai *collision probability* yang digunakan ketika menghitung TSS lebih kecil. Terjadi peningkatan nilai frekuensi pada *overtaking collision* dikarenakan sebelum TSS berlaku, kapal yang bergerak ke arah utara ataupun selatan masing-masing memiliki luas yang lebih besar dibandingkan setelah TSS.

#### 4.6 Pemodelan Persebaran Minyak Akibat Tubrukan Kapal

Pada studi ini, analisis potensi persebaran minyak sebagai konsekuensi dari tubrukan antar kapal dilakukan dengan pemodelan menggunakan *General NOAA Operational Modelling Environment* (GNOME) menggunakan dua skenario, yaitu menggunakan titik dalam TSS serta titik di luar TSS yang masih dapat dilalui oleh kapal setelah TSS diberlakukan. Data yang diperlukan oleh *software* tersebut antara lain adalah:

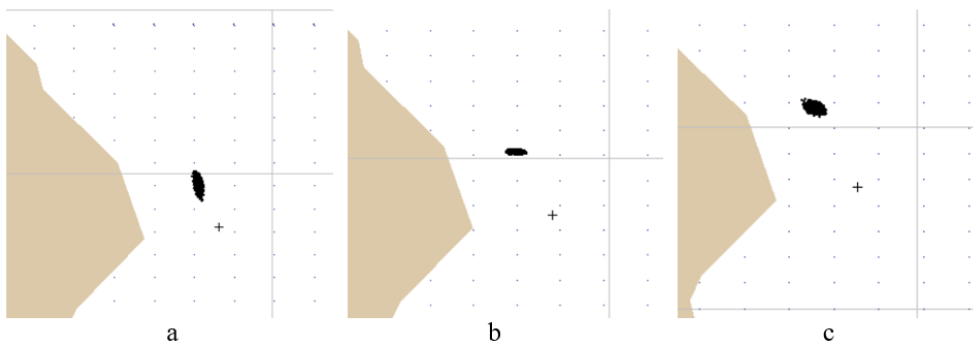
- Volume minyak yang tumpah  
Skenario yang digunakan adalah dengan kapal *double hull crude oil tanker* dengan spesifikasi sebagai berikut:
  - Length* (L) = 249 m
  - Width* (B) = 44 m
  - Draught* (T) = 8,2 m
  - Depth* (D) = 21,8 m
  - Deadweight* = 115527 DWT

Kapal dengan spesifikasi tersebut dipilih karena termasuk dalam kelompok kapal tanker dengan risiko tubrukan tertinggi yang sudah dihitung sebelumnya. Kapal dengan spesifikasi yang disebutkan telah dianalisis pada studi sebelumnya oleh Goerlandt (2017) tentang peluang volume minyak yang tumpah dari kapal tersebut yaitu sebesar 13.350 m<sup>3</sup> setelah 6 jam terjadi tumpahan.

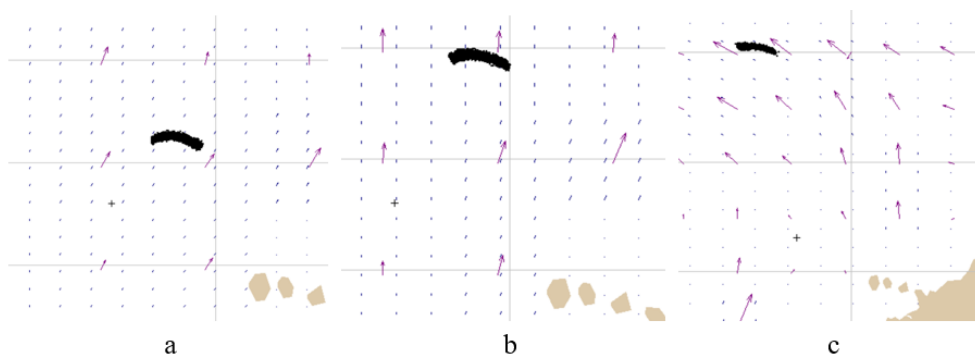
- Peta lokasi  
Peta dari selat Lombok sebagai lokasi yang dianalisa didapatkan dari situs milik NOAA.
- Koordinat terjadinya tumpahan minyak  
Koordinat yang digunakan sebagai titik terdekat terjadinya tumpahan minyak sebelum TSS diberlakukan adalah 08° 46' S, 115° 39' E untuk Nusa Penida dan 08° 17' S, 115° 55' E untuk kepulauan Gili serta koordinat untuk titik yang masih dapat dilalui oleh kapal di luar TSS setelah TSS diberlakukan adalah 08° 52' S, 115° 37' E untuk Nusa Penida and 08°15' 14''S, 116°02'47'' E untuk Kepulauan Gili.

#### 4.6.1 Skenario 1 Tumpahan Minyak

Titik terdekat dari area konservasi yang dapat dilalui kapal dalam jalur TSS adalah 08° 46' S, 115° 39' E untuk Nusa Penida dan 08° 17' S, 115° 55' E untuk kepulauan Gili. Permodelan yang dilakukan menggunakan GNOME, dengan tipe minyak *medium crude oil* dan tumpahan diasumsikan terjadi selama 6 jam. Volume tumpahan minyak yang masih mengambang di laut, mencapai pantai, dan yang sudah menguap dan terdispersi setelah 36 jam terdapat di Tabel 4.13. Tanda silang berwarna hitam menunjukkan lokasi terjadinya tumpahan dan titik hitam menunjukkan lokasi minyak dengan perkiraan terbaik. Hasil permodelan menunjukkan tumpahan minyak tidak mencapai garis dan bergerak menjauhi kawasan konservasi hingga 36 jam setelah terjadi tumpahan walaupun tumpahan minyak sempat mendekati Nusa Penida.



Gambar 4. 6 Hasil permodelan pada skenario 1 dekat Nusa Penida setelah (a) 12 jam, (b) 24 jam, dan (c) 36 jam.



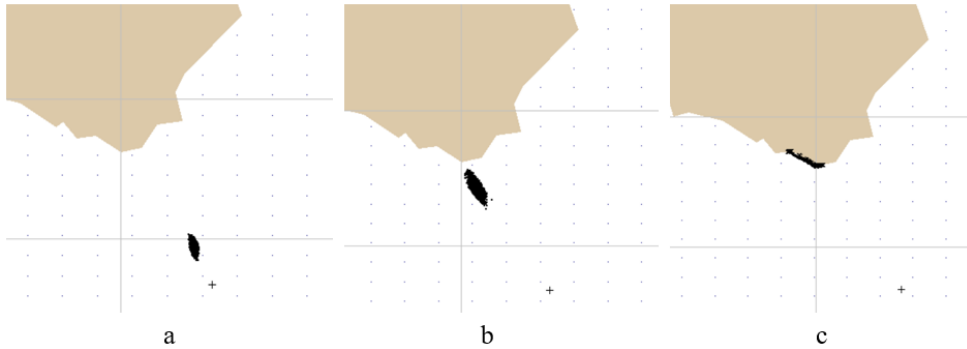
Gambar 4. 7 Hasil permodelan pada skenario 1 dekat Kepulauan Gili setelah (a) 12 jam, (b) 24 jam, dan (c) 36 jam.

Tabel 4. 13 Volume minyak yang tumpah setelah 36 jam pada skenario 1

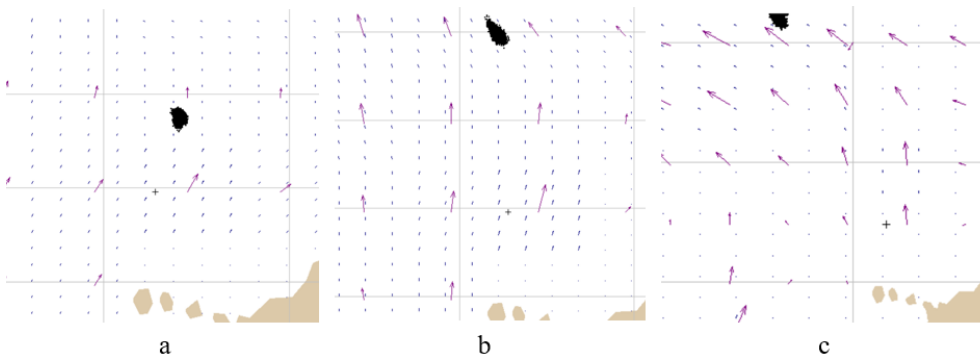
Keterangan	Volume (m <sup>3</sup> )	
	Nusa Penida	Gili
Mengapung di laut	9872 (73,9%)	10053 (75,3%)
Mencapai pantai	0	0
Menguap dan terdispersi	3478 (26,1%)	3297 (24,7%)

#### 4.6.2 Skenario 2 Tumpahan Minyak

Titik di luar TSS yang masih dapat dilalui kapal dekat dengan area konservasi adalah 08° 52' S, 115° 37' E untuk Nusa Penida dan 08°15' 14''S, 116°02'47''E untuk Kepulauan Gili. Pemodelan yang dilakukan menggunakan GNOME, dengan tipe minyak *medium crude oil* dan tumpahan diasumsikan terjadi selama 6 jam. Volume tumpahan minyak yang masih mengambang di laut, mencapai pantai, dan yang sudah menguap dan terdispersi setelah 36 jam terdapat di Tabel 4.14. Hasil permodelan pada kasus dekat Kepulauan Gili menunjukkan tidak ada tumpahan minyak yang mencapai pantai, namun untuk kasus dekat Nusa Penida, tumpahan minyak sudah bergerak mendekati dalam waktu 24 jam dan mencapai garis pantai setelah 25 jam 30 menit dari kejadian tumpahan minyak.



Gambar 4. 8 Hasil permodelan pada skenario 2 dekat Nusa Penida setelah (a) 12 jam, (b) 24 jam, dan (c) 36 jam.



Gambar 4. 9 Hasil permodelan pada skenario 2 dekat Kepulauan Gili setelah (a) 12 jam, (b) 24 jam, dan (c) 36 jam.

Tabel 4. 14 Volume minyak yang tumpah setelah 36 jam pada skenario 2

Keterangan	Volume (m3)	
	Nusa Penida	Gili
Mengapung di laut	1000 (7,5%)	9926 (74,3%)
Mencapai pantai	8888 (66,6%)	0
Menguap dan terdispersi	3462 (25,9%)	3424 (25,7%)

#### 4.7 Risk Matrix

Setelah mengetahui banyaknya tumpahan minyak yang berpotensi terjadi dan frekuensi tubrukan yang melibatkan kapal tanker, kedua data tersebut dapat dimasukkan ke dalam *risk matrix* untuk mengetahui tingkat keparahan risiko yang mungkin terjadi. Berdasarkan hasil perhitungan, frekuensi kecelakaan yang melibatkan kapal tanker di skenario tumpahan minyak tersebut yaitu 0,000468505



dan jumlah minyak yang tumpah yaitu 13.350 m<sup>3</sup> atau sama dengan 12.282 ton. Gambar 4.13 menunjukkan *risk matrix* dengan kombinasi nilai keduanya.

		Consequence					
		None	Negligible	Significant	Serious	Critical	Catastrophic
Frequency	>10	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1-10	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	0,1-1	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
	0,01-0,1	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red
	0,001-0,01	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	0,0001-0,001	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow with checkmark
	0,00001-0,0001	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
	<0,00001	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Gambar 4. 10 Hasil pemetaan pada Risk Matrix

Berdasarkan standar DNV GL, tumpahan minyak di atas 300 ton dikategorikan sebagai *catastrophic*. Sehingga didapatkan tingkat risiko yang mungkin terjadi masuk dalam kategori *unwanted*.

#### 4.8 Langkah Mitigasi

Hasil dari perhitungan risiko menunjukkan risiko yang ditimbulkan dari pemberlakuan TSS berada pada posisi *unwanted* atau tidak diinginkan dengan rincian frekuensi berada pada kelas -3 dan konsekuensi berada pada level *catastrophic*. Untuk menurunkan risiko tersebut diperlukan langkah mitigasi dengan menurunkan peluang frekuensi tubrukan ataupun konsekuensi yang dihasilkan. Nilai frekuensi tubrukan *tanker* yang berpeluang terjadi yaitu 4-5 kecelakaan dalam 10000 tahun yang menunjukkan bahwa nilai frekuensi sudah cukup rendah. Hasil analisa konsekuensi yang berada pada level paling parah menunjukkan bahwa diperlukan langkah mitigasi, ditambah lagi dengan hasil permodelan tumpahan minyak yang menunjukkan minyak berpeluang mencapai garis pantai dalam 25 jam pada skenario 2 dekat Nusa Penida.

Langkah mitigasi yang dapat dilakukan untuk mencegah minyak mencapai garis pantai adalah dengan penggunaan *oil boom*. Berdasarkan Idris (2014), *oil boom* digunakan secara terstruktur untuk mengurung minyak sebelum menggunakan *skimmer* dan separator untuk mengangkat minyak. Skimmer adalah alat mekanis untuk mengambil minyak dari permukaan sungai, danau, kanal, pelabuhan atau laut

lepas. Penggunaan *oil boom* telah banyak dilakukan pada kejadian tumpahan minyak di masa lampau, termasuk di Indonesia. Pemasangan *oil boom* dilakukan menggunakan kapal apabila tumpahan terjadi cukup jauh dari garis pantai. Gambar 4.11 memperlihatkan pemasangan *oil boom* pada kecelakaan kapal *tanker*. Dikutip dari *Technical Information Paper: Use of Booms in Oil Pollution Response* dari ITOPF, *oil boom* umumnya memiliki satu atau lebih fungsi sebagai berikut:

1. Pengurungan dan pengonsentrasian minyak, dengan mengitari minyak yang terapung untuk mencegah minyak menyebar di permukaan air dan meningkatkan ketebalannya untuk membantu pengangkatan
2. Defleksi, dengan mengarahkan minyak ke titik pengumpulan di garis pantai untuk pengangkatan menggunakan pompa, truk dengan vakum, ataupun metode lainnya.
3. Proteksi, dengan mengarahkan minyak menjauhi wilayah yang penting secara ekonomis ataupun sensitive secara biologis seperti *cooling-water intakes* atau wilayah konservasi.



Gambar 4. 11 Contoh penggunaan *oil boom* untuk mencegah penyebaran minyak dari kecelakaan kapal

Sumber: *Technical Information Paper: Use of Booms in Oil Pollution Response-ITOPF*

Berdasarkan hasil pemodelan tumpahan minyak, diketahui tumpahan minyak yang terjadi akibat tubrukan kapal yang melibatkan *tanker* di dekat Nusa Penida berpeluang mencapai garis pantai dalam 25 jam setelah terjadinya tubrukan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebelum 25 jam, harus dilakukan pencegahan minyak mencapai garis pantai yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi lingkungan. Mengingat cukup sempitnya waktu tersebut, diperlukan kapal beserta *oil boom* yang disiagakan di wilayah Selat Lombok sehingga apabila terjadi tumpahan minyak, *oil boom* dapat segera digunakan.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan yang dilakukan di bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil perhitungan frekuensi tubrukan kapal setelah *traffic separation scheme* diberlakukan di Selat Lombok yaitu  $2,61 \times 10^{-3}$  untuk *head-on collision*,  $1,11 \times 10^{-3}$  untuk *overtaking collision*, dan  $9,25 \times 10^{-3}$  untuk *crossing collision*. Sehingga total dari frekuensi tubrukan yang berpotensi terjadi adalah  $1,29 \times 10^{-2}$  atau 1 kecelakaan dalam 100 tahun. Nilai tersebut menunjukkan penurunan yang signifikan dibandingkan sebelum TSS diberlakukan yaitu  $1,22 \times 10^{-1}$  atau 1 kecelakaan dalam 10 tahun dengan rincian  $1,10 \times 10^{-1}$  untuk *head-on collision*,  $5,5 \times 10^{-4}$  untuk *overtaking collision*, dan  $1,08 \times 10^{-2}$  untuk *crossing collision*. Terjadi peningkatan nilai frekuensi pada *overtaking collision* dikarenakan sebelum TSS berlaku, kapal yang bergerak ke arah utara ataupun selatan masing-masing memiliki luas yang lebih besar dibandingkan setelah TSS. Hal tersebut terjadi karena belum terdapat pemisahan jalur sehingga setiap kapal dibolehkan menggunakan alur selebar mungkin. Dikarenakan hal tersebut, ketika dimasukkan ke dalam rumus hasilnya menunjukkan nilai yang lebih kecil saat sebelum TSS. Di sisi lain, pengurangan yang signifikan terjadi pada frekuensi *head-on collision* dikarenakan terdapat pemisahan alur untuk kapal yang bergerak ke utara dengan yang bergerak ke selatan. Pada *crossing collision*, terdapat sedikit pengurangan frekuensi dikarenakan nilai *collision probability* yang digunakan ketika menghitung TSS lebih kecil.
2. Hasil dari perhitungan frekuensi kecelakaan di masa depan yaitu pada tahun 2035, menunjukkan nilai  $4,89 \times 10^{-3}$  untuk *head-on collision*,  $2,8 \times 10^{-3}$  untuk *overtaking collision*, dan  $1,65 \times 10^{-2}$  untuk *crossing collision* sehingga memiliki total  $2,42 \times 10^{-2}$ . Hasil dari perhitungan tersebut menunjukkan bahwa walaupun kepadatan lalu lintas kapal meningkat cukup signifikan dibanding tahun 2020, *traffic separation scheme* masih cukup efektif untuk mengurangi risiko terjadinya tubrukan kapal di Selat Lombok melihat kecilnya peluang frekuensi tubrukan kapal yang terjadi di tahun tersebut.
3. Hasil permodelan sebaran tumpahan minyak menunjukkan setelah TSS berlaku, hanya skenario tubrukan yang terjadi di luar TSS dekat Nusa Penida yang berpotensi mencapai garis pantai. Dalam tugas akhir ini, tumpahan minyak yang dihitung hanya yang berasal dari kapal tanker. Berdasarkan perhitungan frekuensi tubrukan kapal tanker, didapatkan hasil yaitu  $4,68 \times 10^{-4}$ . Dari kedua hasil tersebut, berdasarkan *risk matrix* didapatkan hasil bahwa risiko yang ditimbulkan termasuk dalam kategori *unwanted*. Untuk mengurangi tingkat

konsekuensi khususnya pada skenario yang disebutkan sebelumnya, penyiagaan kapal beserta *oil boom* di wilayah Selat Lombok dapat dilakukan mengingat pada skenario tersebut minyak akan mencapai garis pantai dalam 25 jam setelah tubrukan terjadi.

## 5.2 Saran

Dari penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya mengenai topik yang sama, yaitu:

1. Pada penelitian ini, nilai *causation probability* menggunakan hasil penelitian Fujii berdasarkan lalu lintas kapal di Jepang dan Mcduff berdasarkan lalu lintas kapal di Selat Dover dikarenakan keterbatasan data dan aplikasi. Untuk penelitian selanjutnya, agar mendapatkan nilai yang lebih akurat disarankan untuk melakukan perhitungan *causation probability* sesuai lokasinya menggunakan *Bayesian Network* seperti beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di berbagai lokasi di dunia.
2. Selain konsekuensi dari sisi pencemaran akibat tumpahan minyak, konsekuensi dari sisi penambahan biaya juga dapat diperhitungkan mengingat beberapa jalur pelayaran menjadi lebih jauh setelah TSS diberlakukan. Penambahan biaya dapat dihitung dari sisi konsumsi bahan bakar yang meningkat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Avesina, M. A., 2018. 'PENILAIAN RISIKO TERJADINYA TUBRUKAN KAPAL & KAPAL KANDAS DAN PEMODELAN SEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI SELAT LOMBOK'.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Bali. 2020. Produk Domestik Regional Bruto Provinsi Bali Menurut Lapangan Usaha.
- Biro Komunikasi, 2020. Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi. [online]  
Available at: [www.maritim.go.id](http://www.maritim.go.id)  
[Accessed 31 June 2020]
- Ceyhun, G. C. 2014. 'The Impact of Shipping Accidents on Marine Environment: A Study of Turkish Seas', *European Scientific Journal*
- Crotts, J.C. and Mazanec, J.A., 2013. Diagnosing the impact of an event on hotel demand: The case of the BP oil spill. *Tourism Management Perspectives*, 8, pp.60-67.
- DNV-GL. 2015. Hazard Identification and Qualitative Risk Evaluation of the Navigational risk for the Omø Syd Wind Farm.
- Dong, Y. Frangopol, D. M. 2015. 'Probabilistic ship collision risk and sustainability assessment considering risk attitudes'.
- Friis-Hansen, P., Ravn, E.S. and Engberg, P.C., 2008. Basic modelling principles for prediction of collision and grounding frequencies. IWRAP Mark II Working Document, pp.1-59.
- Fujii Y., Tanaka K. 1971. Traffic capacity. *Journal of Navigation*, 24, 543-552.
- Goerlandt, F., Montewka, J., 2013. 'A probabilistic model for accidental cargo oil outflow from product tankers in a ship-ship collision', *Marine Pollution Bulletin*.
- Hui, G. 2019. 'Modelling Oil Spilling on Water'.
- Idris, Jamaliah. 2014. Oil Spills and Sustainable Cleanup Approach. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 7. 272-280.
- IMO. 1972. International Regulations for Preventing Collisions at Sea – Rule 10
- ITOPF. 2014. *Technical Information Paper: Fate of Marine Oil Spills*.

Kementerian Perhubungan. 2016. Statistik Perhubungan 2016.

Kim, K. I. Park, G. K. Jeong, J. S., 2011. 'Analysis of marine accident probability in Mokpo waterways', *Journal of Navigation and Port Research International Edition*

KNKT, 2016. Data Investigasi Kecelakaan Pelayaran Tahun 2010 – 2016.

Kristiansen, S. 2005. *Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis*. United Kingdom: Elsevier

Lecklin, T., Ryömä, R. and Kuikka, S., 2011. A Bayesian network for analyzing biological acute and long-term impacts of an oil spill in the Gulf of Finland. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), pp.2822-2835.

Marlita, O. A. Adiwijaya. Kuniati, A. P., 2013. 'Anomaly Detection pada Intrusion Detection System (IDS) Menggunakan Metode Bayesian Network'.

Macduff, T. 1974. The probability of vessel collisions. *Ocean Industry* 9(9): 144–148.

Montewka, J., Weckström, M. and Kujala, P., 2013. A probabilistic model estimating oil spill clean-up costs—a case study for the Gulf of Finland. *Marine pollution bulletin*, 76(1-2), pp.61-71

Purnomo, D. A., 2019. 'FORMAL SAFETY ASSESSMENT FOR SHIP COLLISION IN BALI STRAIT'.

Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI Angkatan Laut. 2019. '*Establishment of Traffic Separation Schemes and Associated Routeing Measures in Sunda and Lombok Straits*'

Rahman, M. H., 2014. 'Probability Analysis of Vessel Collisions and Groundings in Southeast Texas Waterways'.

Samuels, W. B. Bahadur, R. Amstutz, D. E. Ziemniak, C. 2013. 'Development of a Global Oil Spill Modelling System'.

Ugurlu, O., Kose, E., Yildirim, U., Yuksekyildiz, E. 2013. 'Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method', *Routledge*

Wang, J. Zhang, Q. 2014. 'Model and Algorithm Design for Cargo Shipping Safety Based on Fuzzy- Precise Bayesian Network'. *Journal of Networks*

Zeng, Qingcheng & Yang, Luyan & Zhang, Qian. 2014. Modeling the sailing risk of RoPax ships with Bayesian Network. *Transport*. 32. 1-8. 10.3846/16484142.2014.943806.

## LAMPIRAN

Frekuensi *head-on collision* setelah TSS berlaku

Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Gas Tanker	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo	Passenger	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
<b>Crude Oil</b>	2,97E-07	9,95E-07	6,33E-07	4,93E-07	1,39E-05	2,71E-08	9,01E-08	3,21E-08	4,97E-08	5,50E-08	2,47E-07	1,68E-05
<b>Oil Product Tanker</b>	9,95E-07	5,50E-07	8,00E-07	5,20E-07	1,89E-05	4,10E-08	9,48E-08	4,33E-08	5,03E-08	5,88E-08	2,25E-07	2,13E-05
<b>Gas Tanker</b>	6,33E-07	8,00E-07	2,59E-07	3,96E-07	1,25E-05	2,98E-08	7,92E-08	3,61E-08	3,90E-08	4,94E-08	1,84E-07	1,36E-05
<b>General Cargo</b>	4,93E-07	5,20E-07	3,96E-07	1,26E-07	9,58E-06	3,69E-08	4,75E-08	2,24E-08	2,46E-08	2,94E-08	1,07E-07	9,98E-06
<b>Bulk Carrier</b>	1,39E-05	1,89E-05	1,25E-05	9,58E-06	1,44E-04	6,35E-07	1,82E-06	7,49E-07	9,75E-07	1,13E-06	4,54E-06	1,54E-04
<b>Ro-Ro Cargo</b>	2,71E-08	4,10E-08	2,98E-08	3,69E-08	6,35E-07	0,00E+00	3,17E-09	0,00E+00	1,82E-09	1,71E-09	1,31E-08	1,98E-08
<b>Passenger</b>	9,01E-08	9,48E-08	7,92E-08	4,75E-08	1,82E-06	3,17E-09	4,22E-09	3,15E-09	4,50E-09	5,07E-09	2,24E-08	3,93E-08
<b>Support Ship</b>	3,21E-08	4,33E-08	3,61E-08	2,24E-08	7,49E-07	0,00E+00	3,15E-09	0,00E+00	1,89E-09	1,76E-09	1,33E-08	1,70E-08
<b>Fishing Ship</b>	4,97E-08	5,03E-08	3,90E-08	2,46E-08	9,75E-07	1,82E-09	4,50E-09	1,89E-09	1,10E-09	2,50E-09	1,10E-08	1,46E-08
<b>Pleasure Boat</b>	5,50E-08	5,88E-08	4,94E-08	2,94E-08	1,13E-06	1,71E-09	5,07E-09	1,76E-09	2,50E-09	1,52E-09	1,36E-08	1,51E-08
<b>Other Ship</b>	2,47E-07	2,25E-07	1,84E-07	1,07E-07	4,54E-06	1,31E-08	2,24E-08	1,33E-08	1,10E-08	1,36E-08	1,68E-08	1,68E-08
											<b>Total</b>	0,0002175

Frekuensi *overtaking collision* setelah TSS berlaku

Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Gas Tanker	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo	Passenger	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
Crude Oil	8,93E-09	5,56E-07	1,62E-06	3,04E-07	2,53E-06	1,38E-07	5,35E-08	5,89E-08	1,37E-07	9,49E-08	1,75E-07	5,67E-06
Product Tanker	5,56E-07	4,73E-07	2,62E-06	5,45E-07	1,19E-05	1,71E-07	1,06E-07	5,23E-08	1,20E-07	1,42E-07	3,57E-07	1,65E-05
Gas Tanker	1,62E-06	2,62E-06	1,08E-08	1,13E-06	3,32E-05	1,01E-08	2,14E-07	1,56E-07	2,33E-07	1,99E-07	3,27E-07	3,54E-05
General Cargo	3,04E-07	5,45E-07	1,13E-06	1,10E-07	6,42E-06	7,54E-08	4,25E-08	2,84E-08	6,51E-08	6,67E-08	9,84E-08	6,90E-06
Bulk Carrier	2,53E-06	1,19E-05	3,32E-05	6,42E-06	1,80E-05	2,44E-06	1,11E-06	8,46E-07	2,45E-06	2,55E-06	4,36E-06	3,18E-05
Ro-Ro Cargo	1,38E-07	1,71E-07	1,01E-08	7,54E-08	2,44E-06	0,00E+00	1,76E-08	1,77E-08	1,63E-08	2,05E-08	1,28E-08	8,48E-08
Passenger	5,35E-08	1,06E-07	2,14E-07	4,25E-08	1,11E-06	1,76E-08	2,29E-09	7,01E-09	1,45E-08	9,70E-09	1,41E-08	4,76E-08
Support Ship	5,89E-08	5,23E-08	1,56E-07	2,84E-08	8,46E-07	1,77E-08	7,01E-09	9,19E-10	4,66E-09	3,63E-09	1,49E-08	2,41E-08
Fishing Ship	1,37E-07	1,20E-07	2,33E-07	6,51E-08	2,45E-06	1,63E-08	1,45E-08	4,66E-09	0,00E+00	5,11E-09	3,48E-08	3,99E-08
Pleasure Boat	9,49E-08	1,42E-07	1,99E-07	6,67E-08	2,55E-06	2,05E-08	9,70E-09	3,63E-09	5,11E-09	0,00E+00	2,60E-08	2,60E-08
Other Ship	1,75E-07	3,57E-07	3,27E-07	9,84E-08	4,36E-06	1,28E-08	1,41E-08	1,49E-08	3,48E-08	2,60E-08	4,24E-09	4,24E-09
											<b>Total</b>	9,29E-05



Frekuensi *crossing collision* setelah TSS berlaku

Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Gas Tanker	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
Crude Oil	0,00E+00	3,39E-06	6,70E-08	4,63E-07	0,00E+00	0,00E+00	1,10E-05	5,96E-06	1,90E-07	8,03E-06	1,20E-06	4,95E-07	3,08E-05
Oil Product Tanker	3,39E-06	4,26E-06	1,07E-07	3,36E-06	7,00E-05	1,74E-07	1,34E-05	6,61E-06	3,84E-07	8,75E-06	1,61E-06	1,71E-06	1,10E-04
Gas Tanker	6,70E-08	1,07E-07	3,11E-08	4,51E-07	1,68E-06	4,23E-09	9,16E-06	4,72E-06	1,65E-07	6,78E-06	1,00E-06	4,27E-07	2,44E-05
General Cargo	4,63E-07	3,36E-06	4,51E-07	2,86E-07	9,56E-06	2,38E-08	6,05E-06	3,22E-06	1,30E-07	2,22E-06	7,14E-07	3,66E-07	2,26E-05
Bulk Carrier	0,00E+00	7,00E-05	1,68E-06	9,56E-06	0,00E+00	0,00E+00	2,31E-04	1,27E-04	3,98E-06	1,69E-04	2,54E-05	1,03E-05	5,66E-04
Ro-Ro Cargo	0,00E+00	1,74E-07	4,23E-09	2,38E-08	0,00E+00	0,00E+00	5,22E-07	2,57E-07	9,09E-09	3,69E-07	5,60E-08	2,46E-08	1,24E-06
Passenger	1,10E-05	1,34E-05	9,16E-06	6,05E-06	2,31E-04	5,22E-07	1,05E-06	4,81E-07	4,74E-07	1,12E-06	6,09E-07	2,79E-06	6,53E-06
Fast Ferry	5,96E-06	6,61E-06	4,72E-06	3,22E-06	1,27E-04	2,57E-07	4,81E-07	0,00E+00	2,08E-07	2,15E-07	1,77E-07	1,30E-06	1,90E-06
Support Ship	1,90E-07	3,84E-07	1,65E-07	1,30E-07	3,98E-06	9,09E-09	4,74E-07	2,08E-07	7,50E-09	2,75E-07	5,56E-08	6,87E-08	4,07E-07
Fishing Ship	8,03E-06	8,75E-06	6,78E-06	2,22E-06	1,69E-04	3,69E-07	1,12E-06	2,15E-07	2,75E-07	2,51E-07	2,64E-07	1,71E-06	2,23E-06
Pleasure Boat	1,20E-06	1,61E-06	1,00E-06	7,14E-07	2,54E-05	5,60E-08	6,09E-07	1,77E-07	5,56E-08	2,64E-07	4,97E-08	3,18E-07	3,68E-07
Other Ship	4,95E-07	1,71E-06	4,27E-07	3,66E-07	1,03E-05	2,46E-08	2,79E-06	1,30E-06	6,87E-08	1,71E-06	3,18E-07	1,34E-07	1,34E-07
<b>Total</b>													0,0007712

Frekuensi *head-on collision* di tahun 2035

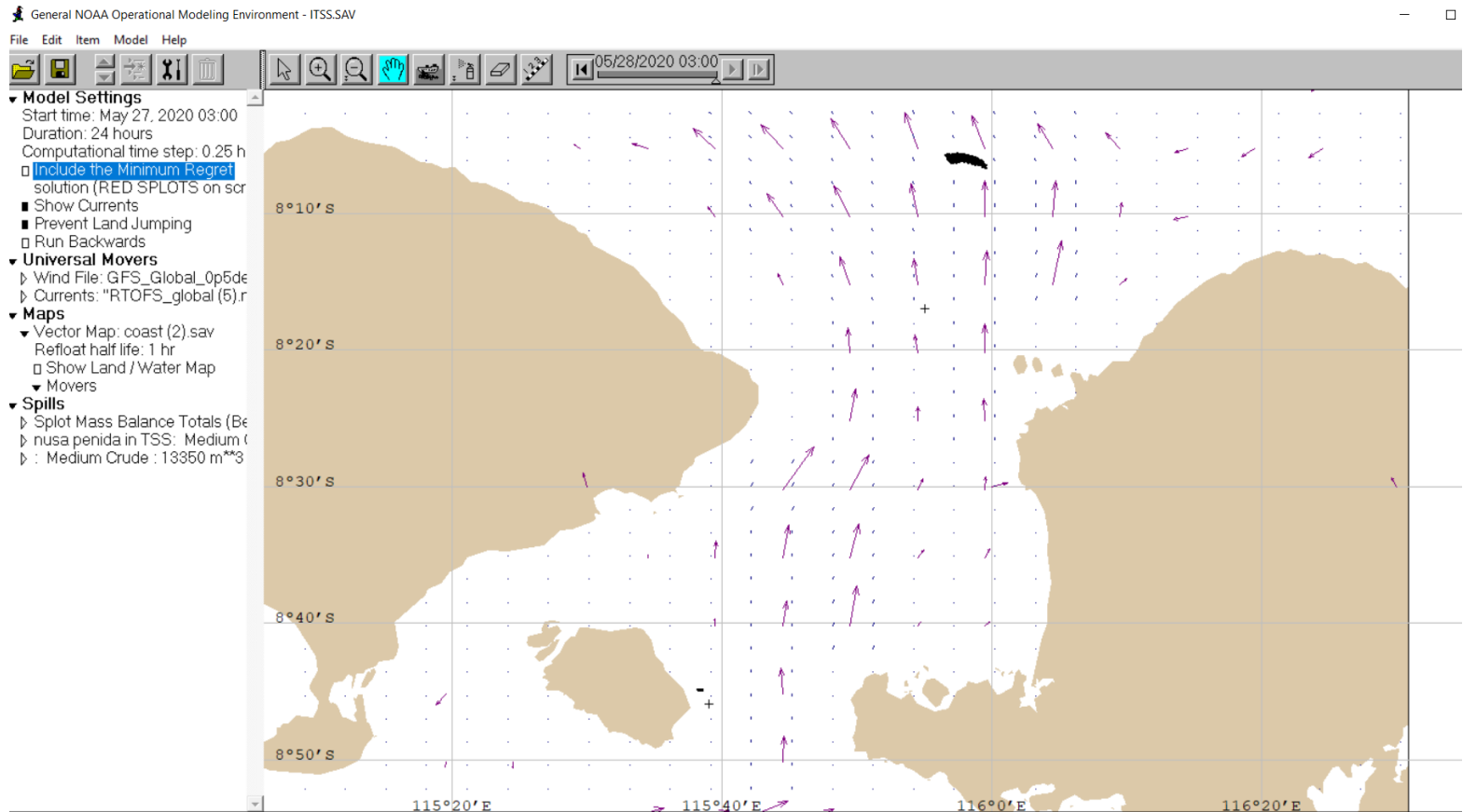
Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Gas Tanker	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo	Passenger	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
<b>Crude Oil</b>	5,567E-07	1,864E-06	1,186E-06	9,233E-07	2,610E-05	5,075E-08	1,689E-07	6,007E-08	9,307E-08	1,031E-07	4,637E-07	3,157E-05
<b>Oil Product Tanker</b>	1,864E-06	1,031E-06	1,498E-06	9,739E-07	3,540E-05	7,681E-08	1,776E-07	8,118E-08	9,426E-08	1,101E-07	4,222E-07	3,987E-05
<b>Gas Tanker</b>	1,186E-06	1,498E-06	4,853E-07	7,422E-07	2,338E-05	5,575E-08	1,483E-07	6,756E-08	7,315E-08	9,257E-08	3,449E-07	2,539E-05
<b>General Cargo</b>	9,233E-07	9,739E-07	7,422E-07	2,369E-07	1,796E-05	6,913E-08	8,893E-08	4,203E-08	4,613E-08	5,513E-08	1,999E-07	1,870E-05
<b>Bulk Carrier</b>	2,610E-05	3,540E-05	2,338E-05	1,796E-05	2,707E-04	1,189E-06	3,402E-06	1,404E-06	1,827E-06	2,112E-06	8,503E-06	2,892E-04
<b>Ro-Ro Cargo</b>	5,075E-08	7,681E-08	5,575E-08	6,913E-08	1,189E-06	0,000E+00	5,940E-09	0,000E+00	3,411E-09	3,201E-09	2,455E-08	3,711E-08
<b>Passenger</b>	1,689E-07	1,776E-07	1,483E-07	8,893E-08	3,402E-06	5,940E-09	7,903E-09	5,894E-09	8,438E-09	9,495E-09	4,196E-08	7,369E-08
<b>Support Ship</b>	6,007E-08	8,118E-08	6,756E-08	4,203E-08	1,404E-06	0,000E+00	5,894E-09	0,000E+00	3,543E-09	3,306E-09	2,496E-08	3,181E-08
<b>Fishing Ship</b>	9,307E-08	9,426E-08	7,315E-08	4,613E-08	1,827E-06	3,411E-09	8,438E-09	3,543E-09	2,057E-09	4,686E-09	2,068E-08	2,742E-08
<b>Pleasure Boat</b>	1,031E-07	1,101E-07	9,257E-08	5,513E-08	2,112E-06	3,201E-09	9,495E-09	3,306E-09	4,686E-09	2,854E-09	2,552E-08	2,837E-08
<b>Other Ship</b>	4,637E-07	4,222E-07	3,449E-07	1,999E-07	8,503E-06	2,455E-08	4,196E-08	2,496E-08	2,068E-08	2,552E-08	3,139E-08	3,139E-08
											<b>Total</b>	0,0004075

Frekuensi *overtaking collision* di tahun 2035

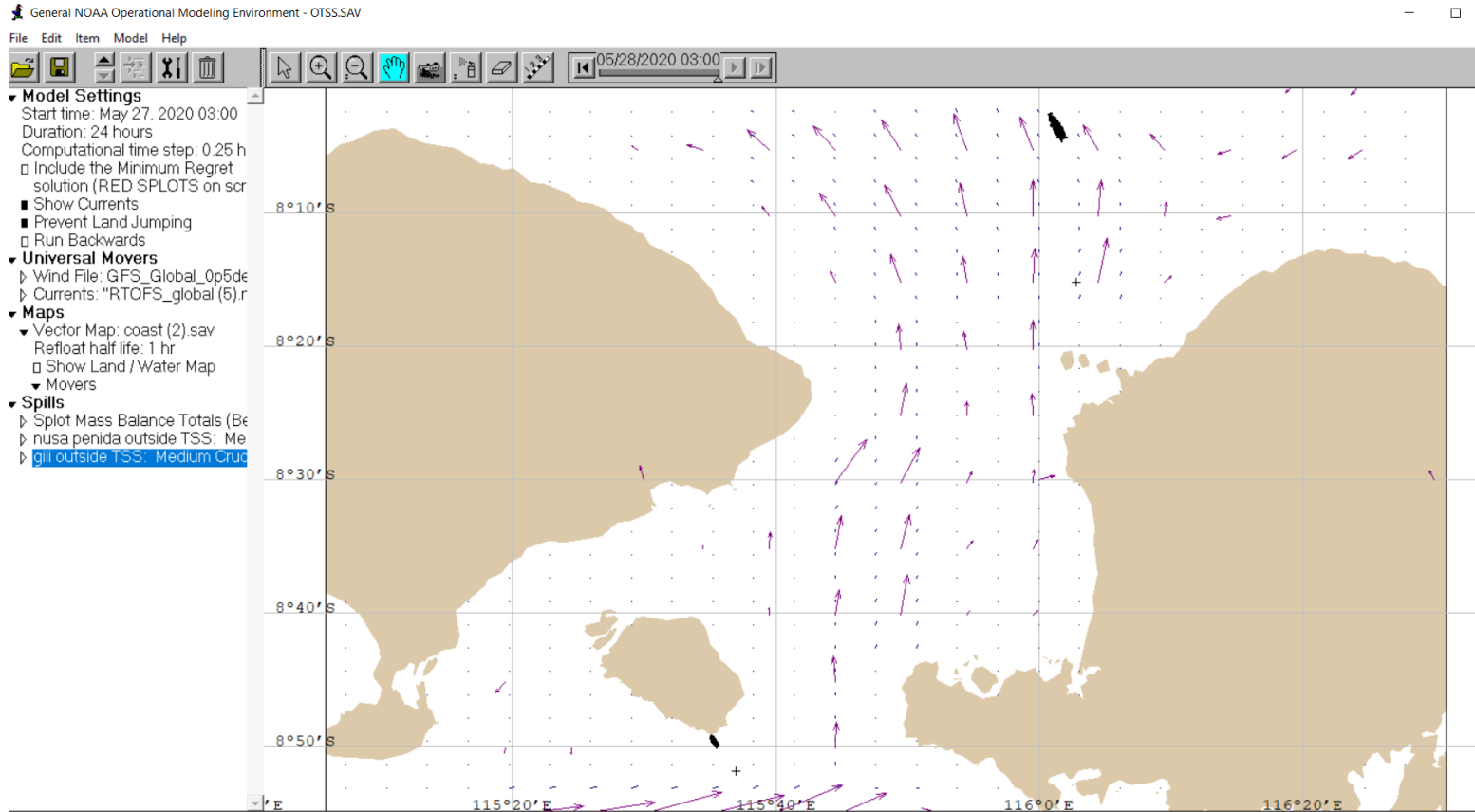
Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Gas Tanker	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo	Passenger	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
Crude Oil	2,25E-08	1,40E-06	4,07E-06	7,66E-07	6,36E-06	3,48E-07	1,35E-07	1,48E-07	3,44E-07	2,39E-07	4,40E-07	1,43E-05
Oil Product Tanker	1,40E-06	1,19E-06	6,59E-06	1,37E-06	2,99E-05	4,32E-07	2,67E-07	1,32E-07	3,03E-07	3,58E-07	8,99E-07	4,14E-05
Gas Tanker	4,07E-06	6,59E-06	2,72E-08	2,84E-06	8,36E-05	2,53E-08	5,39E-07	3,93E-07	5,86E-07	5,00E-07	8,23E-07	8,93E-05
General Cargo	7,66E-07	1,37E-06	2,84E-06	2,76E-07	1,62E-05	1,90E-07	1,07E-07	7,14E-08	1,64E-07	1,68E-07	2,48E-07	1,74E-05
Bulk Carrier	6,36E-06	2,99E-05	8,36E-05	1,62E-05	4,54E-05	6,14E-06	2,79E-06	2,13E-06	6,16E-06	6,42E-06	1,10E-05	8,00E-05
Ro-Ro Cargo	3,48E-07	4,32E-07	2,53E-08	1,90E-07	6,14E-06	0,00E+00	4,43E-08	4,45E-08	4,10E-08	5,16E-08	3,22E-08	2,14E-07
Passenger	1,35E-07	2,67E-07	5,39E-07	1,07E-07	2,79E-06	4,43E-08	5,77E-09	1,77E-08	3,66E-08	2,44E-08	3,56E-08	1,20E-07
Support Ship	1,48E-07	1,32E-07	3,93E-07	7,14E-08	2,13E-06	4,45E-08	1,77E-08	2,31E-09	1,17E-08	9,14E-09	3,74E-08	6,06E-08
Fishing Ship	3,44E-07	3,03E-07	5,86E-07	1,64E-07	6,16E-06	4,10E-08	3,66E-08	1,17E-08	0,00E+00	1,29E-08	8,77E-08	1,01E-07
Pleasure Boat	2,39E-07	3,58E-07	5,00E-07	1,68E-07	6,42E-06	5,16E-08	2,44E-08	9,14E-09	1,29E-08	0,00E+00	6,55E-08	6,55E-08
Other Ship	4,40E-07	8,99E-07	8,23E-07	2,48E-07	1,10E-05	3,22E-08	3,56E-08	3,74E-08	8,77E-08	6,55E-08	1,07E-08	1,07E-08
											<b>Total</b>	2,34E-04

Frekuensi *crossing collision* di tahun 2035

Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Gas Tanker	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
Crude Oil	0,00E+00	6,04E-06	1,19E-07	8,25E-07	0,00E+00	0,00E+00	1,96E-05	1,06E-05	3,39E-07	1,43E-05	2,15E-06	8,83E-07	5,49E-05
Oil Product Tanker	6,04E-06	7,59E-06	1,90E-07	5,99E-06	1,25E-04	3,10E-07	2,38E-05	1,18E-05	6,85E-07	1,56E-05	2,87E-06	3,05E-06	1,97E-04
Gas Tanker	1,19E-07	1,90E-07	5,55E-08	8,04E-07	2,99E-06	7,54E-09	1,63E-05	8,42E-06	2,94E-07	1,21E-05	1,78E-06	7,62E-07	4,35E-05
General Cargo	8,25E-07	5,99E-06	8,04E-07	5,11E-07	1,70E-05	4,24E-08	1,08E-05	5,73E-06	2,31E-07	3,96E-06	1,27E-06	6,53E-07	4,02E-05
Bulk Carrier	0,00E+00	1,25E-04	2,99E-06	1,70E-05	0,00E+00	0,00E+00	4,12E-04	2,26E-04	7,09E-06	3,00E-04	4,52E-05	1,84E-05	1,01E-03
Ro-Ro Cargo	0,00E+00	3,10E-07	7,54E-09	4,24E-08	0,00E+00	0,00E+00	9,31E-07	4,58E-07	1,62E-08	6,58E-07	9,99E-08	4,38E-08	2,21E-06
Passenger	1,96E-05	2,38E-05	1,63E-05	1,08E-05	4,12E-04	9,31E-07	1,88E-06	8,58E-07	8,45E-07	2,00E-06	1,09E-06	4,98E-06	1,16E-05
Fast Ferry	1,06E-05	1,18E-05	8,42E-06	5,73E-06	2,26E-04	4,58E-07	8,58E-07	0,00E+00	3,71E-07	3,84E-07	3,16E-07	2,32E-06	3,39E-06
Support Ship	3,39E-07	6,85E-07	2,94E-07	2,31E-07	7,09E-06	1,62E-08	8,45E-07	3,71E-07	1,34E-08	4,90E-07	9,91E-08	1,23E-07	7,25E-07
Fishing Ship	1,43E-05	1,56E-05	1,21E-05	3,96E-06	3,00E-04	6,58E-07	2,00E-06	3,84E-07	4,90E-07	4,48E-07	4,71E-07	3,05E-06	3,97E-06
Pleasure Boat	2,15E-06	2,87E-06	1,78E-06	1,27E-06	4,52E-05	9,99E-08	1,09E-06	3,16E-07	9,91E-08	4,71E-07	8,85E-08	5,67E-07	6,56E-07
Other Ship	8,83E-07	3,05E-06	7,62E-07	6,53E-07	1,84E-05	4,38E-08	4,98E-06	2,32E-06	1,23E-07	3,05E-06	5,67E-07	2,38E-07	2,38E-07
<b>Total</b>													0,001375

Tampilan akhir pada *software* GNOME untuk skenario 1

### Tampilan akhir pada *software* GNOME untuk skenario 2



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Aulya Fadilla Rachman dan lahir di ibukota Jakarta pada 20 Maret 1998, merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan suami-istri Bambang Djuhartono dan Etti Yulia. Penulis merupakan lulusan SDIT Nurul Fikri, SMPIT Nurul Fikri, dan SMAN 28 Jakarta, lalu melanjutkan pendidikannya ke jenjang sarjana pada tahun 2016 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama berkuliah, penulis tertarik pada bidang keandalan dan keselamatan sehingga memutuskan untuk bergabung di laboratorium *Reliability, Availability, Management and Safety* (RAMS). Penulis telah menjalani Kerja Praktik dua kali, yaitu di PT. Yasa Wahana Tirta Samudera (Samudera Shipyard) dan di PT. Pertamina Hulu Energi. Selama 4 tahun masa perkuliahan, penulis cukup aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan bidang Hubungan Luar dan juga di *National Association of Corrosion Engineer* (NACE) *student chapter* ITS bidang *public relation*. Selain itu, penulis juga turut aktif di kepanitiaan berbagai acara baik di dalam maupun di luar ITS seperti *Marine Company Visit*, *Marine Icon*, ITS EXPO, Petrolida, dan MASTIC 2020. Penulis telah mengikuti beberapa kegiatan pelatihan seperti Latihan Kepemimpinan Manajemen Mahasiswa Tingkat Pra-Dasar dan Tingkat Dasar, serta pelatihan *software* Auto-Cad.

Email : [rachman.fadil20@gmail.com](mailto:rachman.fadil20@gmail.com)

No. handphone : +6282261934800