



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI – ME141501

**PENILAIAN RISIKO TERJADINYA TUBRUKAN KAPAL & KAPAL
KANDAS DAN PEMODELAN SEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI
SELAT LOMBOK**

Muhammad Azka Avesina
NRP 0421144000118

Dosen Pembimbing
A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES, Ph.D
Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

SKRIPSI - ME 141501

PENILAIAN RISIKO TERJADINYA TUBRUKAN KAPAL & KAPAL KANDAS DAN PEMODELAN SEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI SELAT LOMBOK

Muhammad Azka Avesina
NRP 04211440000118

Dosen Pembimbing
A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES, Ph.D
Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI - ME 141501

SHIP COLLISION & GROUNDING RISK ASSESSMENT AND OIL SPILL DISPERSION MODELLING IN LOMBOK STRAIT

Muhammad Azka Avesina
NRP 04211440000118

Supervisors

A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES, Ph.D
Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PENILAIAN RISIKO TERJADINYA TUBRUKAN KAPAL & KAPAL KANDAS
DAN PEMODELAN SEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI SELAT LOMBOK**

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 :

Muhammad Azka Avesina

NRP. 04211440000118

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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

()

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

()

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LEMBAR PENGESAHAN

**PENILAIAN RISIKO TERJADINYA TUBRUKAN KAPAL & KAPAL KANDAS
DAN PEMODELAN SEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI SELAT LOMBOK**

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 :

Muhammad Azka Avesina

NRP. 04211440000118

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT

NIP. 197708022008011007

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Penilaian Risiko Terjadinya Tubrukan Kapal & Kapal Kandas dan Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak di Selat Lombok

Nama Mahasiswa : Muhammad Azka Avesina
NRP : 0421144000118
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1 : A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES, Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Letak geografis yang strategis menjadi salah satu alasan banyaknya kapal-kapal yang melewati Indonesia. Oleh karena itu berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2002, ditetapkan Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI). ALKI merupakan jalur yang ditetapkan bagi kapal atau pesawat asing yang akan melewati Indonesia yang terdiri tiga alur yang berbeda yaitu dari ALKI I, ALKI II dan ALKI III. Pada Selat Lombok yang merupakan perairan yang berada pada ALKI II terdapat beberapa pulau yang menjadi wilayah konservasi yaitu Kepulauan Gili (Gili Trawangan, Gili Meno, dan Gili Air) dan Pulau Nusa Penida. Selain sebagai ALKI II yang menghubungkan Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, Selat Lombok juga menghubungkan Pulau Bali dan Pulau Lombok sehingga berbagai jenis kapal dan ukuran melintas di jalur tersebut. Kondisi lalu lintas kapal saat melewati Selat Lombok memiliki potensi terjadinya tubrukan dan kejadian kandasnya kapal pada daerah yang diklasifikasikan sebagai wilayah konservasi. Kapal yang bertubrukan dan kandas berpotensi menumpahkan minyak yang dapat mencemari daerah konservasi tersebut. Salah satu tujuan dari skripsi ini adalah melakukan simulasi untuk mengetahui persebaran dari minyak yang tumpah di sekitar area konservasi. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai frekuensi tubrukan dan kandas adalah $6,82 \times 10^{-2}$ untuk skenario *Head-On Collision*, $1,13 \times 10^{-2}$ untuk skenario *Overtaking Collision*, $2,2 \times 10^{-2}$ untuk skenario *Crossing Collision*, $3,3 \times 10^{-1}$ untuk skenario *Powered Grounding*, dan $6,89 \times 10^{-7}$ untuk skenario *Drifting Grounding*. Nilai validasi untuk masing-masing skenario adalah 98,7% untuk skenario *Head-On Collision*, 99,1% untuk skenario *Overtaking Collision*, 99,06% untuk skenario *Crossing Collision*, 98,9% untuk skenario *Powered Grounding*, dan 94,3% untuk skenario *Drifting Grounding*. Simulasi persebaran tumpahan minyak dilakukan pada dua kondisi yang berbeda, yaitu arah angin yang bergerak ke Barat Laut dan Barat Daya. Pada kondisi ke dua, hasil simulasi menunjukkan bahwa tumpahan minyak akan mencemari daerah konservasi di Pulau Nusa Penida, sehingga mitigasi diperlukan untuk mengurangi dampak dari pencemaran tersebut. Pada skripsi ini, mitigasi dapat dilakukan dengan 4 metode, *In-Situ Burning*, *Sorbent*, *Solidifiers*, dan *Emulsion Treating Agent*.

Kata kunci : Tubrukan kapal, kapal kandas, penilaian risiko, IWRAP Theory, sebaran tumpahan minyak

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Ship Collision & Grounding Risk Assessment and Oil Spill Dispersion Modelling in Lombok Strait

Name of Student : **Muhammad Azka Avesina**
NRP : **04211440000118**
Department : **Marine Engineering**
Supervisor 1 : **A.A.B. Dinariyana Dwi .P. S.T., MES., Ph.D.**
Supervisor 2 : **Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.**

Abstract

Indonesia is known as the largest archipelagic country in the world. Strategic geographical location is one of the reasons that many International ships passing through Indonesia. Therefore, based on the Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 37 in year 2002, the Indonesian Archipelagic Sea Lane (IASL) is determined. IASL is the path established for foreign ships or aircraft that needs to pass through Indonesia. There are three different Archipelagic Sea Lane that established in Indonesia namely IASL I, IASL II and IASL III. In the Lombok Strait, which is the located in the IASL II, there are several islands that classified as conservation area, such as Gili Islands (Gili Trawangan, Gili Meno, and Gili Air) and Nusa Penida Island. Lombok Strait is meeting point for ships that sail in IASL II and ships that sail between Bali Island and Lombok Island. Due to the heavy traffic, ships that passing through in Lombok Strait have a probability to collide and run aground, damaging the conservational area. Ships that collide and grounding have the potential to spill oil that can pollute the conservation area. One of the objectives of this study is to conduct simulation in order to estimate the oil trajectory when the event of oil spills occur in this area. Based on the assessment, the collision and grounding frequency is 6.82×10^{-2} for the Head-On Collision scenario, 1.13×10^{-2} for Overtaking Collision scenario, $2,2 \times 10^{-2}$ for Crossing Collision scenario, $3,3 \times 10^{-1}$ for Powered Grounding scenarios, and 6.89×10^{-7} for Drifting Grounding scenarios. Validation values for each scenario were 98.7% for Head-On Collision scenarios, 99.1% for Overtaking Collision scenarios, 99.06% for Crossing Collision scenarios, 98.9% for Powered Grounding scenarios, and 94.3% for the Drifting Grounding scenario. The simulation of oil spill dispersion is done under two different conditions. First condition is when the wind and current moves to Northwest and second condition is when the wind and current moves to South-Southwest. In the second condition, the simulation results show that the oil spill reach the conservation area on Nusa Penida Island, so that mitigation is needed to reduce the impact of the pollution. Based on the spill condition, the most preferable countermeasures are In-Situ Burning, Sorbent, Solidifiers, and Emulsion Treating Agent.

Keywords: Ship collision, ship grounding, risk assessment, IWRAP Theory, oil spill dispersion analysis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga skripsi berjudul “Penilaian Risiko Terjadinya Tubrukan Kapal & Kapal Kandas dan Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak di Selat Lombok” 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. Drs. Abdul Syukur, Dra. Elsa Yurita, M. Reza Alfarabi dan M. Kafin Abelsyah sebagai keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan agar bisa menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak A.A.B. Dinariyana D.P, ST., MEs, Ph.D sebagai dosen pembimbing pertama dan Kepala Laboratorium Keandalan dan Keselamatan.
3. Bapak Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. sebagai dosen pembimbing kedua yang sudah membantu penulis dalam memberikan saran mengenai penelitian yang penulis lakukan.
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., yang sudah membantu penulis dalam mengembangkan diri selama berada di lingkungan Laboratorium Keandalan dan Keselamatan.
5. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang sudah mengarahkan dan membimbing penulis selama perkuliahan dari tahun pertama hingga tahun terakhir.
6. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
7. I Gde Manik Sukanegara Adhita, ST. yang sudah memberikan saran maupun solusi atas permasalahan pada skripsi ini.
8. Rekan-rekan di Laboratorium Keandalan dan Keselamatan, Emmy Pratiwi, ST., Ayudhia Pangestu Gusti, ST., Putri Dyah Setyorini, ST., MT., Fadhilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc., Thariq A. Akbar, S.T., Zein Arfian, S.T., Nyimas Safira, S.T., B.Eng., Pandhu Hayu Amarta, ST., Halimah Puspitasari ST., Haidar Amien, dan Luh Gede Mirah yang menjadi rekan dalam menjalankan aktivitas di laboratorium selama tahun keempat ini.
9. Rekan-rekan seperjuangan skripsi di Laboratorium Keandalan dan Keselamatan yang bersama-sama berusaha menyelesaikan skripsi pada semester ini, Mayong, Cide, Fatiya, Andika, Riri, Jujui, Azizah, Titus, Satrio, Wisnu, Diva, Alif, Kemas, Rio, Bagus, Dedy dan Farhan.
10. Sahabat-sahabat yang menemani melewati lika-liku kehidupan di kampus, Nichol, Ceje, Vianto, Rayka, Kukuh, Koko, Gilang, Alif, Galih, Tio, Iji, Mego, Salvin, Palep, Danil, Ben, Gara, Anas, Fatiya, Cide, Yose, Sekar, Eky.
11. Kerabat selama di UKM Flag Football Azzam, Iji, Kakek, Linggar, Udin, Ges, Umar, Aryo, Aka, Aziz, Tatak, Dita, Qaedi, Dzikron dan kerabat lainnya.

12. Teman-teman Pengurus Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS, terutama Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa yang sudah membantu penulis mengembangkan *softskill*-nya, Rayka, Vianto, Ikbar, Kitto, Hadi, Ari dan Tyas.
13. Teman-teman yang sama-sama merantau dari Bekasi untuk mencari ilmu, ITS Smansasi'14, Aling, Yana, Basith, Jejen, Aya, Bidara, Ocy, Shandi, Bandot, Gita, Bacem, Ferdi, Otong, Monic, dan Luki.
14. Teman-teman satu angkatan, Mercusuar'14 yang berjuang bersama di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, semoga rekan-rekan yang belum sempat menyelesaikan kuliahnya di semester ini diberikan kelancaran.
15. Adik-adik tingkat penulis, Salvage'15, Voyage'16, Badrikara'17 yang akan melewati fase yang sama seperti penulis, semoga sukses kedepannya nanti.
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.

Surabaya, Juli 2018

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.1 Perumusan Masalah.....	3
1.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Selat Lombok.....	5
2.2 Kecelakaan Kapal.....	8
2.3 Penilaian Risiko.....	10
2.4 Tubrukan Kapal.....	10
2.5 Penilaian Risiko Tubrukan Kapal.....	11
2.6 Kapal Kandas.....	15
2.7 Pemodelan Konsekuensi.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Perumusan Masalah.....	24
3.2 Studi Literatur.....	24
3.3 Pengumpulan Data.....	24
3.4 Analisis Risiko Tubrukan dan Kandas.....	24
3.5 Perhitungan Frekuensi Menggunakan Metode Numerik.....	25
3.5 Perangkat lunak IWRAP Mk II.....	26
3.6 Pemodelan Konsekuensi.....	30
3.7 Rekomendasi Mitigasi.....	32
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Pengolahan Data Kapal.....	34
4.2 Analisis Frekuensi Kecelakaan.....	35
4.3 Analisis Konsekuensi Persebaran Tumpahan Minyak.....	46
4.4 Mitigasi.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	59
BIODATA PENULIS.....	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Selat Lombok.....	1
Gambar 1.2 Lalu lintas kapal di Selat Lombok per tanggal 14 Januari 2018.....	2
Gambar 2.1 Kepadatan lalu lintas kapal di Selat Lombok pada tahun 2016.....	5
Gambar 2.2 Arah tujuan kapal yang melewati Selat Lombok.....	6
Gambar 2.3 Kawasan konservasi Kepulauan Gili.....	7
Gambar 2.4 Kawasan konservasi Nusa Penida.....	7
Gambar 2.5 Skenario tubrukan kapal.....	11
Gambar 2.6 Bayesian Network.....	12
Gambar 2.7 Ilustrasi skenario kapal kandas.....	16
Gambar 2.8 Bayesian Network.....	16
Gambar 2.9 Perangkat lunak GNOME.....	20
Gambar 3.1 Contoh pemodelan <i>leg</i> untuk skenario tubrukan.....	26
Gambar 3.2 <i>Tab General</i> pada <i>Leg Editor</i>	27
Gambar 3.3 <i>Tab Distribution</i> pada <i>leg editor</i>	28
Gambar 3.4 Jendela <i>causation factor</i>	28
Gambar 3.5 Jendela <i>traffic editor</i> pada IWRAP MK II.....	29
Gambar 3.6 Jendela pengaturan <i>drift parameter</i>	29
Gambar 3.7 Tampilan perangkat lunak GNOME.....	30
Gambar 3.8 Jendela <i>Spill information</i>	31
Gambar 3.9 Jendela <i>Mover</i>	31
Gambar 4.1 Model <i>leg</i> yang digunakan dalam analisis.....	33
Gambar 4.2 <i>Leg 5</i>	36
Gambar 4.3 <i>Leg 5 South Bound</i>	39
Gambar 4.4 Skenario <i>crossing collision</i>	41
Gambar 4.5 Jendela <i>Area/Bathymetry Tool</i>	43
Gambar 4.6 Skenario <i>Powered Grounding</i>	43
Gambar 4.7 Skenario <i>Drifting Grounding</i>	45
Gambar 4.8 <i>Tank Plan</i> dari kapal <i>sample</i>	47
Gambar 4.9 Kondisi persebaran tumpahan minyak setelah tersebar selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam pada skenario pertama.....	47
Gambar 4.10 Kondisi persebaran tumpahan minyak setelah tersebar selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam pada skenario kedua.....	48
Gambar 4.11 Penggunaan <i>booms</i> untuk membatasi persebaran minyak di laut.....	50
Gambar 4.12 Proses <i>in-situ burning</i>	51
Gambar 4.13 <i>Sorbent</i> propilen dan penggunaannya.....	51
Gambar 4.14 Cara kerja polimer <i>solidifiers</i>	52
Gambar 4.15 Penggunaan <i>demulsifiers</i> dalam peristiwa tumpahan minyak Deepwater Horizon.....	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jumlah kapal yang melewati Selat Lombok	6
Tabel 2.2 Data Investigasi Kecelakaan Pelayaran tahun 2010-2016.....	9
Tabel 2.3 Data kecelakaan di Selat Lombok	9
Tabel 2.4 Frekuensi <i>blackout</i>	18
Tabel 3.1 Distribusi Kapal Berdasarkan Panjang dan Jenisnya.....	25
Tabel 4.1 Distribusi Kapal Berdasarkan Panjang dan Jenisnya.....	35
Tabel 4.2 Data kapal tanker yang digunakan sebagai acuan.	47
Tabel 4.3 Kondisi tumpahan minyak setelah tersebar selama 12 jam pada skenario pertama.	47
Tabel 4.4 Kondisi tumpahan minyak setelah tersebar selama 12 jam pada skenario kedua	48

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

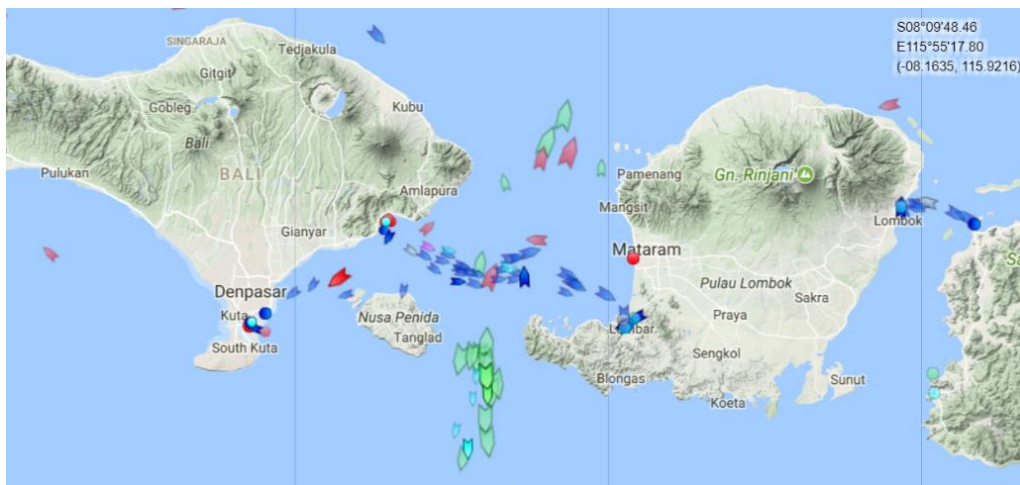
Indonesia merupakan negara kepulauan yang lebih dari 50% dari total luasannya adalah laut. Letak geografisnya yang strategis menjadikan Indonesia sebagai salah satu perairan yang dilewati kapal-kapal, baik milik Indonesia maupun milik asing. Oleh karena itu, berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2002, pemerintah Indonesia menetapkan 3 Alur Laut Kepulauan Indonesia, yang selanjutnya disingkat ALKI, yang digunakan kapal-kapal asing ketika ingin melewati Indonesia. Selat Lombok merupakan salah satu dari alur yang ditetapkan tersebut dan berada pada ALKI II. Pada perairan di Selat Lombok, terdapat wilayah yang dinyatakan sebagai wilayah konservasi, sehingga aktivitas manusia di wilayah tersebut dibatasi agar ekosistemnya tetap terjaga dan tidak rusak. Wilayah tersebut meliputi Pulau Nusa Penida dan Kepulauan Gili yaitu Pulau Gili Trawangan, Pulau Gili Air dan Pulau Gili Meno. Di sekitar Kepulauan Gili, terdapat terumbu karang tepi yang memiliki luas 101,27 ha di Pulau Gili Trawangan, 76,84 ha di Pulau Gili Air dan 58,14 ha di Pulau Gili Meno. Berdasarkan *Coral Triangle Center* kekayaan alam pada Pulau Nusa Penida meliputi 296 spesies terumbu karang dan 576 spesies ikan terumbu, termasuk 5 spesies yang sebelumnya belum diketahui.



Gambar 1.1 Selat Lombok.
Sumber: Google Maps

Meskipun terdapat beberapa wilayah konservasi, hal tersebut tidak berpengaruh pada padatnya lalu lintas kapal di Selat Lombok. Sebagai titik temu alur yang dilalui berbagai jenis kapal dengan jenis dan tujuan yang berbeda, terdapat beberapa peluang dan potensi untuk terjadi kecelakaan pada kapal-kapal yang melintas di Selat Lombok. Selain karena kondisi lalu lintas kapal di Selat Lombok, kecelakaan kapal juga dapat disebabkan oleh faktor lain seperti kesalahan manusia yang mengoperasikan kapal, terjadinya kerusakan pada sistem propulsi kapal, cuaca buruk yang mengurangi jarak

pandang dan beberapa faktor lainnya. Kapal-kapal yang melintasi ALKI II didominasi oleh kapal-kapal asing yang berukuran besar, sehingga jika terjadi kecelakaan, maka dampak yang ditimbulkan akan besar pula. Kapal-kapal yang mengalami kecelakaan dapat menyebabkan dampak negatif pada lingkungan di sekitarnya, seperti tumpahnya muatan ke laut, ataupun mengganggu aktivitas kapal-kapal lain yang melintas. Disamping itu, terdapatnya wilayah konservasi di Selat Lombok membuat dampak negatif yang dihasilkan menjadi lebih besar, karena dapat menyebabkan hilangnya nilai ciri khas dari ekosistem yang ada di wilayah tersebut atau bahkan menyebabkan kepunahan pada biota yang hanya dapat ditemui di wilayah tersebut. Data kapal-kapal yang melewati Selat Lombok per tanggal 3 Mei 2016 dapat dilihat pada Tabel 1.1.



Gambar 1.2 Lalu lintas kapal di Selat Lombok per tanggal 14 Januari 2018.
Sumber: Marine Traffic

Berdasarkan Gambar 1.1, dapat dilihat bahwa Selat Lombok menjadi titik temu beberapa alur pelayaran, yaitu alur kapal penyeberangan Pulau Bali dan Pulau Lombok dan sebaliknya, alur kapal yang melintas pada ALKI II. Oleh karena hal tersebut, diperlukan adanya penelitian tentang penilaian risiko tubrukan dan kandas di Selat Lombok, untuk mengetahui apakah dengan tingginya lalu lintas kapal yang melintas, peluang terjadinya kecelakaan di Selat Lombok masih dalam batas aman. Kapal-kapal yang melintas di Selat Lombok memiliki beberapa jenis, salah satunya adalah kapal tanker. Ketika kapal tanker yang mengalami kecelakaan baik tubrukan maupun kandas, kapal tersebut berpotensi menumpahkan muatannya sehingga terjadi pencemaran laut. Kerugian akibat tumpahan minyak dapat berdampak pada ekosistem sekitar. Hal ini tentu menjadi masalah karena terdapat wilayah konservasi di Selat Lombok.

Beberapa dampak negatif yang ditimbulkan ketika terjadinya tubrukan dan kandas diantaranya adalah rusaknya ekosistem di wilayah konservasi yang meliputi berbagai jenis spesies terumbu karang dan ikan-ikan yang dilindungi, sehingga terdapat kemungkinan punahnya spesies biota laut tertentu yang hanya ditemui di perairan tersebut. Selain itu, kemungkinan tumpahnya bahan bakar maupun muatan, jika kapal yang mengalami kecelakaan berjenis tanker, pencemaran laut akan terjadi, tidak hanya pada lokasi kecelakaan, namun dapat tersebar hingga mencapai pulau-pulau di

sekitarnya. Jika tidak ditanggulangi dengan cara yang tepat, maka tumpahan minyak akan mencapai Pulau Bali atau pun Pulau Lombok. Oleh karena itu, diperlukan adanya penelitian yang menilai risiko terjadinya tubrukan kapal dan kapal kandas di Selat Lombok, dan melakukan pemodelan tumpahan minyak apabila terjadi sehingga dapat diketahui metode penanggulangan yang tepat untuk diaplikasikan.

1.1 Perumusan Masalah

Dalam melaksanakan kajian tersebut, terdapat beberapa perumusan permasalahan agar proses penelitian dapat terarah, yaitu :

1. Bagaimana potensi terjadinya tubrukan dan kandas?
2. Bagaimana dampak dari tumpahan minyak yang dapat terjadi akibat tubrukan dan kandas?
3. Bagaimana rekomendasi mitigasi yang dapat diterapkan?

1.2 Batasan Masalah

Agar dapat dilakukan kajian yang terarah maka diperlukan beberapa batasan masalah, diantaranya adalah:

1. Membahas potensi terjadinya tubrukan dan kandas kapal.
2. Lokasi yang digunakan sebagai studi kasus adalah Selat Lombok.
3. Kajian perhitungan probabilitas tubrukan dan kandas dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *IWRAP Mk2*.
4. Pemodelan konsekuensi tumpahan minyak dilakukan dengan perangkat lunak *GNOME*.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah di atas maka dapat ditentukan tujuan dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan frekuensi terjadinya tubrukan dan kandas dengan skenario *Head-on Collision*, *Overtaking Collision*, *Crossing Collision*, *Powered Grounding* dan *Drifting Grounding* di Selat Lombok.
2. Melakukan penilaian terhadap hasil analisis frekuensi untuk menentukan tingkat risiko tubrukan kapal dan kapal kandas.
3. Melakukan analisis terjadinya tumpahan minyak akibat tubrukan & kandas dan melakukan pemodelan sebaran dari tumpahan minyak yang berpotensi terjadi.

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapatkan dari dilakukannya kajian berikut adalah:

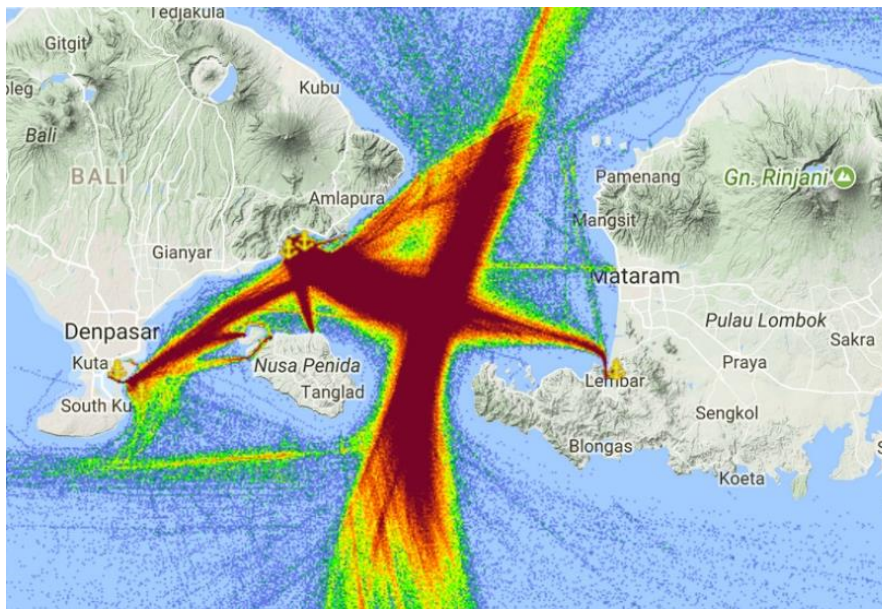
1. Perhitungan yang dilakukan dapat menjadi informasi tambahan bagi pihak-pihak terkait yang terlibat dalam operasional dan pemanduan lalu lintas pelayaran di Selat Lombok.
2. Penelitian yang diberikan dapat menjadi saran tambahan dalam pengambilan keputusan pemanduan dan operasi pelayaran di Selat Lombok.
3. Memberikan kontribusi akademik untuk melakukan kajian risiko pada tubrukan kapal, kapal kandas, dan sebaran minyak pada suatu perairan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Selat Lombok

Selat Lombok merupakan salah satu selat tersibuk di Indonesia karena merupakan titik temu dari beberapa alur pelayaran kapal. Selat Lombok terletak di antara Pulau Bali dan Pulau Lombok dan menghubungkan dua perairan yaitu Laut Jawa dan Samudera Hindia. Lebar alur Selat Lombok di bagian selatan adalah 18 kilometer, sedangkan di bagian utara adalah 40 kilometer dengan total panjang 60 kilometer. Selat Lombok merupakan titik temu antara perairan Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, sehingga terdapat beberapa biota laut yang asalnya dari kedua samudera tersebut. Selat Lombok terletak di Garis Wallace, yaitu garis semu yang menandakan adanya perbedaan jenis fauna di bagian barat dan timur garis tersebut. Selat Lombok merupakan selat yang dijadikan alternatif ketika ada kapal yang ingin berlayar dari Samudera Hindia menuju Samudera Pasifik ataupun Laut Cina Selatan dan sebaliknya.



Gambar 2.1 Kepadatan lalu lintas kapal di Selat Lombok pada tahun 2016.
Sumber: Marine Traffic

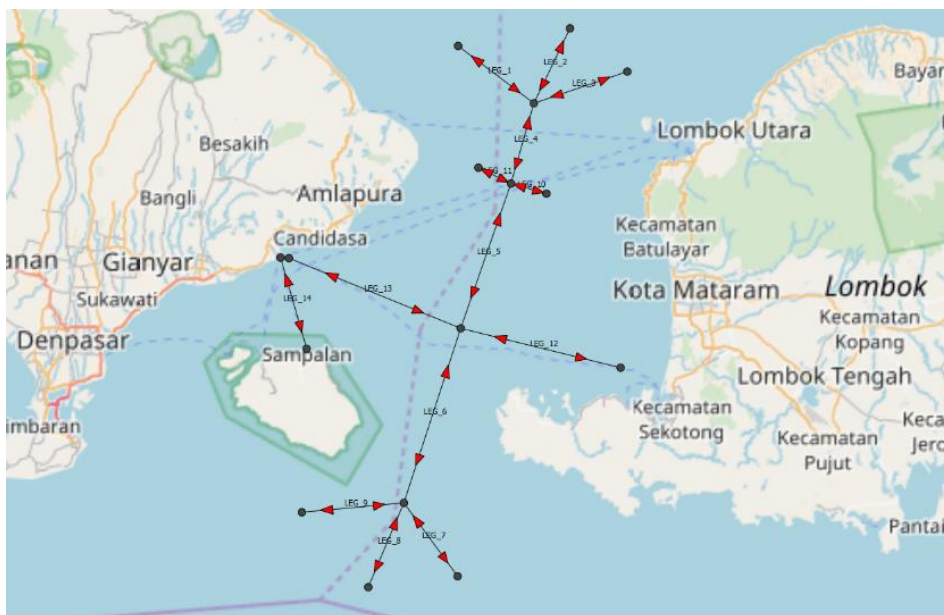
Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa lalu lintas kapal yang melintas di Selat Lombok pada tahun 2016 cukup padat. Kepadatan tersebut ditandai dengan warna merah pada *density plot* yang didapat dari situs Marine Traffic yang diakses pada tanggal 17 Maret 2018. Berdasarkan data lalu lintas kapal dari Dirjen Transportasi Laut, Kementerian Perhubungan, jumlah kapal yang melintas di Selat Lombok dapat mencapai 1500 kapal per bulannya, atau 52 kapal per harinya. Jumlah tersebut tentu dapat terus bertambah setiap tahunnya. Tabel 2.1 menunjukkan jumlah kapal yang melewati Selat Lombok terhitung dari bulan Januari 2016 hingga 3 Mei 2016.

Tabel 2.1 Jumlah kapal yang melewati Selat Lombok

Jenis kapal	Jan 2016	Feb 2016	Mar 2016	Apr 2016	Mei 2016 (per tanggal 3)	Total
Passenger Ship	747	746	638	676	63	2870
Cargo	710	694	704	730	81	2919
Tanker	126	122	136	176	20	580
Others	23	27	29	22	2	103
TOTAL	1606	1589	1507	1604	166	6472

Sumber: Dirjen Transportasi Laut Kemenhub

Selain lokasinya yang strategis, salah satu alasan lain padatnya lalu lintas kapal di Selat Lombok adalah karena menjadi titik bertemunya beberapa alur pelayaran. Kapal-kapal yang berlayar pada ALKI II akan berpotongan dengan kapal-kapal penyeberangan antara Pulau Bali dan Pulau Lombok seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2.

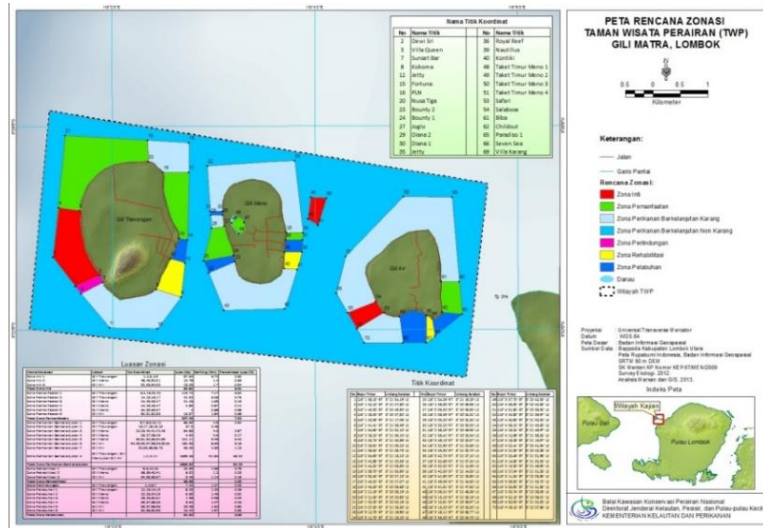


Gambar 2.2 Arah tujuan kapal yang melewati Selat Lombok

Sumber: Dirjen Transportasi Laut Kemenhub

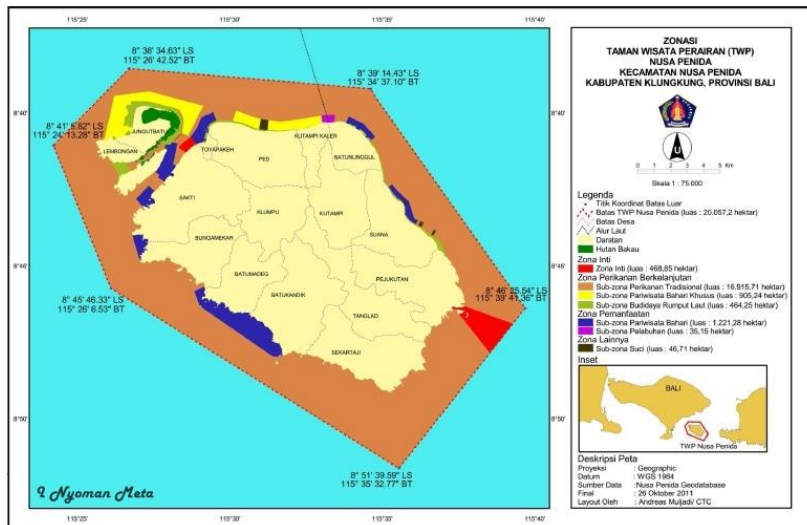
2.1.1 Wilayah Konservasi

Wilayah konservasi merupakan suatu wilayah di mana konservasi sumber daya alam hayati dilakukan. Wilayah tersebut meliputi daratan dan lautan. Semua wilayah yang sudah dinyatakan sebagai wilayah konservasi, wajib dilindungi kelestarian alamnya oleh semua pihak di antara lain pemerintah, otoritas lokal ataupun warga yang tinggal di dekat lokasi tersebut. Penetapan status wilayah konservasi merupakan salah satu upaya untuk melindungi dan mengelola sumber daya alam yang terkandung di dalamnya. Beberapa wilayah konservasi bahkan dapat memberikan pendapatan bagi negara sebagai tempat wisata yang dapat dikunjungi oleh wisatawan. Di Selat Lombok, beberapa tempat yang dinyatakan sebagai wilayah konservasi adalah Kepulauan Gili dan Pulau Nusa Penida.



Gambar 2.3 Kawasan konservasi Kepulauan Gili
Sumber: KKP

Gambar 2.3 menunjukkan Wilayah Konservasi Kepulauan Gili yang terdiri dari Gili Ayer, Gili Meno dan Gili Trawangan. Kepulauan Gili ditetapkan sebagai Kawasan Konservasi berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan RI Nomor 57 / Kepmen-KP / 2014. Gili Air, Gili Meno, dan Gili Trawangan dikelilingi oleh ekosistem terumbu karang dengan terdiri dari sekitar 511 jenis ikan.



Gambar 2.4 Kawasan konservasi Nusa Penida
Sumber: nusapenidamedia.com

Gambar 2.4 menunjukkan wilayah konservasi di Pulau Nusa Penida. Pulau Nusa Penida yang ditetapkan sebagai Kawasan Konservasi Laut berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan RI Nomor 24 / Kepmen-KP / 2014. Pulau Nusa Penida terletak di sebelah tenggara Pulau Bali yang memiliki luas perairan 20.057 hektar. Hasil survei yang dilakukan oleh *The Nature Conservancy Indonesia Marine Program*, di

perairan sekitar Pulau Nusa Penida terdapat 296 spesies karang dan 576 spesies ikan dan 5 diantaranya merupakan spesies ikan yang baru diidentifikasi. Di perairan Nusa Penida juga terdapat 1.419 hektar terumbu karang dan 230 hektar hutan bakau.

2.1.2 Alur Laut Kepulauan Indonesia

Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) merupakan alur pelayaran atau penerbangan yang ditetapkan bagi kapal atau pesawat milik asing yang rutenya melewati Indonesia. ALKI ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2002. ALKI ditetapkan dengan tujuan agar kapal atau pesawat asing yang memiliki rute melewati Indonesia tidak terganggu oleh batas teritorial Indonesia. ALKI memiliki 3 alur yang berbeda, yaitu:

- ALKI I melintasi Laut Cina Selatan, Selat Karimata, Laut Jawa, Selat Sunda.
- ALKI II melintasi Laut Sulawesi, Selat Makassar, Laut Flores, Selat Lombok.
- ALKI III melintasi Samudra Pasifik, Laut Maluku, Laut Seram, Laut Banda, Selat Ombai dan Laut Sawu.

Selat Lombok merupakan salah satu perairan yang termasuk ke dalam ALKI II. Hal tersebut mengakibatkan banyaknya kapal-kapal yang melewati Selat Lombok, sehingga menyebabkan kepadatan pada lalu lintas kapal di Lombok.

2.2 Kecelakaan Kapal

Kapal merupakan alat transportasi yang sudah digunakan sejak ribuan tahun lalu di seluruh dunia. Kapal yang dahulu hanya digunakan untuk berburu hewan-hewan di wilayah perairan, saat ini digunakan sebagai media transportasi yang mampu membawa kapasitas paling besar jika dibandingkan dengan media transportasi lainnya. Pengiriman berbagai jenis komoditas dalam jumlah besar cenderung menggunakan kapal sebagai pengangkutnya, baik untuk mengangkut komoditas padat seperti biji besi dan batu bara, komoditas cair seperti minyak mentah dan minyak jadi, ataupun mengangkut manusia itu sendiri.

Kelebihan-kelebihan tersebut menjadikan kapal sebagai alat transportasi yang diutamakan, terutama jika pengiriman komoditas dilakukan dengan rute yang melintasi samudera. Kendati demikian, masih banyak ditemui kapal yang tidak memenuhi kriteria keamanan yang sudah ditetapkan, sehingga angka terjadinya kecelakaan kapal pun cukup tinggi. Oleh karena itu, berbagai jenis peraturan terkait keselamatan kapal terus mengalami perkembangan dari tahun ke tahun dengan harapan dapat menekan angka kecelakaan kapal. Beberapa peraturan terkait keselamatan kapal diantaranya adalah *Safety of Life at Sea (SOLAS)*, *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*, peraturan-peraturan dari *Classification Society* masing-masing negara, dan konvensi-konvensi lainnya. Menurut Kristiansen (2005), yang beberapa faktor penyebab terjadinya kecelakaan kapal adalah:

- a. Kondisi eksternal, yaitu kondisi yang disebabkan oleh lingkungan seperti cuaca, angin, dan kondisi alam lainnya.
- b. Kondisi internal, yaitu kegagalan yang disebabkan oleh berbagai hal yang terjadi di dalam kapal, seperti kegagalan fungsi teknis atau peralatan pada kapal, dan kesalahan navigasi.

Peluang terjadinya kecelakaan kapal berbanding lurus dengan jumlah kapal yang ada. Semakin tingginya pertumbuhan jumlah kapal setiap tahunnya, maka semakin tinggi

pula peluang terjadinya kecelakaan kapal. Oleh karena itu, Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dibentuk untuk menemukan penyebab terjadinya kecelakaan baik pada transportasi darat, laut maupun udara. Hasil investigasi kecelakaan pelayaran tahun 2010-2016 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Data Investigasi Kecelakaan Pelayaran tahun 2010-2016

No	Tahun	Jumlah Kecelakaan	Jenis Kecelakaan					Korban Jiwa	
			Tenggelam	Terbakar	Tabrukan	Kandas	Lain- lain	Korban meninggal/hilang	Korban 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
Total		54	13	19	17	3	2	337	474

Sumber: Media Release KNKT, November 2016

Dari data kecelakaan pada Tabel 2.2, dapat dilihat bahwa jumlah kecelakaan meningkat setiap tahunnya. Salah satu penyebab terjadinya peningkatan tersebut adalah karena bertambahnya jumlah kapal setiap tahunnya. Dalam kurun waktu 6 tahun, korban yang ditimbulkan mencapai 811 manusia, yaitu 337 korban meninggal/hilang dan 474 korban luka-luka. Jenis kecelakaan yang paling sering terjadi adalah terbakar, tabrukan dan tenggelam. Salah satu penyebab terjadinya kecelakaan tersebut adalah kapal yang berlayar tidak memenuhi aturan yang sudah ditetapkan, seperti kurangnya pemeliharaan komponen utama pada kapal, membawa muatan yang melebihi batas maksimal dan lalainya kru kapal dalam mengoperasikan kapal. Tingginya jumlah korban juga diakibatkan kurangnya peralatan penyelamatan ketika terjadinya kecelakaan.

Berdasarkan data kecelakaan kapal di Selat Lombok seperti pada Tabel 2.3, kecelakaan kapal terjadi pada kapal jenis penumpang. Salah satu penyebabnya adalah muatan yang berlebihan sehingga gaya beban yang ditimbulkan lebih besar dari gaya apung yang dihasilkan kapal. Hal tersebut mempengaruhi stabilitas ketika kapal bergerak, sehingga peluang terjadinya kandas atau tenggelam menjadi lebih tinggi. Kapal yang mengalami kecelakaan dapat merugikan berbagai pihak, yaitu pihak pemilik kapal, pihak penyewa kapal yaitu penumpang, dan ekosistem di sekitar lokasi kecelakaan.

Tabel 2.3 Data kecelakaan di Selat Lombok

Tahun	Jenis Kapal	Jenis Kecelakaan	Lokasi
2011	Kapal Penumpang	Kandas	Padangbai
	Kapal Penumpang	Tenggelam	Nusa Penida
2012	Kapal Penumpang	Kandas	Padangbai
	Kapal Penumpang	Kandas	Padangbai
2013	Kapal Kargo	Kandas	Lembar
	Kapal Penumpang	Kandas	Padangbai
2014	Kapal Penumpang	Tenggelam	Lombok
2015	Kapal Kargo	Kandas	Benoa
2016	Kapal Penumpang	Kandas	Lombok

Sumber: Dirjen Transportasi Laut Kemenhub.

2.3 Penilaian Risiko

Penilaian risiko merupakan suatu kajian yang dilakukan untuk menilai suatu risiko yang akan ditimbulkan ketika akan melakukan sesuatu. Penilaian risiko biasanya dilakukan ketika keputusan yang dilakukan memiliki pengaruh yang cukup besar bagi suatu pihak. Penilaian risiko dilakukan untuk menerjemahkan suatu risiko dalam bentuk kuantitatif atau kualitatif. Risiko sendiri dapat dirumuskan sebagai perkalian matriks antara frekuensi dan konsekuensi.

Dalam melakukan penilaian risiko, hal pertama yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi peluang bahaya yang dapat terjadi ketika keputusan tersebut diambil. Setelah identifikasi bahaya dilakukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan peluang terjadinya bahaya tersebut dalam jangka waktu satu tahun (frekuensi kejadian). Langkah terakhir adalah melakukan perhitungan dampak dari bahaya tersebut jika terjadi (konsekuensi kejadian). Dampak dari bahaya tersebut dapat berpengaruh bagi beberapa aspek, yaitu aspek lingkungan, aspek sosial, aspek ekonomi dan lain-lain. Ketika frekuensi dan konsekuensi berada dalam batas yang tidak dapat diterima berdasarkan standar, maka dilakukan mitigasi untuk menurunkan tingkat frekuensi ataupun konsekuensi dari kejadian tersebut.

2.4 Tubrukan Kapal

Tubrukan kapal merupakan kejadian yang melibatkan dua kapal atau lebih dimana kapal yang satu menubruk kapal yang lain, sehingga menimbulkan bahaya bagi kru kapal dan lingkungan, serta dapat merugikan pemilik kapal karena terdapat kemungkinan rusaknya kargo yang diangkut (Kristiansen, 2005). Probabilitas terjadinya tubrukan dipengaruhi oleh padatnya kapal yang melintas di suatu perairan. Salah satu dari perairan yang memiliki densitas lalu lintas kapal yang tinggi adalah Selat Lombok. Semakin tinggi frekuensi kapal yang melintas di perairan tersebut, maka semakin tinggi pula peluang terjadinya tubrukan. Berdasarkan Hansen (2007) pada *Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies* tipe dari tubrukan kapal dapat dibagi menjadi:

a. Head-on Situation

Merupakan kondisi tubrukan ketika ada dua kapal yang memiliki arah gerak saling berlawanan pada satu segmen yang sama, dan saling menubruk satu sama lain di bagian haluannya. *Head-on situation* berpeluang terjadi di Selat Lombok yang lalu lintas pelayarannya keluar-masuknya sangat padat.

b. Overtaking Situation

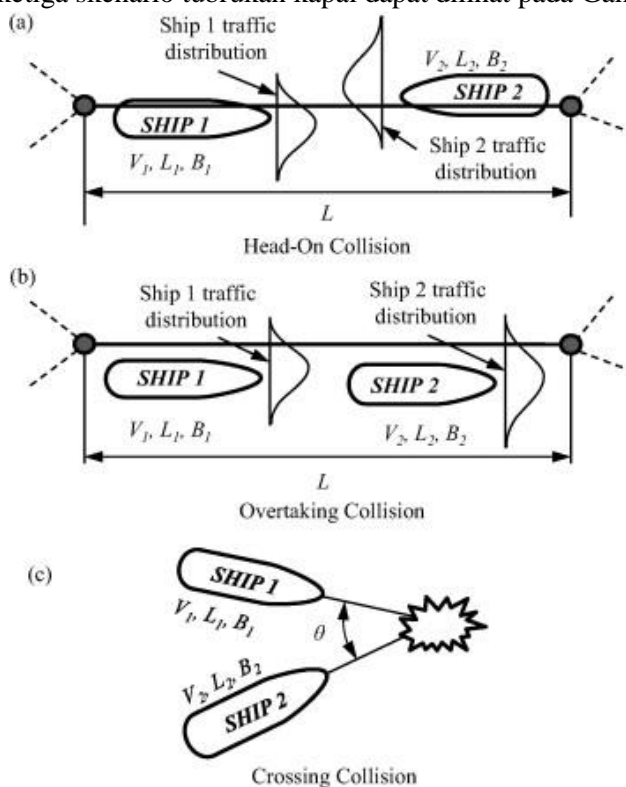
Merupakan kondisi tubrukan ketika ada dua kapal yang memiliki arah gerak yang sama pada satu segmen yang sama pula namun dengan kecepatan yang berbeda sehingga tubrukan terjadi ketika kapal yang lebih cepat ingin mendahului kapal yang lebih lambat. *Overtaking situation* dapat terjadi pada Selat Lombok karena terdapat banyak kapal yang berlayar dengan kecepatan yang berbeda tanpa adanya batas kecepatan yang aman.

c. Crossing Situation

Merupakan kondisi tubrukan ketika ada dua kapal yang memiliki rute yang saling bersimpangan sehingga tubrukan terjadi ketika kedua kapal saling bergerak memotong rute satu sama lain. *Crossing situation* dapat terjadi di Selat Lombok

karena ada titik perpotongan antara dua alur yang berbeda, yaitu kapal-kapal penyeberangan antara Pulau Bali dan Pulau Lombok, serta kapal-kapal yang berlayar pada ALKI II.

Ilustrasi dari ketiga skenario tubrukan kapal dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Skenario tubrukan kapal

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

2.5 Penilaian Risiko Tubrukan Kapal

Tubrukan kapal merupakan salah satu jenis kecelakaan yang dampaknya mempengaruhi berbagai aspek seperti lingkungan, sosial dan ekonomi. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui peluang terjadinya tubrukan kapal. Frekuensi terjadinya tubrukan kapal dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh Fujii pada tahun 1983 yaitu:

$$P = Na \times Pc \quad (2-1)$$

dimana,

P : peluang terjadinya tubrukan kapal

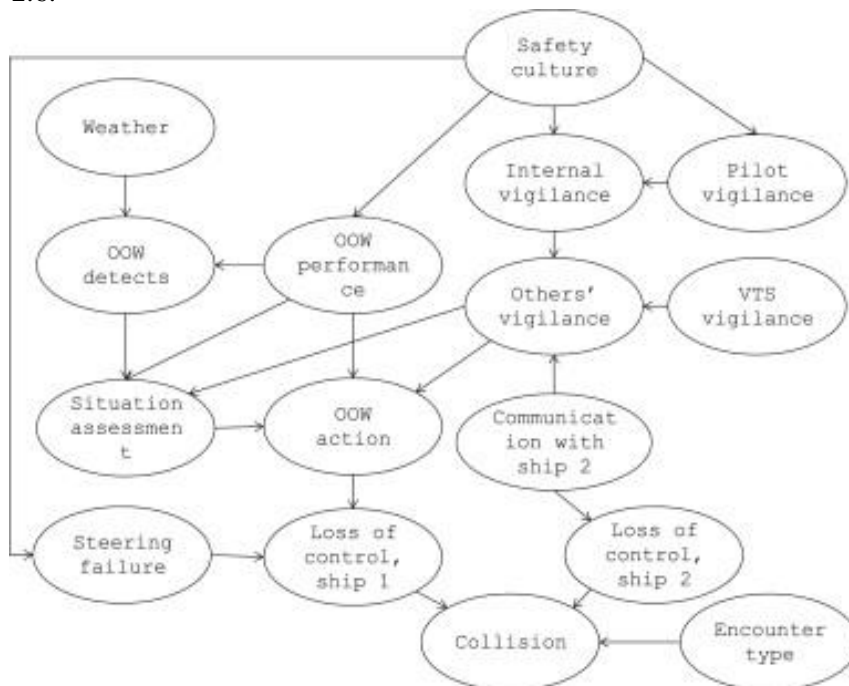
Na : jumlah kandidat kapal yang terlibat dalam tubrukan.

Pc : peluang kegagalan (*causation factor*) untuk menghindari dari tubrukan kapal

Peluang kegagalan (Pc) dapat disebabkan oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal meliputi *human error* dan kerusakan sistem pada kapal, sedangkan faktor eksternal meliputi cuaca buruk seperti berkabut, hujan deras dan tingginya gelombang.

Dalam menentukan besarnya nilai peluang kegagalan dapat dilakukan dengan dua cara estimasi:

- Pendekatan skenario: Pendekatan ini berdasarkan data statistik kejadian yang sudah pernah terjadi di lokasi yang sama pada waktu yang lalu.
- Pendekatan sintetis: Pendekatan sintetis dapat dilakukan dengan metode Bayesian Networks. Bayesian Networks merupakan representasi penyebab dari suatu probabilitas yang saling berhubungan diantara variabel-variabel acak, dengan kondisi independen satu sama lain, dan dapat dinyatakan sebagai representasi dari gabungan distribusi probabilitas. (Murphy, 1998) Contoh *Bayesian Network* untuk skenario tubrukan dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Bayesian Network
Sumber : (Hänninen & Kujala, 2012)

2.5.1 Penggunaan perangkat lunak IWRAP Mk II untuk Menghitung Frekuensi Tubrukan Kapal

IWRAP Mk II merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung frekuensi tubrukan kapal dan kapal kandas dengan skenario yang dimodelkan berdasarkan lalu lintas pelayaran dan rute geometris. Konsep perhitungan frekuensi tubrukan kapal dan kapal kandas dengan IWRAP Mk II menggunakan persamaan yang dirumuskan oleh Fujii pada tahun 1983 sebagai dasar perhitungannya. Perhitungan frekuensi tubrukan dapat dihitung dengan,

$$\Lambda_{col} = Pc \times N_G \quad (2-2)$$

dimana,

Λ_{col} : frekuensi tubrukan

P_c : causation factor
 N_G : geometric number

Causation factor (faktor penyebab) merupakan peluang kegagalan yang dapat diakibatkan oleh beberapa hal seperti *human error*, faktor cuaca dan lain sebagainya. *Geometric number* (angka geometris) merupakan kandidat kapal yang berpeluang untuk mengalami tubrukan. Kandidat kapal-kapal tersebut dapat diartikan sebagai sebagian kapal yang berpeluang mengalami tubrukan dari jumlah keseluruhan kapal yang berlayar pada alur tertentu.

2.5.2 Head-on Collision dan Overtaking Collision

Head-on Collision merupakan salah satu skenario tubrukan yaitu tubrukan di bagian haluan antara 2 kapal yang bergerak berlawanan arah. Sedangkan *Overtaking Collision* merupakan skenario tubrukan antara dua kapal yang bergerak pada satu jalur dengan arah yang sama, dan dapat terjadi ketika satu kapal yang memiliki kecepatan lebih tinggi ingin mendahului kapal lain. *Head-on Collision* dan *Overtaking Collision* ditinjau dari panjang segmen lintasan kapal-kapal tersebut. Menurut Hansen (2007), besarnya nilai frekuensi dari *Head On Collision* dan *Overtaking Collision* dipengaruhi oleh:

- Panjang segmen, L_w , yang merupakan panjang alur kapal pada segmen tertentu dalam pemodelan.
- Frekuensi kapal yang melintas di jalur tersebut dalam kurun waktu tertentu yang diklasifikasikan berdasarkan panjangnya per 25m dan berdasarkan jenis kapalnya, dinotasikan dengan Q_i dan Q_j
- Kecepatan dari kapal-kapal yang melintas di jalur tersebut, yang dinotasikan dengan V_i dan V_j .
- Distribusi geometris dari kapal-kapal yang melintas di jalur yang dianalisis, dinotasikan dengan $f_i(y)$ dan $f_j(y)$. Distribusi ini dinyatakan sebagai distribusi normal, dengan titik tengah jalur sebagai titik nolnya, karena kapal cenderung melintas di tengah alur, namun dapat terdistribusi dengan nilai tertentu karena tidak memungkinkan untuk semua kapal bergerak di tengah jalur tersebut.

Sebelum melakukan perhitungan frekuensi tubrukan kapal, kandidat kapal yang berpeluang mengalami tubrukan perlu diketahui terlebih dahulu. Kandidat kapal yang berpeluang mengalami tubrukan dinyatakan sebagai *Geometric Number* (N_G). N_G dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (2007) sebagai berikut:

$$N_G^{head-on} = L_w \sum_{i,j} P_{G_{ij}}^{head-on} \frac{V_{ij}}{V_i V_j} (Q_i Q_j) \quad (2-3)$$

Notasi V_{ij} merupakan kecepatan relatif dari kedua kapal yang mengalami tubrukan, sedangkan V_i dan V_j melambangkan kecepatan kapal i dan j yang bergerak pada segmen yang saling berlawanan. Jika distribusi pergerakan kapal pada satu alur dinyatakan sebagai distribusi normal, maka peluang terjadinya tubrukan (P_G) dapat dihitung dengan:

$$P_G = \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \quad (2-4)$$

Notasi Φ melambangkan perhitungan dilakukan dengan fungsi distribusi normal. Sedangkan μ_{ij} merupakan nilai *mean* dari distribusi normal kedua kapal yang terlibat tubrukan. Notasi σ_{ij} melambangkan *standard deviation* dari distribusi normal kedua kapal

yang terlibat tubrukan. Sedangkan notasi B_{ij} melambangkan lebar rata-rata dari kedua kapal yang terlibat tubrukan.

Untuk menghitung kandidat kapal yang berpeluang mengalami *Overtaking Collision* dapat menggunakan persamaan (2-4). Dalam skenario *Overtaking Collision*, besarnya nilai kecepatan relatif dapat diketahui dengan mencari selisih kecepatan kedua kapal yang terlibat tubrukan. Apabila kecepatan kapal i lebih besar dari kapal j , maka *Overtaking Collision* tidak akan terjadi, karena kapal j tidak dapat mendahului kapal i .

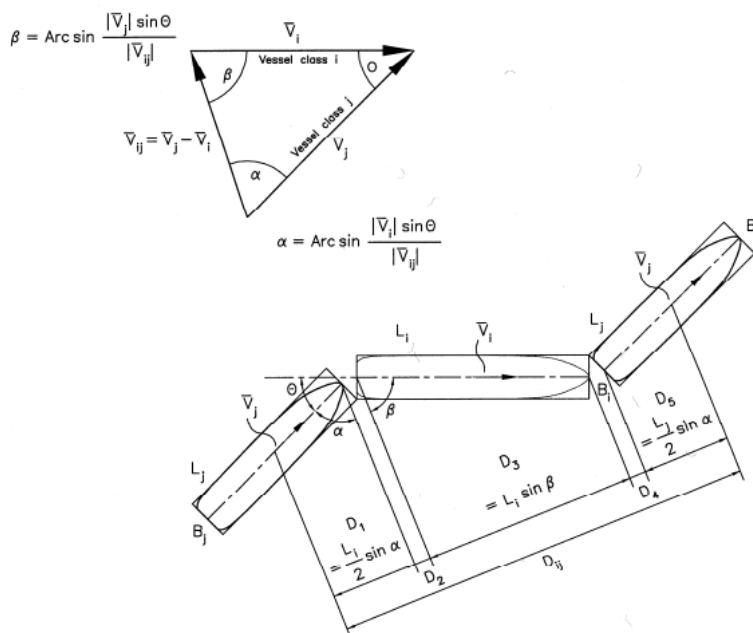
2.5.3 Crossing Collision

Crossing Collision merupakan skenario tubrukan dimana dua kapal yang memiliki arah gerak berpotongan satu sama lain pada suatu titik persimpangan lalu bertubrukan. Selain dipengaruhi oleh dimensi kapal ataupun frekuensi kapal yang melintas, *Crossing Collision* juga dipengaruhi oleh sudut yang terbentuk antara dua buah alur yang saling berpotongan tersebut. Sudut yang terbentuk dilambangkan dengan notasi θ seperti pada Gambar 2.5. Kandidat kapal yang berpeluang mengalami tubrukan dinyatakan sebagai *Geometric number* (N_G). N_G dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (2007) sebagai berikut: sebagai berikut:

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i Q_j}{v_i v_j} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \text{ untuk sudut sebesar } 10^\circ < [\theta] < 170^\circ \quad (2-5)$$

Notasi V_{ij} melambangkan kecepatan relatif dari kedua kapal yang berpeluang mengalami *Crossing Collision* dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{ij} = \sqrt{(V_i)^2 + (V_j)^2 - 2 \cdot V_i \cdot V_j \cdot \cos \theta} \quad (2-6)$$



Gambar 2.7 Perhitungan dari D_{ij} sebagai *geometrical collision diameter*

Sumber: (Hansen, 2007)

Gambar 2.7 merupakan ilustrasi dari D_{ij} atau *collision diameter* yang merupakan area yang terbentuk dari dua kapal atau lebih ketika kapal-kapal tersebut terlibat

tubrukan. Dengan mengasumsikan bentuk kapal sebagai persegi, maka D_{ij} dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan Hansen (2007) sebagai berikut:

$$D_{ij} = \frac{L_i \cdot V_j + L_j \cdot V_i}{V_{ij}} \sin\theta + B_j \left\{ 1 - \left(\sin\theta \cdot \frac{V_i}{V_{ij}} \right)^2 \right\} + B_i \left\{ 1 - \left(\sin\theta \cdot \frac{V_j}{V_{ij}} \right)^2 \right\} \quad (2-7)$$

Setelah nilai D_{ij} didapatkan, *geometric number* dari *crossing collision* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-5.

2.6 Kapal Kandas

Kandas (*grounding*) merupakan kondisi dimana sebuah kapal mengalami benturan dengan bebatuan ataupun dasar laut, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada bagian lambungnya. Kerusakan tersebut dapat mengakibatkan bagian lambung kapal yang berada di bawah garis air mengalami kebocoran, sehingga air memasuki kapal dan dapat menyebabkan kapal tenggelam. Contoh kasus kapal kandas yang cukup dikenal adalah kecelakaan kapal MV. Rena. MV. Rena berlayar dengan rute Napier menuju Pelabuhan Tauranga. Untuk mencapai *Estimated Time of Arrival (ETA)* yang sudah ditentukan, kapten kapal memutuskan untuk mengubah rute kapal agar dapat sampai di tempat tujuan tepat waktu. Kapten dan kruinya mengabaikan perencanaan dan keselamatan navigasi, sehingga kapal tidak melewati rute yang sudah ditentukan. Pada *Bay of Plenty*, Selandia Baru, MV. Rena membentur *Astrolabe Reef* dengan kecepatan penuhnya, yaitu sekitar 17 knot. Benturan tersebut membuat MV. Rena tidak bisa bergerak karena lunas kapal tersangkut dengan karang, dan menyebabkan sekitar 200 ton bahan bakar tumpah ke laut. Akibat kecelakaan ini, MV. Rena juga kehilangan muatan berupa kontainer cukup banyak. Setelah beberapa bulan tersangkut pada karang, kapal tersebut patah menjadi dua bagian lalu tenggelam.

Berdasarkan *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA)*, kapal kandas dibagi menjadi empat kategori yaitu;

- Kategori I: Kapal berlayar pada rutenya dengan kecepatan normal. Kecelakaan dalam kategori ini utamanya disebabkan oleh kesalahan manusia, namun ada kemungkinan kapal mengalami masalah tak terduga dengan sistem propulsi / kemudi yang terjadi di sekitar bebatuan laut.
- Kategori II: Kapal gagal mengubah arah gerakannya pada *turning point* yang berdekatan dengan suatu objek.
- Kategori III: Kapal mengambil langkah menghindari dari objek lalu kandas atau bertabrakan dengan objek tersebut.
- Kategori IV: Semua kejadian di luar Kategori I, II dan III, contohnya kapal kehilangan arah karena mengalami kerusakan pada sistem propulsinya.

Berdasarkan kejadian yang sudah terjadi, sebagian besar dari kasus kapal kandas termasuk dalam Kategori I dan II, namun Kategori III dan IV juga pernah terjadi. Dalam memformulasikan pemodelan teoritis untuk skenario kapal kandas, skenario tersebut dapat dibagi menjadi *powered grounding* dan *drifting grounding* Kategori I dan II merupakan *powered grounding* kecelakaan terjadi ketika kapal bergerak dengan daya yang dihasilkan mesinnya sendiri, sedangkan Kategori III dan IV merupakan *drifting grounding* karena kecelakaan terjadi akibat adanya pengaruh eksternal seperti arus laut. Pembagian tersebut bertujuan untuk mempermudah perhitungan frekuensi dan

konsekuensinya (Hansen, 2007). Ilustrasi skenario kapal kandas dapat dilihat pada Gambar 2.8.



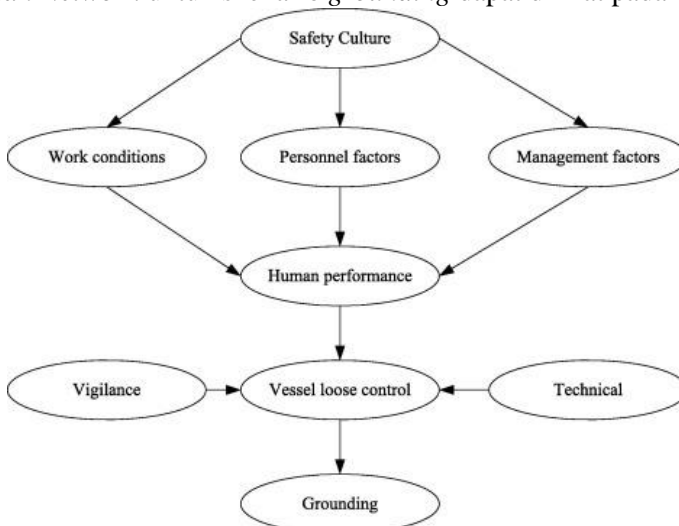
Gambar 2.7 Ilustrasi skenario kapal kandas
Sumber: IALA

2.6.1 Penilaian Risiko Ship Grounding

Kapal kandas merupakan salah satu jenis kecelakaan yang dampaknya mempengaruhi berbagai aspek seperti lingkungan, sosial dan ekonomi. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui peluang terjadinya kapal kandas. Perhitungan frekuensi tubrukan dapat dihitung dengan persamaan 2-1.

Notasi P merupakan peluang terjadinya kandas, N_a merupakan jumlah kandidat kapal yang berpotensi mengalami kandas, dan P_c merupakan peluang kegagalan yang dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu *human error*, kegagalan fungsi peralatan dan faktor eksternal dari lingkungan seperti cuaca buruk. Untuk menentukan *causation probability* dapat dilakukan dengan dua cara estimasi seperti yang sudah dijelaskan pada Subbab 2.4.1:

- c. Pendekatan skenario berdasarkan data-data yang sudah lalu.
- d. Pendekatan sintesis dengan menggunakan Bayesian Network. Contoh model *Bayesian Network* untuk skenario *grounding* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.8 Bayesian Network

Sumber: Expert elicitation and Bayesian Network modeling for shipping accidents: A literature review, Zhang, Guizhen; V.Thai, Vinh. 2012

2.6.2 Perangkat Lunak IWRAP MK II untuk Menghitung Frekuensi Kapal Kandas

IWRAP Mk II merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung frekuensi tubrukan kapal dan kapal kandas dengan skenario yang dimodelkan berdasarkan lalu lintas pelayaran dan rute geometris. Konsep perhitungan frekuensi IWRAP MK II didasarkan pada persamaan yang dikembangkan oleh Fujii pada 1983. Perhitungan frekuensi tubrukan dapat dihitung dengan,

$$\Lambda_{Gnd} = Pc \times N_G \quad (2-8)$$

dimana,

Λ_{Gnd} : frekuensi kapal kandas

Pc : causation factor

N_G : geometric number

Causation factor (faktor penyebab) merupakan peluang kegagalan yang dapat diakibatkan oleh beberapa hal seperti *human error*, faktor cuaca dan lain sebagainya. *Geometric Number* (angka geometris) merupakan kandidat kapal yang berpeluang untuk mengalami tubrukan. Kandidat tersebut dapat diartikan sebagai sebagian kapal yang berpeluang mengalami tubrukan dari jumlah keseluruhan kapal yang berlayar pada alur tertentu.

Kapal-kapal yang berlayar mengikuti rutenya akan terdistribusi pada alurnya membentuk *standard normal distribution* Dengan menggunakan fungsi probabilitas kepadatan, $f_i(z)$, dimana i merupakan kelas kapal dan z merupakan koordinat melintang, $f_i(z)$ merupakan fungsi dari kandidat kapal yang berpeluang mengalami kandas dan dapat dihitung sebagai integral dari $f_i(z)$ terhadap z_{min} hingga z_{max} dari hambatan. Kapal-kapal yang akan mengalami kandas akan berusaha melakukan manuver menghindari, akan tetapi sebagian dari kapal-kapal tersebut akan gagal menghindari hambatan akibat beberapa hal yaitu baik pada faktor manusia ataupun teknis. Kapal-kapal yang gagal menghindari tersebut dilambangkan dengan Pc , atau yang biasanya disebut dengan *causation probability*. (Hansen, 2007)

2.6.3 Powered Grounding

Powered Grounding merupakan skenario kapal kandas yang terjadi ketika kapal menghantam bebatuan atau dasar laut ketika sedang bergerak dengan daya yang dihasilkan mesinnya sendiri. Berdasarkan IALA mengenai kategori dalam kandas pada Subbab 2.5, *powered grounding* merupakan kondisi kandas pada Kategori I dan Kategori II. Frekuensi kecelakaan kapal kandas pada Kategori I dan II dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh Pedersen (1995) dan Simonsen (1997),

$$N_I = \sum_{ship\ class,i} P_{c,i} Q_i \int_{z_{min}}^{z_{max}} f_i(z) dz \quad (2-9)$$

$$N_{II} = \sum_{ship\ class,i} P_{c,i} Q_i \exp\left(-\frac{d}{a_i}\right) \int_{z_{min}}^{z_{max}} f_i(z) dz \quad (2-10)$$

dimana,

a_i : jarak rata-rata antar objek

d : jarak dari hambatan ke tikungan pada rute

i : indeks untuk kelas kapal, dikategorikan berdasarkan jenis atau panjang kapal

- $f_i(z)$: probabilitas fungsi kepadatan untuk lalu-lintas kapal
 N_I : angka perkiraan kapal kandas pada Kategori I
 N_{II} : angka perkiraan kapal kandas pada Kategori II
 $P_{c,i}$: *causation probability*
 Q_i : jumlah kapal pada kelas i yang melewati persimpangan per tahunnya
 Z : koordinat pada arah tegak lurus terhadap rute
 $z_{min,max}$: koordinat melintang untuk hambatan

Pada persamaan di atas, faktor $\exp(-d/a_i)$ merupakan peluang *navigator* tidak melakukan pemeriksaan posisi dari *turning point* hingga hambatan. Jarak rata-rata diantara pemeriksaan posisi dinyatakan sebagai dinyatakan sebagai waktu yang dibutuhkan dalam setiap interval pengecekan posisi, dinotasikan dengan λ dengan estimasi waktu 3 menit, sehingga faktor $\exp(-d/a_i)$ menjadi fungsi dari kecepatan kapal, $a_i = \lambda V$. Persamaan 2-9 digunakan apabila posisi hambatan tegak lurus terhadap fungsi distribusi normal dari alur pelayaran sebuah kapal, sedangkan persamaan 2-10 digunakan apabila terdapat hambatan yang lokasinya tegak lurus pada *turning point* dari alur pelayaran kapal, yang mana merupakan kondisi jarang ditemui. (Hansen, 2007)

2.6.4 Drifting grounding

Drifting grounding merupakan skenario kapal kandas yang terjadi ketika kapal menghantam bebatuan atau dasar laut akibat terhanyut oleh arus laut yang ada di lokasi kejadian. Berdasarkan IALA mengenai pembagian kategori kapal kandas pada Subbab 2.5, *drifting grounding* merupakan kondisi kandas pada Kategori III (manuver menghindari) dan Kategori IV (*drifting ships*). Penyebab utama terjadinya kapal kandas pada Kategori III dan IV adalah kegagalan pada sistem propulsi, baik mesinnya ataupun kemudinya. Pada pendekatan yang dilakukan Hansen (2007), kegagalan pada sistem kemudi tidak diperhitungkan.

Hasil statistik menunjukkan bahwa setiap kapal mengalami *blackout* setidaknya satu kali setiap tahunnya. Frekuensi terjadinya *blackout* pada setiap kapal adalah 0,1-2 *blackout* per tahunnya. Namun, frekuensi aktual dari *blackout* dipengaruhi oleh tingkat redundansi pada setiap kapal. Kapal-kapal pengangkut penumpang seperti Roro atau Ferry secara umum memiliki tingkat redundansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapal jenis lainnya. Contohnya adalah mesin utama pada kapal penumpang dapat terdiri dari 2-4 mesin, sehingga kegagalan pada satu mesin masih memungkinkan kapal untuk melakukan manuver dan tidak menyebabkan kapal kehilangan kendali sepenuhnya. Kapal yang menggunakan hanya satu mesin utama memiliki frekuensi *blackout* yang lebih tinggi. Pada penelitian saat ini, frekuensi *blackout* yang digunakan adalah seperti yang tertera pada Tabel 2.4. (Hansen, 2007)

Tabel 2.4 Frekuensi *blackout*

Jenis Kapal	Frekuensi per tahun	Frekuensi per jam
Kapal penumpang/ro-ro	0.1 y ⁻¹	1.15 x 10 ⁻⁵ h ⁻¹
Kapal lain	0.75 y ⁻¹	8.56 x 10 ⁻⁵ h ⁻¹

Blackout dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu bahan bakar yang terkontaminasi, kegagalan pada sistem internal mesin utama, dan kegagalan pada sistem kelistrikan. Ketika kapal mengalami kegagalan sistem propulsi, kapal sangat rawan untuk

mengalami kecelakaan. Namun hal tersebut dipengaruhi faktor lain seperti lokasi ketika kapal mengalami *blackout*. Terjadinya *drifting grounding* juga tidak lepas dari pengaruh beberapa faktor, yaitu berhasilnya dilakukan perbaikan saat kapal mengalami *blackout*, berhasilnya lego jangkar dilakukan, atau kapal tunda datang tepat waktu ketika kapal mengalami *blackout*. *Blackout* dipengaruhi oleh peluang kegagalan sistem propulsi ketika kapal berlayar pada rutenya. Probabilitas terjadinya *blackout* pada suatu segmen alur pelayaran kapal ($L_{segment}$) dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (2007) sebagai berikut:

$$P_{blackout}(L_{segment}) = 1 - \exp\left(-\lambda_{blackout} \frac{L_{segment}}{v_{vessel}}\right) \quad (2-11)$$

Dimana notasi $\lambda_{blackout}$ melambangkan frekuensi *blackout* dan v_{vessel} melambangkan kecepatan operasional kapal. Peluang terjadinya *drifting grounding*, $N_{grounding}^{drift}$, terhadap kandidat kapal, N_{ship} , dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (2007) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_{grounding}^{drift} &= N_{ship} \int_{\psi=0}^{360} P_{wind}(\psi) \\ &\sum_{All\ segments} P_{blackout}(L_{segment}) \int_{x=0}^{L_{segment}} \int_{v_{drift}} P_{no\ repair}(t_{ground} | Z) \\ &P_{no\ anchoring}(t_{ground} | Z) f(v_{drift}) dv_{drift} dx d\psi \end{aligned} \quad (2-12)$$

Notasi $P_{wind}(\psi)$ melambangkan peluang bertiupnya angin dari arah ψ . Peluang gagalnya perbaikan dilakukan didefinisikan sebagai fungsi distribusi komplementer dari distribusi waktu untuk perbaikan. Persamaan tersebut dimodelkan sebagai Distribusi Weibull,

$$F_{repair}(t) = 1 - \exp(-at^b) \text{ dan } F_{no\ repair}(t) = \exp(-at^b) \quad (2-13)$$

Dengan parameter skala $a = 1.05$ dan parameter bentuk $b = 0.9$, memberikan nilai rata-rata 1 jam dan standar deviasi 1.13 jam. Waktu untuk kapal kandas dirumuskan dengan $t_{ground} = d_{ground} / v_{drift}$, dimana v_{drift} merupakan nilai *drifting* yang tidak pasti dan d_{ground} merupakan jarak dari segmen terhadap hambatan (Hansen, 2007).

Jumlah total kapal kandas dari semua kategori dihitung dengan

$$N_g = N_I + N_{II} + N_{III} + N_{IV} \quad (2-14)$$

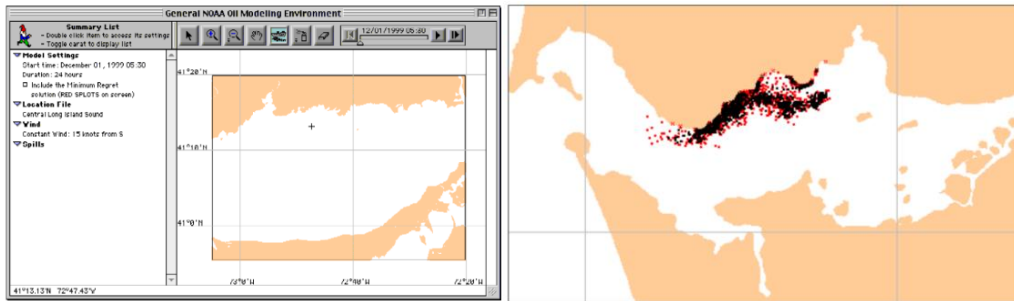
2.7 Pemodelan Konsekuensi

Ketika terjadi tubrukan atau kandas, kapal berpotensi mengalami kebocoran lambungnya, sehingga terdapat kemungkinan akan terjadinya tumpahan minyak baik berupa bahan bakarnya atau muatan yang diangkutnya bagi kapal *tanker*. Oleh karena itu perlu dilakukan pemodelan untuk mengetahui persebaran minyak yang tumpah tersebut. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi persebaran minyak, yaitu

- Kecepatan angin
- Arah angin
- Banyaknya minyak yang tumpah
- Lamanya waktu persebaran

Dengan menggunakan data aktual dari faktor-faktor di atas sesuai dengan yang ada di Selat Lombok, arah dari persebaran tumpahan minyak dapat diprediksi dengan

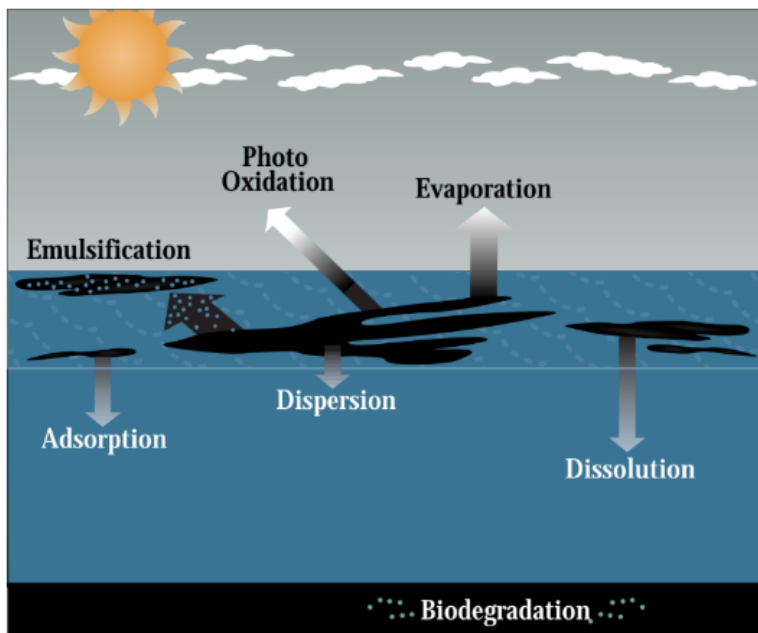
menggunakan perangkat lunak GNOME. Tampilan perangkat lunak GNOME dan simulasi persebaran minyaknya dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Perangkat lunak GNOME

Sumber: GNOME User's Manual

GNOME juga memiliki algoritma untuk memprediksi perubahan minyak yang sudah tersebar ke lingkungan. Proses tersebut dikenal dengan *oil weathering process* (proses pelapukan minyak). GNOME hanya dapat mengestimasi berapa banyak persebaran minyak yang masih mengapung di laut, mencapai pantai atau pun sudah menguap atau terdispersi.



Gambar 2.11 Oil Weathering Process

Sumber: NOAA

Berdasarkan *The International Tanker Owners Pollution Federation Limited* (ITOPF) terdapat 8 proses pelapukan minyak seperti pada Gambar 2.11, yaitu:

1. Spreading

Penyebaran minyak langsung terjadi ketika minyak tersebut tumpah ke laut. Kecepatan persebaran tersebut bergantung pada viskositas dari minyak yang tumpah. Semakin tinggi viskositasnya, maka semakin sempit persebarannya dan

sebaliknya. Hal ini juga dipengaruhi oleh suhu permukaan laut, dimana suhu yang tinggi mengakibatkan turunnya viskositas minyak, dan sebaliknya.

2. **Evaporation**
Penguapan minyak bergantung dengan tingkat kecenderungan dari minyak tersebut untuk menguap, atau biasa disebut volatilitas. Minyak dengan senyawa yang lebih ringan dan volatilitas lebih tinggi akan lebih cepat menguap, dan sebaliknya. Minyak yang tergolong ringan seperti bensin, kerosin dan diesel memiliki kecenderungan untuk menguap yang tinggi. Sebaliknya, minyak yang tergolong berat seperti *Heavy Fuel Oil* (HFO) memiliki kecenderungan untuk menguap yang rendah.
3. **Dispersion**
Gelombang dan turbulensi di permukaan laut memiliki peranan yang dapat menyebabkan lapisan minyak terbagi menjadi butiran-butiran dengan ukuran yang bervariasi. Butiran-butiran tersebut akan bercampur dengan gelombang yang ada di laut. Butiran-butiran yang berukuran kecil akan tetap menggantung di laut, sedangkan butiran-butiran yang berukuran besar akan cenderung naik ke permukaan laut dan membentuk sebuah lapisan kembali. Butiran-butiran yang lebih kecil yang terdispersi akan mengalami proses alami seperti *dissolution*, *biodegradation*, dan *sedimentation*.
4. **Emulsification**
Emulsi akan terbentuk ketika ada dua cairan bersatu, dengan satu cairan yang berakhir tersuspensi pada satu cairan yang lain. Emulsifikasi dari minyak mentah merupakan proses dimana tetesan air laut tersuspensi dalam minyak untuk membentuk emulsi air dalam minyak. Emulsi yang terbentuk biasanya sangat kental dari minyak itu sendiri. Pembentukan emulsi tersebut menyebabkan volume polutan naik antara 3 sampai 4 kali.
5. **Dissolution**
Dalam minyak terdapat senyawa yang dapat terlarut dalam air. Senyawa tersebut akan terlarut akibat terjadinya kontak antara minyak dengan air laut. Hal ini terjadi lebih cepat ketika minyak terdispersi di laut. Komponen yang paling mudah larut dalam air laut adalah benzena dan toluena. Namun senyawa tersebut juga cenderung sudah menguap terlebih dahulu karena proses penguapan terjadi 10-1000 kali lebih cepat dibanding disolusi. Kebanyakan minyak memiliki kandungan yang rendah dari senyawa tersebut, sehingga proses ini kurang signifikan terjadi.
6. **Oxidation**
Minyak bereaksi secara kimiawi dengan oksigen. Reaksi tersebut dapat berupa terurainya minyak menjadi senyawa yang dapat larut atau membentuk tars, senyawa yang sulit terurai. Proses ini didorong oleh sinar matahari, namun sangat lambat bahkan dengan sinar matahari yang terik. Lapisan minyak yang tipis hanya terurai 0,1% per harinya. Pembentukan tars terjadi akibat oksidasi dari lapisan minyak atau emulsi yang tebal dengan viskositas tinggi.
7. **Sedimentation & Sinking**
Ketika minyak yang mengambang semakin dekat dengan pantai, sedimentasi dapat terjadi. Ketika senyawa ringan pada minyak sudah menguap, dan lapisannya sudah mengalami pelapukan, sisa dari minyak akan memiliki massa jenis yang hampir

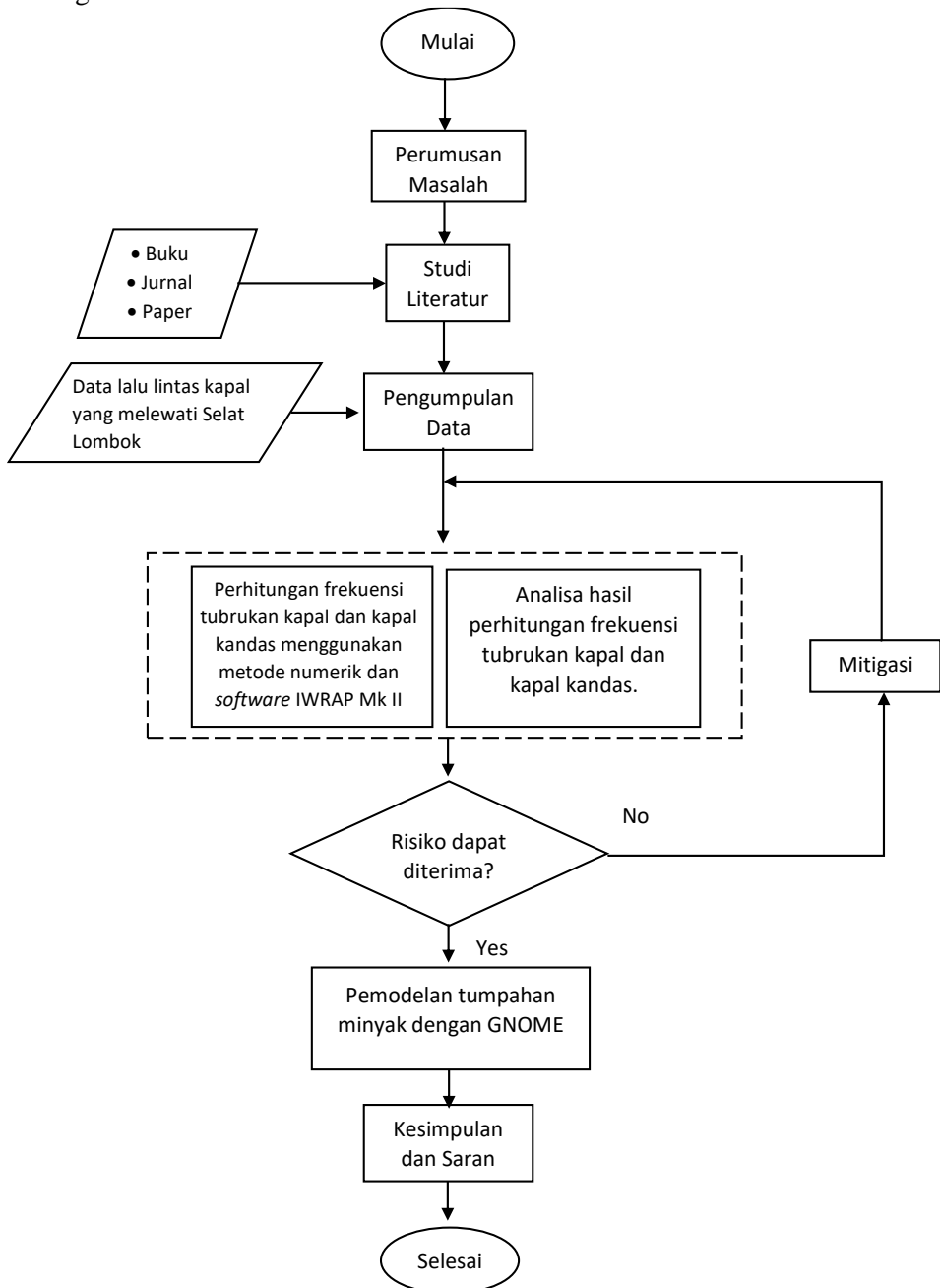
sama dengan air laut. Ketika sisa dari minyak tersebut mengalami kontak dengan suatu endapan, maka endapan tersebut akan terikat pada minyak. Hal ini cenderung terjadi pada perairan yang dangkal. Minyak yang terdampar pada garis pantai akan bercampur dengan pasir dan sedimen lainnya. Jika campuran tersebut terbawa kembali oleh ombak, maka campuran tersebut akan tenggelam di dasar laut karena beratnya.

8. Biodegradation

Beberapa dari mikroorganisme yang ada di laut menggunakan hidrokarbon sebagai sumber energinya, baik secara parsial atau sepenuhnya. Hal tersebut dapat menguraikan minyak menjadi senyawa yang dapat larut di dalam air. Banyak jenis mikroorganisme yang ada di laut, dan masing-masing dari mikroorganisme tersebut cenderung menurunkan kelompok senyawa tertentu dalam minyak mentah. Namun, beberapa senyawa dalam minyak sangat tahan terhadap serangan dan mungkin tidak mudah terdegradasi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penyusunan skripsi ini, dibutuhkan diagram proses pengerjaan, atau yang lebih dikenal dengan metodologi penelitian, yang tersusun dengan baik agar jalannya penelitian untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat menjadi lebih teratur. Pada metodologi penelitian ini, diagram langkah-langkah pengerjaan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.



3.1 Perumusan Masalah

Dalam melakukan sebuah penelitian, tahapan awal yang perlu dilakukan adalah merumuskan masalah yang akan diselesaikan oleh penelitian tersebut. Perumusan masalah dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi terhadap permasalahan yang ada. Identifikasi masalah dapat dilakukan dengan mencari informasi yang akurat melalui berbagai sumber yang dapat dipercaya, seperti portal berita, jurnal ilmiah, isu-isu terkini dan sumber-sumber lainnya. Permasalahan yang diangkat pada penelitian kali ini adalah tentang bahaya kecelakaan kapal di Selat Lombok. Kecelakaan kapal yang berpotensi terjadi di Selat Lombok dapat mengakibatkan kerusakan bagi lingkungan sekitar, terutama pada lokasi yang ditetapkan sebagai wilayah konservasi yaitu Pulau Nusa Penida dan Kepulauan Gili. Dengan ditetapkannya Selat Lombok sebagai ALKI II, maka kapal-kapal yang melintas merupakan kapal-kapal yang berlayar antar samudera dan cenderung memiliki dimensi yang besar. Semakin besar dimensi kapal, maka dampak negatif yang dihasilkan semakin besar pula. Oleh karena itu, permasalahan yang diangkat dan dijadikan topik pada skripsi ini adalah “Penilaian Risiko Terjadinya Tubrukan Kapal & Kapal Kandas dan Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak di Selat Lombok”.

3.2 Studi Literatur

Setelah permasalahan yang diangkat sebagai topik sudah ditetapkan, selanjutnya adalah mempelajari permasalahan tersebut. Tahapan ini dilakukan dengan cara mencari informasi yang berhubungan dengan permasalahan tersebut. Tidak menutup kemungkinan bahwa terdapat penelitian lain dengan permasalahan serupa, sehingga dapat dijadikan sebagai literatur dalam penelitian kali ini. Studi literatur dapat dilakukan dengan membaca jurnal-jurnal ilmiah ataupun buku-buku yang berkaitan. Beberapa literatur yang digunakan adalah

1. IWRAP MK II Theory: Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies *oleh Peter Friis-Hansen, 2007.*
2. Jurnal ilmiah yang berkaitan tentang tubrukan dan kandas.
3. Jurnal ilmiah yang berkaitan tentang tumpahan minyak.

3.3 Pengumpulan Data

Tahapan selanjutnya adalah mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan topik pada skripsi ini. Beberapa data yang perlu dikumpulkan adalah data lalu lintas kapal di Selat Lombok pada satu tahun terakhir. Data tersebut berisi nama kapal, jenis kapal, ukuran kapal serta asal & tujuan kapal tersebut selama satu tahun. Data yang dibutuhkan dapat berupa data dinamis yaitu data *Automatic Identification System* (AIS) ataupun data statis seperti data historis dari otoritas pelabuhan setempat. Data yang digunakan pada penelitian kali ini adalah data lalu lintas kapal di Selat Lombok dari tahun 2014 hingga tahun 2016. Jika diperlukan data pendukung seperti dimensi kapal, data tersebut bisa didapatkan melalui situs Marine Traffic ataupun situs Biro Klasifikasi Indonesia.

3.4 Analisis Risiko Tubrukan dan Kandas

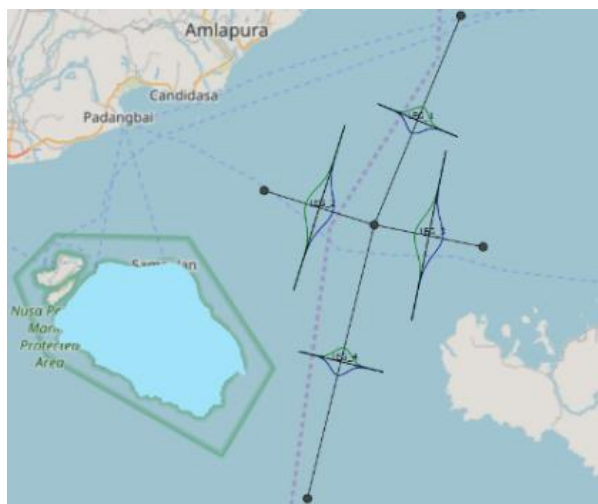
Analisis frekuensi dan analisis konsekuensi dilakukan untuk mengetahui besarnya risiko dari setiap skenario dengan variasi yang dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan variasi hasil yang akan dinilai. Dalam penelitian kali ini, akan dilakukan perhitungan sebanyak dua kali, yaitu perhitungan menggunakan metode numerik yang

Tabel 3.1 Distribusi Kapal Berdasarkan Panjang dan Jenisnya (lanjutan)

Ship Length	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Vessel
0-25	0	6	0	0	3331
25-50	0	0	0	0	3178
50-75	0	0	0	0	0
75-100	0	1742	64	0	0
100-125	0	8	0	3	17
125-150	0	0	0	0	0
150-175	0	6	0	0	0
175-200	0	11	0	0	3
200-225	1106	2	0	0	0
225-250	0	9	0	0	0
250-275	0	3	0	0	0
275-300	0	6	0	0	0
300-325	0	0	0	0	0

3.5 Perangkat lunak IWRAP Mk II

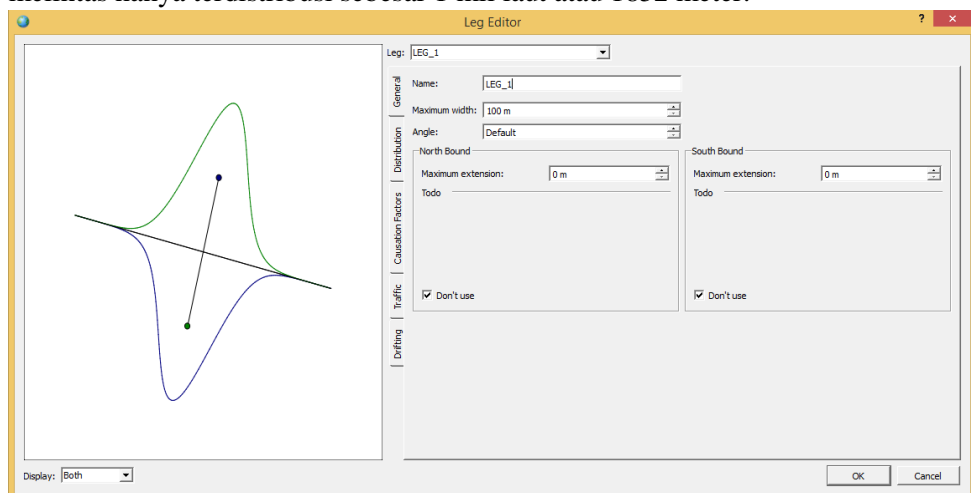
Setelah melakukan pengelompokan kapal berdasarkan jenis dan panjangnya, maka selanjutnya adalah memasukkan data olahan tersebut pada jendela *Traffic Editor* pada perangkat lunak IWRAP MK II. Selain dapat mengatur data frekuensi, pengguna juga dapat mengatur sarat air rata-rata dan kecepatan kapal rata-rata. Ketiga parameter tersebut cukup penting karena dapat mempengaruhi frekuensi kecelakaan yang dapat terjadi. Data pelengkap seperti panjang rata-rata, lebar rata-rata dan kecepatan rata-rata kapal yang akan digunakan pada perhitungan manual, bisa didapatkan dari *Lloyd's ship database* pada lampiran di *IWRAP Mk II Theory*. *Lloyd's ship database* berisi rata-rata panjang, nilai L/B, kecepatan, nilai Cb serta nilai-nilai lain yang dapat digunakan untuk melengkapi data sebelum melakukan perhitungan manual. Pemodelan *leg* yang akan digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Gambar 3.1 Contoh pemodelan *leg* untuk skenario tubrukan

Setelah membuat pemodelan *leg* dari skenario tubrukan, maka selanjutnya adalah memasukkan data dari kapal yang sudah dikelompokkan berdasarkan jenis dan panjangnya ke dalam *traffic editor*. Pada *traffic editor* beberapa parameter perhitungan seperti frekuensi, rata-rata kecepatan dan rata-rata sarat kapal dapat diatur.

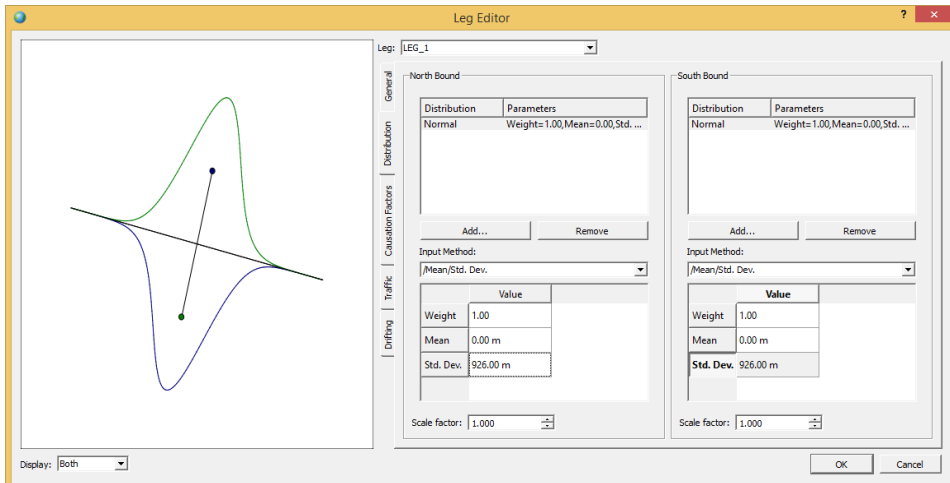
Setelah data-data yang diperlukan sudah dimasukkan pada *traffic editor*, maka perhitungan frekuensi dapat dilakukan, baik dengan metode numerik maupun dengan perangkat lunak IWRAP Mk II. Analisis perhitungan dengan IWRAP MK II dilakukan setelah memodelkan skenario tubrukan maupun kandas terlebih dahulu. Meskipun di Selat Lombok sudah ada alur yang ditentukan sebagai tempat melintasnya kapal, namun menurut data AIS dari situs Marine Traffic, titik tengah alur yang dilewati kapal-kapal tidak sama persis dengan alur yang sudah ditentukan. Oleh karena itu, pembuatan model dari skenario mengacu pada *density plot* pada situs Marine Traffic. Alur yang dibuat dalam pemodelan skenario merupakan susunan dari beberapa titik, yang disebut dengan *waypoint*, yang membentuk sebuah garis dan dinyatakan sebagai titik tengah dari sebuah alur. Setelah alurnya terbentuk, selanjutnya dilakukan penyesuaian model dengan memasukkan data statis ke dalam *leg editor* pada IWRAP MK II. Beberapa fitur yang tersedia dalam *leg editor* adalah:

- a. *General*. Dalam *tab* ini, pengguna IWRAP MK II dapat melakukan penyesuaian umum dari model *leg* seperti nama *leg* tersebut, lebar alur maksimal, sudut dan ekstensi maksimalnya. Gambar 3.2 menunjukkan jendela *leg editor* pada bagian *General* yang digunakan untuk menyesuaikan beberapa pengaturan pada *leg* tersebut. Pada bagian ini, hanya nilai *maximum width* yang diubah pada *leg 1* ini, yaitu menjadi 2 mil laut atau sebesar 3704 meter dengan asumsi kapal yang melintas hanya terdistribusi sebesar 1 mil laut atau 1852 meter.



Gambar 3.2 Tab *General* pada *Leg Editor*

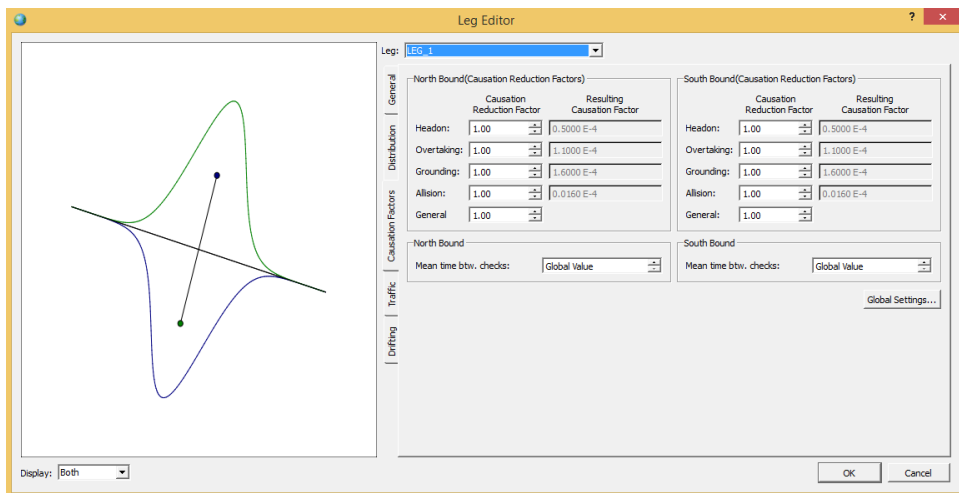
- b. *Distribution*. Pada *tab* ini, pengguna IWRAP MK II dapat memilih jenis distribusi yang akan digunakan pada model *leg* yang sudah di buat. Beberapa opsi distribusi pada *tab* ini adalah distribusi normal, uniform, Weibull dan lain-lain.



Gambar 3.3 Tab *Distribution* pada *leg editor*

Gambar 3.3 menunjukkan *tab Distribution* pada *leg editor*. Dalam *tab* kali ini, *traffic* pada *leg 1* diasumsikan sebagai distribusi normal. Karena pada Selat Lombok belum diaplikasikan skema pemisahan lalu lintas kapal (TSS), maka pada bagian *mean* diisi dengan nilai 0. Nilai pada bagian *standard deviation* diganti menjadi 1852 m atau 1 mil laut dengan asumsi lebar alur sebesar 3704 m atau 2 mil laut.

- c. *Causation Factor*. Pada *tab* ini, pengguna IWRAP MK II dapat mengatur besarnya *causation factor* pada setiap skenario kecelakaan. Dalam perhitungan Tugas Akhir kali ini, nilai *causation factor* yang digunakan menggunakan nilai *default* dari IWRAP MK II. Nilai tersebut merupakan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Fujii dan Mizuki pada tahun 1998. Jendela *causation factor* dapat dilihat pada Gambar 3.4.



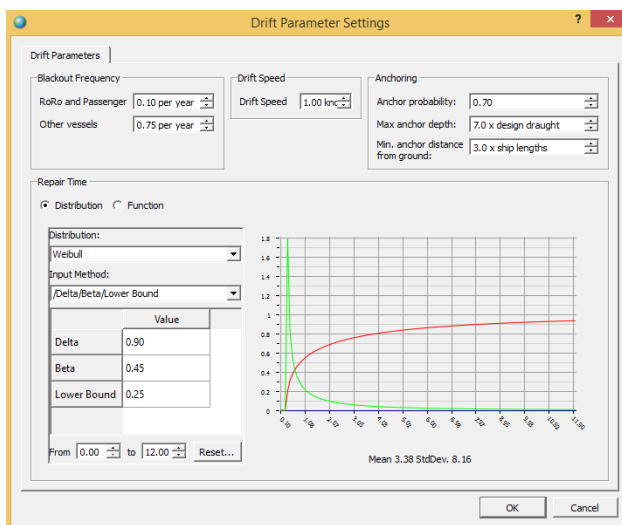
Gambar 3.4 Jendela *causation factor*

- d. *Traffic*. Pada *tab* ini pengguna IWRAP MK II dapat memasukkan data frekuensi kapal, sarat rata-rata kapal, kecepatan rata-rata kapal, dan data-data lain yang diperlukan dalam proses perhitungan frekuensi kecelakaan. Frekuensi kapal yang dimasukkan merupakan frekuensi dari kapal yang melintas pada *leg* tertentu, sehingga jumlah frekuensi kapal dari setiap *leg* mungkin saja berbeda. Jendela *Traffic Editor* dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Crude oil tanker	30 products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Pressure boat	Other ship	Sum		
0-25	0	0	0	0	0	0	3	2	0	165	67	8	247		
25-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	14	0	31		
50-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
75-100	38	21	0	0	14	0	0	3	0	24	0	0	114		
100-125	2	6	2	0	3	0	3	0	0	0	2	2	20		
125-150	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3		
150-175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
175-200	3	0	553	0	555	0	6	0	0	0	0	0	1117		
200-225	0	0	0	0	1106	1106	0	2	0	0	0	0	2214		
225-250	0	553	0	0	1106	0	2	0	0	0	0	0	1661		
250-275	553	1106	0	0	379	0	2	0	0	0	0	0	2040		
275-300	0	0	553	0	3073	0	6	0	0	0	0	0	4432		
300-325	0	0	0	0	2766	0	3	0	0	0	0	0	2769		
325-350	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3		
350-375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
375-400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
400-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sum	593	1688	558	553	17	9785	1106	31	11	593	26	182	83	18	14651

Gambar 3.5 Jendela *traffic editor* pada IWRAP MK II

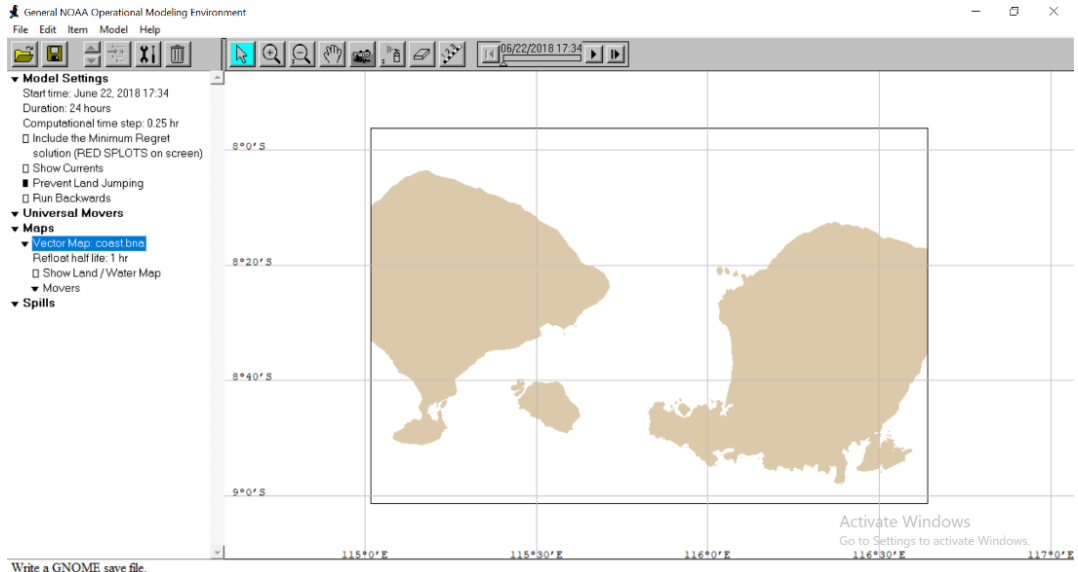
- e. *Drifting*. Pada *tab* ini pengguna dapat mengatur beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai dari *Drifting Grounding*, seperti frekuensi *blackout*, frekuensi *no anchor*, kecepatan *drifting* serta arah angin. Untuk frekuensi *blackout*, nilai yang digunakan adalah nilai *default* dari sistem, yaitu 0,1/tahun untuk kapal penumpang/ro-ro dan 0,75/tahun untuk selain kapal penumpang/ro-ro. Penentuan nilai frekuensi *no anchor* mengacu pada dokumen IALA dengan nomor 18591.620/TECH_DOC/2. Pada dokumen tersebut, penentuan nilai frekuensi *no anchor* dilakukan berdasarkan *Beaufort Scale*, yaitu ukuran empiris yang berkaitan dengan kecepatan angin untuk pengamatan kondisi di darat atau di laut. Jendela *drift parameter settings* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Jendela pengaturan *drift parameter*.

3.6 Pemodelan Konsekuensi

Pemodelan konsekuensi tumpahan minyak dilakukan dengan bantuan perangkat lunak GNOME. Pemodelan ini bertujuan untuk memprediksi persebaran dari tumpahan minyak dan penyebarannya akibat adanya arus laut dan tiupan angin. Simulasi persebaran dari minyak yang tumpah akibat kecelakaan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah penyebarannya berdampak pada wilayah konservasi yang ada di Selat Lombok seperti Pulau Nusa Penida dan Kepulauan Gili. Tampilan perangkat lunak GNOME dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Tampilan perangkat lunak GNOME

Untuk melakukan pemodelan tumpahan minyak, lokasi terjadinya kecelakaan kapal perlu diketahui terlebih dahulu. Berdasarkan skenario tubrukan dan kandas yang sudah dimodelkan sebelumnya, maka skenario yang berdampak pada daerah konservasi adalah skenario tubrukan jenis *crossing collision*. Titik terjadinya *crossing collision* dipilih menjadi lokasi pemodelan tumpahan minyak karena titik yang berdampak dari tubrukan tersebut adalah bagian *side hull*-nya, dan pada kapal pengangkut minyak, titik tersebut paling berpotensi menimbulkan *rupture* yang dapat menyebabkan tumpahnya muatan ke lautan. Titik terjadinya *crossing collision* dapat diketahui setelah pemodelan tubrukan pada perangkat lunak IWRAP Mk II.

Untuk memodelkan tumpahan minyak di Selat Lombok menggunakan perangkat lunak GNOME, ada beberapa hal yang dibutuhkan yaitu

1. *Base map* Selat Lombok
2. Data kecepatan & arah arus laut di Selat Lombok
3. Data kecepatan & arah angin di Selat Lombok

Data yang akan digunakan untuk *input* pada GNOME tersebut bisa didapatkan dari *GNOME Online Oceanographic Data Server (GOODS)*, yaitu *database* dari kondisi geografis laut yang dihimpun oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration, USA*.

Setelah *base map* Selat Lombok dimuat pada GNOME, pada menu *Item* pilih *Add*, lalu pilih *Type: Point/Line Source Spots*, lalu pilih *create* untuk menambahkan titik tumpahan minyak. Setelah itu akan muncul jendela *Spill information* seperti Gambar 3.8. Pada jendela tersebut, beberapa hal yang berkaitan dengan pemodelan tumpahan minyak dapat diatur, seperti jenis minyak yang tumpah, jumlah minyak yang tumpah, titik terjadinya tumpahan, serta perubahan posisi tumpahan apabila objek yang menumpahkan minyak masih bergerak.

Spill Information

Spill Name:

Pollutant: # Spots:

Amount Released:

Release start

June 24 2018 Lat: Deg: 8 Min: 30.33 South

Start Time: (24-hour) 10 : 0 Long: Deg: 115 Min: 53.07 East

Different end release time Different end release position

decimal degrees
 degrees/minutes
 degrees/minutes/seconds

Gambar 3.8 Jendela *Spill information*

Untuk memasukkan arus dan angin pada pemodelan, dapat dilakukan dengan mengeklik dua kali bagian *Movers*, maka akan muncul jendela seperti Gambar 3.9.

Please select the type and source of new mover to be added:

Type:

- Currents
- Winds-Variable
- Winds-Constant
- Diffusion
- Component Mover
- Compound Current

Gambar 3.9 Jendela *Mover*.

Untuk menambahkan pengaruh arus terhadap pemodelan, klik *Load* lalu pilih *file* yang diunduh dari GOODS, sedangkan untuk menambahkan pengaruh angin, terdapat dua pilihan, yaitu *Winds-Variable* dan *Winds-Constant*. *Winds-Variable* digunakan apabila pemodelan tumpahan minyak terjadi di daerah yang arah dan kecepatan anginnya dapat berubah-ubah dalam interval waktu yang berdekatan, sedangkan *Winds-Constant* digunakan bila kecepatan dan arah angin bertiup konstan (tidak berubah-ubah).

Setelah pengaturan untuk pemodelan tumpahan minyak selesai, maka pemodelan dapat dijalankan dengan memilih pilihan *Run* pada menu *Model*. Pemodelan persebaran tumpahan minyak akan berjalan selama waktu yang ditentukan.

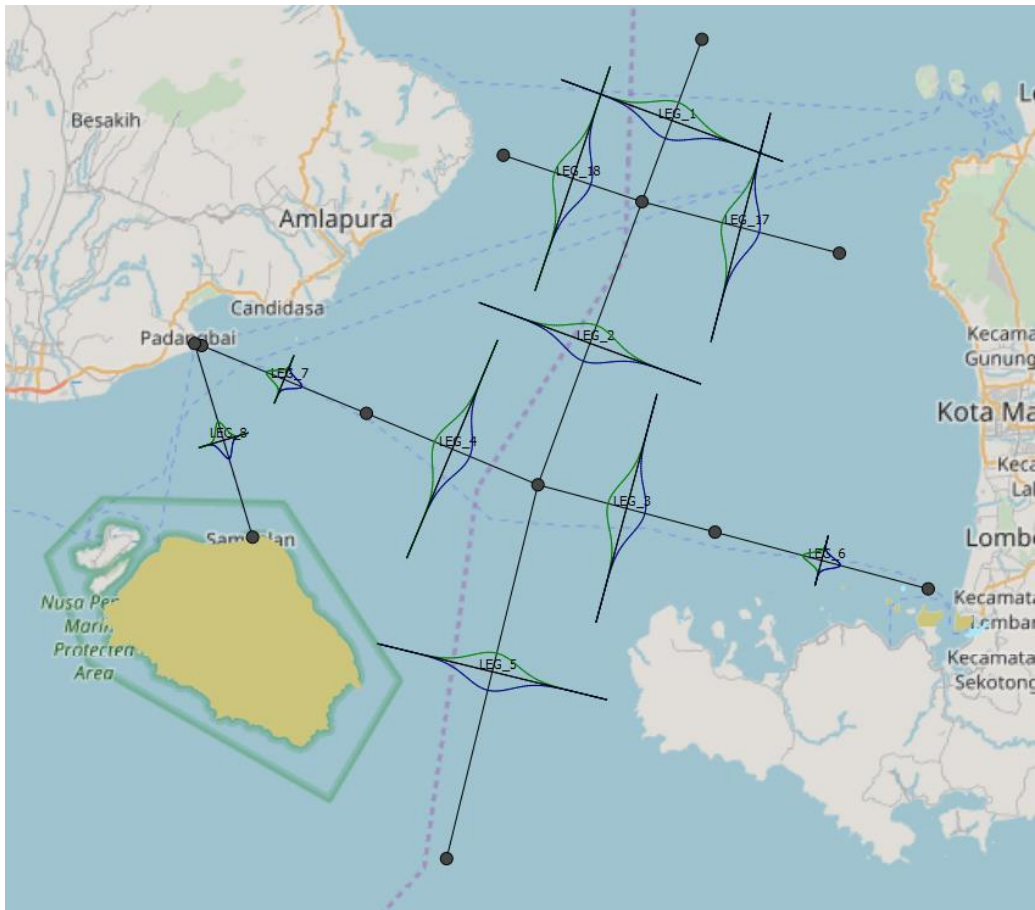
3.7 Rekomendasi Mitigasi

Apabila hasil dari analisis tubrukan kapal dan kapal kandas menunjukkan nilai frekuensi melebihi dari batas yang dapat diterima ataupun konsekuensi dari kejadian tersebut memberikan dampak negatif yang besar, rekomendasi mitigasi diberikan. Rekomendasi mitigasi diberikan agar nilai frekuensi ataupun konsekuensi dapat dikurangi.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Untuk melakukan penilaian risiko tubrukan kapal dan kapal kandas dengan studi kasus Selat Lombok, diperlukan pembuatan skenario alur pelayaran berdasarkan data aktual, sehingga hasil analisis yang dilakukan akurat. Pemodelan *leg* dalam penelitian kali ini dilakukan berdasarkan arah tujuan kapal-kapal yang melintas di Selat Lombok. Berdasarkan data yang didapat dari otoritas pelabuhan setempat, beberapa rute kapal yang melintas di Selat Lombok adalah sebagai berikut:

- Kapal-kapal yang melintas di ALKI II, yaitu kapal-kapal yang berlayar dari arah selatan menuju utara Selat Lombok dan sebaliknya.
- Kapal-kapal penyeberangan Pulau Bali dan Pulau Lombok, yaitu dari pelabuhan Padangbai menuju pelabuhan Lembar dan sebaliknya.
- Kapal penyeberangan Pulau Bali dan Pulau Nusa Penida, yaitu dari pelabuhan Padangbai menuju pelabuhan Nusa Penida dan sebaliknya.



Gambar 4.1 Model *leg* yang digunakan dalam analisis

Hasil pemodelan *leg* yang dilakukan pada perangkat lunak IWRAP Mk II dapat dilihat pada Gambar 4.1. Penilaian risiko tubrukan kapal dan kapal kandas pada penelitian kali ini lebih berfokus pada kapal-kapal yang berlayar di sekitar Pulau Nusa Penida. Meskipun Kepulauan Gili juga merupakan wilayah konservasi, namun data kepadatan lalu lintas kapal pada Gambar 2.1 menunjukkan bahwa hanya ada sedikit kapal yang melintas di dekat Kepulauan Gili. Hal ini dapat terjadi karena pembukaan bagian utara Selat Lombok memiliki jarak yang lebih lebar dibandingkan di bagian selatan. Analisis frekuensi tubrukan kapal dan kapal kandas dilakukan dengan metode numerik berdasarkan persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (2007) dan dengan menggunakan perangkat lunak IWRAP Mk II.

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa ada beberapa *leg* yang berpotensi mengalami tubrukan dan kandas di sekitar Pulau Nusa Penida adalah *leg 5*, *leg 7*, dan *leg 8*. *Leg 5* merupakan alur pelayaran kapal-kapal penyeberangan antara Pulau Bali dan Pulau Lombok. Kapal-kapal yang melintas di *leg 5* sebagian besar adalah kapal penumpang seperti ro-ro dan ferry. *Leg 7* merupakan alur pelayaran kapal-kapal yang melintas pada ALKI II. Kapal-kapal yang melintas pada *leg 7* merupakan kapal-kapal asing yang rata-rata panjangnya melebihi 175 meter dengan berbagai macam tipe seperti *bulk carrier*, *crude oil tanker*, *oil product tanker* dan lainnya. *Leg 8* merupakan alur pelayaran kapal penyeberangan antara Pelabuhan Padangbai dan Pelabuhan Nusa Penida. Berdasarkan hasil observasi dari situs Marine Traffic, pada *leg 8*, hanya ada 1 buah kapal yang melintas, yaitu kapal KM Nusa Jaya Abadi. KM Nusa Jaya Abadi merupakan kapal penumpang yang melayani penyeberangan antara Pelabuhan Padangbai dan Pelabuhan Nusa Penida, dengan frekuensi 2 kali *trip* per harinya.

Untuk menghitung peluang terjadinya kandas, kedalaman laut di lokasi yang dianalisis harus diketahui terlebih dahulu. Kapal-kapal yang memiliki sarat melebihi kedalaman laut memiliki peluang untuk mengalami kandas, sedangkan kapal-kapal yang saratnya kurang dari kedalaman laut tidak akan mengalami kandas. Situs Navionics dapat menampilkan peta kedalaman perairan di Selat Lombok yang akan digunakan dalam analisa peluang terjadinya kapal kandas. Berdasarkan situs Navionics, perairan di sekitar Pulau Nusa Penida memiliki kedalaman lebih dari 10 meter, oleh karena itu kapal-kapal yang melintas melewati daerah tersebut memiliki potensi mengalami *Powered Grounding* yang sangat kecil, mengingat jarak dari tengah jalur hingga Pulau Nusa Penida lebih dari 8 kilometer. Oleh karena itu analisis frekuensi *Powered Grounding* dalam penelitian kali ini dilakukan di sekitar pelabuhan Lembar. Data-data pelengkap seperti lebar kapal, sarat kapal, serta kecepatan kapal di dapatkan dari *Lloyd's database* pada *Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies* oleh Hansen, 2007.

4.1 Pengolahan Data Kapal

Untuk melakukan perhitungan frekuensi terjadinya tubrukan kapal dan kapal kandas, data yang digunakan adalah data statis lalu lintas kapal di Selat Lombok selama tahun 2014-2016. Berdasarkan data yang sudah didapat dari otoritas pelabuhan setempat, jumlah kapal yang melintas di Selat Lombok berjumlah 23.679 kapal. Data tersebut dikelompokkan berdasarkan panjangnya per 25 meter dan berdasarkan jenis muatan yang diangkutnya dalam format seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Distribusi Kapal Berdasarkan Panjang dan Jenisnya

Type of Ship	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	Container	General Cargo	Bulk Carrier
0-25	0	2	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	27	36	5	0	0	0	2
100-125	32	614	17	0	9	64	0
125-150	0	0	9	0	0	2	0
150-175	0	0	0	0	0	3	0
175-200	9	0	553	0	0	0	553
200-225	0	0	0	0	0	0	1106
225-250	0	553	0	0	0	0	1106
250-275	553	1106	0	0	0	0	379
275-300	0	0	0	553	0	0	3873
300-325	0	0	0	0	0	0	2766

Tabel 4.1 Distribusi Kapal Berdasarkan Panjang dan Jenisnya (lanjutan)

Type of Ship	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Vessel
0-25	0	6	0	0	3331
25-50	0	0	0	0	3178
50-75	0	0	0	0	0
75-100	0	1742	64	0	0
100-125	0	8	0	3	17
125-150	0	0	0	0	0
150-175	0	6	0	0	0
175-200	0	11	0	0	3
200-225	1106	2	0	0	0
225-250	0	9	0	0	0
250-275	0	3	0	0	0
275-300	0	6	0	0	0
300-325	0	0	0	0	0

4.2 Analisis Frekuensi Kecelakaan

Analisis frekuensi tubrukan dengan skenario *head-on*, *overtaking* dan *crossing collision* dan analisis frekuensi kandas dengan skenario *powered grounding* dan *drifting grounding* dilakukan dengan dua metode, yaitu metode numerik yang tertulis dalam *IWRAP Theory* dan menggunakan perangkat lunak IWRAP Mk II. Perhitungan dilakukan dua kali untuk mengukur keakuratan hasil perhitungan frekuensi tubrukan. Dalam metode numerik, perhitungan didasarkan pada persamaan yang dipublikasikan oleh Peter Friis-Hansen pada tahun 2007 (*Technical University of Denmark*). Persamaan tersebut juga merupakan dasar perhitungan yang digunakan pada perangkat lunak IWRAP MK II. Sebelum memulai

perhitungan, diperlukan pembuatan model skenario kecelakaan yang akan dianalisis. Setelah pemodelan skenario sudah dibuat, selanjutnya adalah memastikan kelengkapan data yang akan digunakan dalam perhitungan. Beberapa data yang diperlukan dalam perhitungan frekuensi tubrukan kapal dan kapal kandas adalah sebagai berikut:

- Panjang kapal yang berlayar pada jalur i dan jalur j , dinyatakan dengan notasi L_i, L_j .
- Lebar kapal yang berlayar pada jalur i dan jalur j , dinyatakan dengan notasi B_i, B_j .
- Kecepatan kapal yang melintasi jalur i dan jalur j dinyatakan dengan notasi V_i, V_j .
- Jumlah kapal yang melintas pada kurun waktu tertentu, dinyatakan dengan notasi Q_i, Q_j .
- Sudut yang terbentuk dari dua jalur yang bersimpangan, dinyatakan dengan notasi θ .

Notasi i dan j melambangkan 2 kelompok kapal yang berbeda. Pada skenario *Head-On Collision*, notasi i dan j melambangkan 2 kelompok kapal yang bergerak dengan arah yang saling berlawanan. Pada skenario *Overtaking Collision*, notasi i dan j melambangkan 2 kelompok kapal yang saling mendahului. Pada skenario *Crossing Collision*, notasi i dan j melambangkan 2 kelompok kapal yang rutenya saling memotong satu sama lain sehingga membentuk sudut (θ).

4.2.1 Analisis Head-on Collision

Dalam melakukan perhitungan frekuensi tubrukan dengan skenario *Head-on Collision*, *leg 5* digunakan sebagai acuan. *Head-on Collision* merupakan skenario tubrukan yang terjadi diantara dua kapal yang bergerak dengan arah yang berlawanan, sehingga terjadi tubrukan di bagian haluan kapal i dengan bagian haluan kapal j . *Head-On Collision* dapat terjadi di Selat Lombok karena alur pelayaran di lokasi tersebut masih untuk dua arah. Kapal-kapal yang melintas di *leg 5* dengan arah gerak menuju utara maupun selatan berlayar pada satu alur yang sama, sehingga pemodelan distribusinya seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Perhitungan frekuensi *Head-on Collision* dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (2007). Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2-1 hingga 2-3 seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 4.2 *Leg 5*.

Gambar 4.3 merupakan pemodelan *leg 5* yang akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan *Head-on Collision*. Kapal-kapal yang melintas dikelompokkan menjadi dua, yaitu kapal-kapal yang bergerak ke arah selatan dilambangkan dengan notasi i , sedangkan kapal-kapal yang bergerak ke arah utara dilambangkan dengan notasi j . Pada *leg 5* panjang lintasannya (L_w) adalah 30103 meter, dengan *standard deviation* 3704 meter dan *mean* 0. Untuk melakukan perhitungan frekuensi *Head-on Collision*, data-data yang diperlukan adalah panjang kapal i dan j , lebar kapal i dan j , jumlah kapal i dan j , serta kecepatan kapal i dan j . Data-data yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- Panjang kapal i (L_i) = 235 meter
- Lebar kapal i (B_i) = 41,6 meter
- Jumlah kapal i (Q_i) = 553 kapal
- Kecepatan kapal i (V_i) = 14,9 knots
= 7,665 m/s
- Panjang kapal j (L_j) = 264 meter
- Lebar kapal j (B_j) = 50 meter
- Jumlah kapal j (Q_j) = 1106 kapal
- Kecepatan kapal j (V_j) = 15,6 knots
= 8,025 m/s

Setelah data-data yang dibutuhkan sudah tersedia, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan kecepatan relatif dari kedua kapal. Kecepatan relatif kapal kedua kapal didapatkan dengan menjumlahkan V_i dan V_j .

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

$$V_{ij} = 7,665 + 8,025 \text{ m/s}$$

$$V_{ij} = 15,690 \text{ m/s}$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai lebar rata-rata antara kedua kapal (B_{ij}) dengan menjumlahkan lebar kedua kapal lalu nilainya dibagi dua, sehingga hasilnya adalah:

$$B_{ij} = \left(\frac{B_i + B_j}{2} \right)$$

$$B_{ij} = \left(\frac{41,6 + 50}{2} \right)$$

$$B_{ij} = 45,8 \text{ m}$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai *mean* dari jarak alur pelayaran diantara kedua kapal (μ_{ij}) dan menentukan nilai *standard deviation* dari kedua kapal pada alur pelayaran, dengan asumsi kapal berlayar dalam fungsi *standard normal distribution*. Nilai *mean* yang digunakan pada perhitungan kali ini adalah 0 dengan *standard deviation* adalah 1 mil laut atau 1852 meter.

$$\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j$$

$$\mu_{ij} = 0 + 0 = 0$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2}$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{(1852)^2 + (1852)^2}$$

$$\sigma_{ij} = 2619,124$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai kemungkinan kedua kapal mengalami tubrukan (P_G). Karena distribusi yang digunakan adalah *standard normal distribution*, maka nilai P_G didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2-5.

$$P_G = \Phi\left(\frac{B_{ij}-\mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij}+\mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)$$

$$P_G = \Phi\left(\frac{45,8-0}{2619,124}\right) - \Phi\left(-\frac{45,8+0}{2619,124}\right)$$

$$P_G = 0,50698 - 0,49302$$

$$P_G = 0,01395$$

Selanjutnya adalah menentukan kandidat kapal yang akan berpotensi mengalami *Head-On Collision* pada alur pelayaran yang ditinjau atau yang dikenal dengan *geometric number* ($N_G^{head-on}$). $N_G^{head-on}$ dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-4.

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

$$N_G^{head-on} = 30103 \times 0,01395 \times \frac{15,690}{7,665+8,025} \times (553 \times 1106)$$

$$N_G^{head-on} = 2,107289$$

Dengan diketahuinya nilai $N_G^{head-on}$, maka frekuensi *Head-On Collision* dapat ditentukan dengan mengalikan nilai $N_G^{head-on}$ dengan *causation probability* (P_c). Pada perhitungan kali ini, penentuan nilai P_c dilakukan berdasarkan penelitian Fujii & Mizuki pada tahun 1998, yaitu sebesar 0,00005. Hasil perhitungan *Head-On Collision* adalah:

$$\lambda = P_c \times N_G$$

$$\lambda = 0,00005 \times 2,107289$$

$$\lambda = 0,000105$$

Dengan menggunakan metode perhitungan yang sama, total dari nilai frekuensi *head-on collision* pada leg 5 adalah $4,05 \times 10^{-2}$, sedangkan hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak IWRAP Mk II adalah $4,0 \times 10^{-2}$. Dari kedua hasil perhitungan tersebut, tingkat keakuratan antara kedua perhitungan adalah sebesar 98,7%.

4.2.2 Analisis Overtaking Collision

Dalam melakukan perhitungan frekuensi tubrukan dengan skenario *Overtaking Collision*, leg 5 bagian *south bound* digunakan sebagai acuan. *Overtaking Collision* merupakan skenario tubrukan yang terjadi diantara dua kapal yang bergerak dengan arah yang sama, sehingga tubrukan terjadi ketika kapal j berusaha untuk mendahului kapal i . *Overtaking Collision* dapat terjadi di Selat Lombok karena kapal-kapal yang melintas memiliki perbedaan kecepatan yang bervariasi. Perhitungan frekuensi *Overtaking Collision* dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (2007). Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2-1 hingga 2-3 seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Perbedaan perhitungan frekuensi *Overtaking Collision* dengan *Head-On Collision* terletak pada nilai kecepatan relatifnya (V_{ij}).



Gambar 4.3 Leg 5 South Bound

Gambar 4.3 merupakan pemodelan *leg 5* bagian *south bound* yang akan digunakan dalam perhitungan frekuensi *Overtaking Collision*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan dua kapal yang berbeda pada alur yang dilambangkan dengan notasi i dan j . Pada *leg 5*, panjang lintasan (L_w) adalah 30103 meter, dengan *standard deviation* 3704 meter dan *mean* 0. Untuk melakukan perhitungan frekuensi *Overtaking Collision*, data-data yang diperlukan adalah panjang kapal i dan j , lebar kapal i dan j , jumlah kapal i dan j , serta kecepatan kapal i dan j . Data-data yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- Panjang kapal i (L_i) = 281 meter
- Lebar kapal i (B_i) = 45,9 meter
- Jumlah kapal i (Q_i) = 3873 kapal
- Kecepatan kapal i (V_i) = 14,6 knots
= 7,510 m/s
- Panjang kapal j (L_j) = 307 meter
- Lebar kapal j (B_j) = 49,8 meter
- Jumlah kapal j (Q_j) = 2766 kapal
- Kecepatan kapal j (V_j) = 13,9 knots
= 7,150 m/s

Setelah data-data yang dibutuhkan sudah tersedia, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan kecepatan relatif dari kedua kapal. Kecepatan relatif kapal i terhadap kapal j didapatkan dengan menghitung selisih antara V_i dan V_j . Jika nilai V_{ij} negatif, maka *Overtaking Collision* tidak akan terjadi karena kapal j tidak dapat mendahului kapal i . Jika V_{ij} bernilai positif, maka kapal j dapat melewati kapal i dan *Overtaking Collision* dapat terjadi.

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

$$V_{ij} = 7,510 - 7,150$$

$$V_{ij} = 0,360 \text{ m/s}$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai lebar rata-rata antara kedua kapal (B_{ij}) dengan menjumlahkan lebar kedua kapal lalu nilainya dibagi dua, sehingga hasilnya adalah:

$$B_{ij} = \left(\frac{B_i + B_j}{2} \right)$$

$$B_{ij} = \left(\frac{45,9 + 49,8}{2} \right)$$

$$B_{ij} = 47,9 \text{ m}$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai *mean* dari jarak alur pelayaran diantara kedua kapal (μ_{ij}) dan menentukan nilai *standard deviation* dari kedua kapal pada alur pelayaran, dengan asumsi kapal berlayar dalam fungsi *standard normal distribution*. Nilai *mean* yang digunakan pada perhitungan kali ini adalah 0 dengan *standard deviation* adalah 1 mil laut atau 1852 meter.

$$\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j$$

$$\mu_{ij} = 0 + 0 = 0$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2}$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{(1852)^2 + (1852)^2}$$

$$\sigma_{ij} = 2619,124$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai kemungkinan kedua kapal mengalami tubrukan (P_G). Karena distribusi yang digunakan adalah *standard normal distribution* dan nilai V_{ij} adalah positif, maka nilai P_G didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2-5.

$$P_G = \Phi \left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) - \Phi \left(- \frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)$$

$$P_G = \Phi \left(\frac{47,9 - 0}{2619,12} \right) - \Phi \left(- \frac{47,9 + 0}{2619,12} \right)$$

$$P_G = 0,50729 - 0,49271$$

$$P_G = 0,1458$$

Selanjutnya adalah menentukan kandidat kapal yang akan berpotensi mengalami *Overtaking Collision* pada alur pelayaran yang ditinjau atau yang dikenal dengan *geometric number* ($N_G^{\text{overtaking}}$). $N_G^{\text{overtaking}}$ dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-4.

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

$$N_G^{\text{overtaking}} = 30103 \times 0,1458 \times \frac{14,660}{7,510 + 7,150} \times (3873 \times 2766)$$

$$N_G^{\text{overtaking}} = 1,0137$$

Dengan diketahuinya nilai $N_G^{\text{overtaking}}$, maka frekuensi *Overtaking Collision* dapat ditentukan dengan mengalikan nilai $N_G^{\text{overtaking}}$ dengan *causation probability* (P_c). Pada perhitungan kali ini, penentuan nilai P_c dilakukan berdasarkan penelitian Fujii & Mizuki pada tahun 1998, yaitu sebesar 0,00011. Hasil perhitungan *Overtaking Collision* adalah:

$$\lambda = P_c \times N_G$$

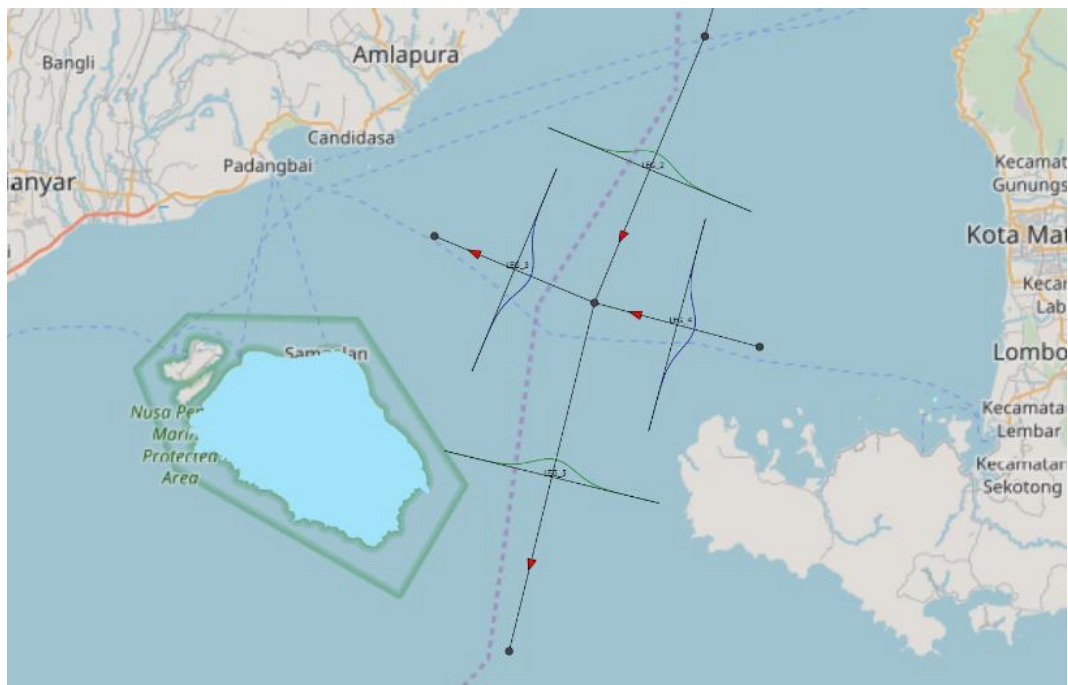
$$\lambda = 0,00011 \times 1,0137$$

$$\lambda = 0,00011151$$

Dengan menggunakan metode perhitungan yang sama pada setiap *leg* yang sudah dimodelkan, maka frekuensi total *head-on collision* pada *leg 5* adalah 0,004173, sedangkan hasil perhitungan dengan perangkat lunak IWRAP Mk II adalah 0,004138. Dari kedua hasil tersebut, tingkat keakuratan diantara kedua perhitungan adalah sebesar 99,1%.

4.2.3 Analisis *Crossing Collision*

Dalam melakukan perhitungan frekuensi tubrukan dengan skenario *Crossing Collision*, leg 5 bagian *south bound* digunakan sebagai acuan. *Crossing Collision* merupakan skenario tubrukan yang terjadi diantara dua kapal yang memiliki rute yang berpotongan dan membentuk sudut tertentu (θ). *Crossing Collision* terjadi ketika kapal i dan kapal j tetap melaju pada alurnya masing-masing dan mengalami tubrukan di titik persimpangan. *Crossing Collision* dapat terjadi di Selat Lombok karena terdapat rute kapal yang berpotongan satu sama lain, yaitu kapal-kapal penyeberangan antara Pulau Bali dan Pulau Lombok, serta kapal-kapal yang berlayar di ALKI II. Perhitungan frekuensi *Crossing Collision* dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Hansen (2007). Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2-1, persamaan 2-5, persamaan 2-6 dan persamaan 2-7.



Gambar 4.4 Skenario *crossing collision*

Gambar 4.4 merupakan pemodelan skenario *crossing collision*. Pada skenario ini, terdapat 2 kelompok kapal yang arah geraknya saling memotong alur satu sama lain. Kelompok kapal pertama adalah kapal-kapal yang berlayar pada ALKI II dan bergerak dari selatan menuju utara, sedangkan kelompok kedua adalah kapal-kapal penyeberangan yang bergerak dari barat ke timur. Pada persimpangan kedua alur tersebut terdapat kemungkinan terjadinya *crossing collision*. Sudut lintasan yang terbentuk adalah 90° , dengan lebar alur 1852 meter, *standard deviation* 3704 meter dan *mean* 0. Untuk melakukan perhitungan frekuensi *Overtaking Collision*, data-data yang diperlukan adalah panjang kapal i dan j , lebar kapal i dan j , jumlah kapal i dan j , serta kecepatan kapal i dan j . Data-data yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- Panjang kapal i (L_i) = 86 meter

- Lebar kapal i (B_i) = 17 meter
- Jumlah kapal i (Q_i) = 1742
- Kecepatan kapal i (V_i) = 15,5 knots
= 7,973 m/s
- Panjang kapal j (L_j) = 235 meter
- Lebar kapal j (B_j) = 41,59 meter
- Jumlah kapal j (Q_j) = 1106
- Kecepatan kapal j (V_j) = 14,9 knots
= 7,665 m/s
- Sudut lintasan (θ) = 90°

Setelah data-data yang dibutuhkan sudah tersedia, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan kecepatan relatif dari kedua kapal. Kecepatan relatif kedua kapal dapat dihitung dengan Persamaan 2-8.

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

$$V_{ij} = \sqrt{(7,973)^2 + (7,665)^2 - 2 \cdot (7,973) \cdot (7,665) \cdot (0,5)}$$

$$V_{ij} = 11,06 \text{ m/s}$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai *collision diameter* (D_{ij}). D_{ij} merupakan area yang terbentuk dari dua kapal atau lebih pada kondisi ketika kapal-kapal tersebut bertubrukan. Nilai D_{ij} dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-9.

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

$$D_{ij} = \frac{(86) \cdot (7,973) + (235) \cdot (7,665)}{(11,06)} \cdot 1 + (41,6) \left\{ 1 - \left(1 \cdot \frac{7,973}{11,06} \right)^2 \right\} + 17 \left\{ 1 - \left(1 \cdot \frac{7,665}{11,06} \right)^2 \right\}$$

$$D_{ij} = 270,096 \text{ meter}$$

Selanjutnya adalah menentukan kandidat kapal yang akan berpotensi mengalami *Crossing Collision* pada alur pelayaran yang ditinjau atau yang dikenal dengan *geometric number* ($N_G^{crossing}$). $N_G^{crossing}$ dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-7.

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i Q_j}{V_i V_j} D_{ij} \cdot V_{ij} \frac{1}{\sin\theta} \quad \text{untuk sudut sebesar } 10^\circ < [\theta] < 170^\circ$$

$$N_G^{crossing} = \frac{1742 \times 553}{7,973 \times 7,665} \times 270,096 \times 11,06 \times \frac{1}{1}$$

$$N_G^{crossing} = 3,0287$$

Sehingga dengan *geometric number* yang telah didapatkan dan nilai dari *causation probability* (P_c) yang digunakan merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fujii dan Mizuki pada tahun 1998 yaitu sebesar 0,0000129. Maka, frekuensi tubrukan yang didapatkan dari hasil kali *geometric number* dengan *causation probability* adalah,

$$\lambda = P_c \times N_G$$

$$\lambda = 0,0000129 \times 3,0287$$

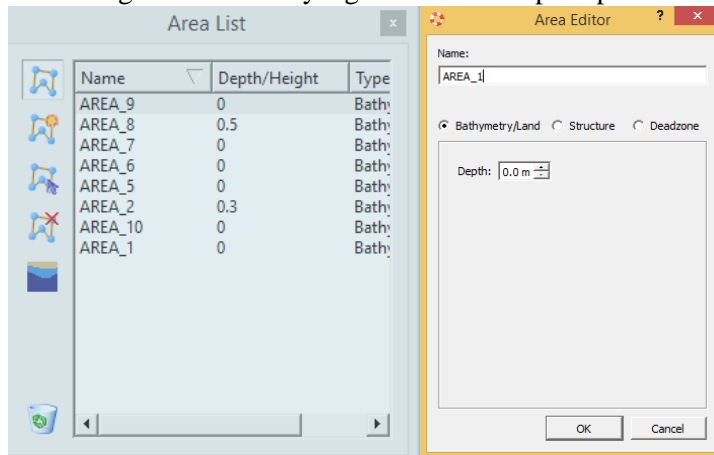
$$\lambda = 0,0000003907$$

Dengan menggunakan metode perhitungan yang sama, total dari frekuensi *crossing collision* pada *waypoint 2* adalah 0,001791, sedangkan hasil perhitungan dengan perangkat

lunak IWRAP Mk II adalah 0,001808. Dari kedua hasil tersebut, tingkat keakuratan diantara kedua perhitungan adalah sebesar, 99,06%

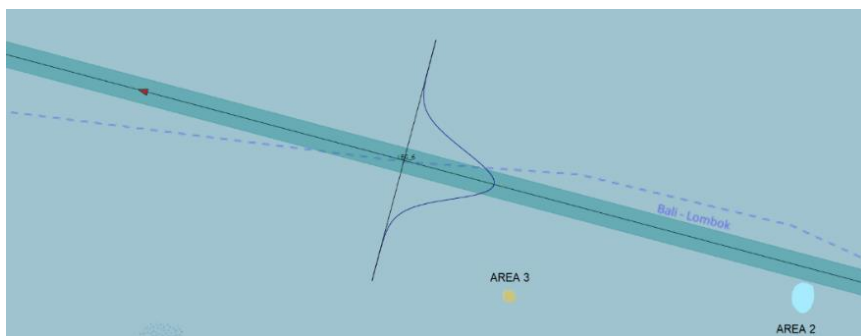
4.2.4 Analisis Powered Grounding

Powered grounding dapat terjadi apabila terdapat sebuah hambatan pada rute kapal. *Powered grounding* disebabkan akibat adanya cuaca buruk atau hal lain yang membuat pandangan kru kapal menjadi terbatas, sehingga tidak dapat melihat adanya hambatan yang dapat membuat kapal mengalami kandas. Pada *powered grounding*, kapal menabrak hambatan tersebut dengan kecepatan yang dihasilkan oleh mesin penggerakya sendiri. Untuk perhitungan *powered grounding* diperlukan menghitung area dari hambatan terhadap distribusi dari kapal pada suatu alur. Sebelum memulai perhitungan frekuensi *powered grounding*, pengguna IWRAP MK II perlu menggambar area dari hambatan terlebih dahulu pada IWRAP MK II dengan kedalaman yang disesuaikan seperti pada situs Navionics.



Gambar 4.5 Jendela Area/Bathymetry Tool

Gambar 4.5 merupakan salah satu fitur dari IWRAP MK II untuk menciptakan sebuah area dengan kedalaman tertentu. Fitur ini digunakan apabila IWRAP MK II digunakan untuk menghitung frekuensi *grounding*. Pada area yang sudah diatur kedalamannya, kapal-kapal yang memiliki sarat lebih tinggi dari kedalaman area tersebut akan berpotensi mengalami *grounding* dengan dipengaruhi beberapa faktor seperti frekuensi kapal yang melintas, sarat rata-rata kapal dan luasan area tersebut terhadap fungsi distribusi normal kapal-kapal yang melintas.



Gambar 4.6 Skenario Powered Grounding

Gambar 4.6 merupakan pemodelan dari skenario *powered grounding*, dimana kapal-kapal yang melintas pada *leg 6* memiliki potensi mengalami kandas karena menabrak Area 2 dan Area 3. Area 2 merupakan perairan yang memiliki kedalaman 0,3 meter, sedangkan Area 3 merupakan Pulau Gilipoh. Data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan skenario *powered grounding* adalah sebagai berikut:

Frekuensi kapal i (Q_i)	= 10544 kapal
<i>Safety factor</i> untuk kapal penumpang	= 0,05
Z_{min}	= 240 meter dari garis tengah <i>leg</i>
Z_{max}	= 730 meter dari garis tengah <i>leg</i>

Dalam menghitung frekuensi *Powered Grounding*, langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung luas area hambatan terhadap distribusi normal kapal yang melintas. Z_{max} merupakan jarak terjauh hambatan dari titik tengah alur, Z_{min} merupakan jarak terdekat hambatan dari garis tengah alur, dengan nilai *mean* (μ) 0 dan *standard deviation* 400 meter, maka luas area hambatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\int_{z_{min}}^{z_{max}} f_i(z) dz = \Phi\left(\frac{z_{max}-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{z_{min}-\mu}{\sigma}\right)$$

$$\int_{z_{min}}^{z_{max}} f_i(z) dz = \Phi\left(\frac{730-0}{400}\right) - \Phi\left(-\frac{240+0}{400}\right)$$

$$\int_{z_{min}}^{z_{max}} f_i(z) dz = 0,2403$$

Setelah data-data yang dibutuhkan sudah terpenuhi, perhitungan frekuensi *powered grounding* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-9. Nilai *causation probability* (P_c) yang digunakan dalam perhitungan ini merupakan hasil penelitian oleh Fujii dan Mizuki pada tahun 1998, yaitu sebesar 0,000129. Dalam studi penelitian kali ini, tidak ditemukan adanya *turning point* yang dapat menyebabkan *grounding*, sehingga perhitungan frekuensi *powered grounding* hanya dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2-11.

$$N_I = \sum_{ship\ class,i} P_{c,i} Q_i \int_{z_{min}}^{z_{max}} f_i(z) dz$$

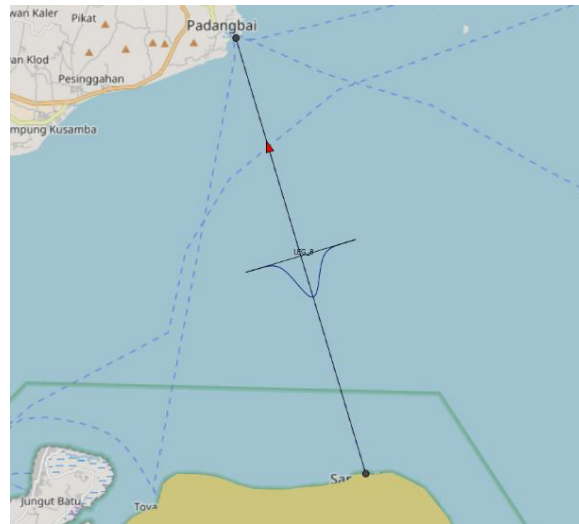
$$N_I = 10544 \times 1,6 \times 10^{-4} \times 0,2403 \times 0,05$$

$$N_I = 0,0202$$

Dengan metode perhitungan yang sama, total frekuensi *powered grounding* pada *leg 6* adalah 0,1529, sedangkan hasil perhitungan dengan perangkat lunak IWRAP Mk II adalah 0,1546. Dari kedua hasil tersebut, tingkat keakuratan diantara kedua perhitungan adalah sebesar 98,9%.

4.2.5 Analisis Drifting Grounding

Drifting grounding merupakan skenario kapal kandas dimana sebuah kapal yang berlayar pada alurnya mengalami *engine failure*, gagal melakukan lego jangkar dan terbawa arus laut sehingga menabrak sebuah hambatan. Semakin banyaknya hambatan seperti bebatuan laut di lokasi terjadinya *engine failure*, maka semakin tinggi pula peluang terjadinya *drifting grounding*. Pada skenario ini, juga diperlukan menggambar area yang berpotensi menjadi tempat terjadinya *grounding*.



Gambar 4. 7 Skenario *Drifting Grounding*

Gambar 4.7 merupakan contoh skenario *drifting grounding*. Pada *leg 8* terdapat satu kapal penumpang yang melayani penyeberangan Padangbai-Nusa Penida dengan frekuensi beroperasi $2x$ *trip* per harinya. Dengan asumsi kapal tidak dapat berlayar selama 30 hari karena *docking* atau karena cuaca buruk, frekuensi per tahunnya adalah 700. Untuk melakukan perhitungan frekuensi *drifting grounding* dibutuhkan data-data sebagai berikut:

Frekuensi kapal i (Q_i) = 700 kapal/tahun = 0,081 kapal/jam

Panjang *segment* ($L_{segment}$) = 15818 m = 8,54 mil laut

Kecepatan kapal (V_s) = 9 knot

Frekuensi *blackout* ($\lambda_{blackout}$) = $1,15 \times 10^{-5}$

Parameter skala (a) = 1.05

Parameter bentuk(b) = 0.9

Kecepatan *drift* (v_{drift}) = 2 m/s = 3,88 knot

Jarak $L_{segment}$ ke hambatan (d_{ground}) = 15818 m = 8,54 mil laut

Langkah selanjutnya adalah menghitung probabilitas terjadinya *blackout* pada kapal ketika berlayar sepanjang alur yang ditentukan ($P_{blackout}$), karena ketika terjadi *blackout*, kapal tidak dapat melakukan *evasive maneuver* bila terbawa arus laut menuju hambatan yang dapat menyebabkan kandas. $P_{blackout}$ dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-11.

$$P_{blackout}(L_{segment}) = 1 - \exp\left(-\lambda_{blackout} \frac{L_{segment}}{v_{vessel}}\right)$$

$$P_{blackout}(L_{segment}) = 1 - \exp\left(-1,15 \times 10^{-5} \frac{8,54}{9}\right)$$

$$P_{blackout}(L_{segment}) = 1,09 \times 10^{-5}$$

Selanjutnya adalah melakukan perhitungan probabilitas tidak dapat diperbaikinya *engine* ($P_{no\ repair}$). Ketika terjadi *blackout* namun kapal berhasil diperbaiki sebelum menubruk hambatan, maka terjadinya kandas dapat dihindari, sehingga $P_{no\ repair}$ mempengaruhi peluang terjadinya kandas. Namun sebelum itu menghitung $P_{no\ repair}$, lamanya waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya kandas ketika *blackout* (t_{ground}) harus dihitung terlebih dahulu. Perhitungan $P_{no\ repair}$ dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2-13.

$$t_{ground} = \frac{d_{ground}}{v_{drift}}$$

$$t_{ground} = \frac{8,54}{3,88}$$

$$t_{ground} = 2,201$$

$$P_{no\ repair}(t) = \exp(-at^b)$$

$$P_{no\ repair}(t) = \exp(-1,05 \times 2,201^{0,9})$$

$$P_{no\ repair}(t) = 0,118$$

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan peluang gagalnya melakukan lego jangkar ($P_{no\ anchor}$). Untuk mendapatkan nilai $P_{no\ anchor}$, penulis menggunakan referensi dari dokumen IALA dengan nomor 18591.620/TECH_DOC/2 dengan judul *Contact Drift*. Penentuan nilai $P_{no\ anchor}$ pada dokumen tersebut didasarkan pada *Beaufort Scale*. Dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 6 knot per tahunnya, maka perairan di antara Padangbai dan Nusa Penida termasuk kedalam skala 2 dalam *Beaufort Scale*. Berdasarkan dokumen dari IALA sebelumnya, nilai $P_{no\ anchor}$ untuk perairan yang bernilai *Beaufort Scale* 2 adalah 0,01.

Setelah nilai-nilai yang dibutuhkan sudah diketahui, maka perhitungan akhir frekuensi *drifting grounding* dilakukan dengan Persamaan 2-12.

$$N_{grounding}^{drift} = N_{ship} \int_{\psi=0}^{360} P_{wind}(\psi)$$

$$\sum_{All\ segments} P_{blackout}(L_{segment}) \int_{x=0}^{L_{segment}} \int_{v_{drift}} P_{no\ repair}(t_{ground} | Z)$$

$$P_{no\ anchoring}(t_{ground} | Z) f(v_{drift}) dv_{drift} dx d\psi$$

$$N_{grounding}^{drift} = 0,081 \times 0,01 \times 1,09 \times 10^{-5} \times 0,118 \times 0,01 \times 7,2 \times 24 \times 360$$

$$N_{grounding}^{drift} = 6,497 \times 10^{-7}$$

Dengan metode perhitungan numerik, hasil perhitungan frekuensi *drifting grounding* adalah $6,497 \times 10^{-7}$, sedangkan perhitungan dengan perangkat lunak IWRAP Mk II adalah $6,893 \times 10^{-7}$. Dari hasil perhitungan kedua metode tersebut, nilai tingkat keakuratannya adalah 94,3%. Perbedaan tersebut dapat diakibatkan oleh perbedaan metode perhitungan $P_{no\ anchoring}$ saat perhitungan dengan metode numerik dan sistem pada IWRAP Mk II.

4.3 Analisis Konsekuensi Persebaran Tumpahan Minyak

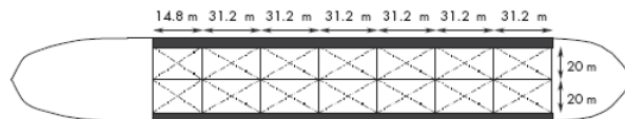
Pemodelan persebaran tumpahan minyak dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GNOME. Beberapa data yang dibutuhkan sebagai *input* dalam GNOME adalah:

- Titik koordinat terjadinya tumpahan. Titik koordinat yang digunakan adalah titik terjadinya *crossing collision* yang sudah dimodelkan pada IWRAP MK II. Titik terjadinya *crossing collision* adalah 8° 38' 91" S dan 115° 44' 02" E.
- Kecepatan & arah angin dan arus laut di lokasi terjadinya tumpahan. Data untuk angin dan arus laut di sekitar lokasi terjadinya tumpahan minyak bisa didapatkan di GNOME *Online Oceanographic Data Server* (GOODS). Pada pemodelan kali ini, *input* angin dan arus laut yang digunakan memiliki dua kondisi, yaitu yang bergerak ke arah Barat Laut dan ke arah Selatan Barat Daya.
- Jumlah minyak yang tumpah. Pada skenario kali ini, kapal *tanker* yang akan digunakan sebagai acuan memiliki dimensi seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.5.

Tabel 4.2 Data kapal tanker yang digunakan sebagai acuan.

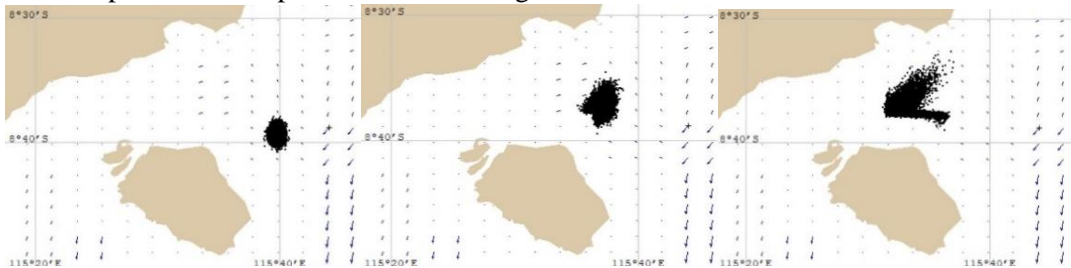
Jenis Kapal	Crude Oil Tanker (Double Hull)	Satuan
Panjang	261	meter
Lebar	50	meter
Sarat	16,76	meter
DWT	150.000	ton

Kapal memiliki *tank plan* seperti Gambar 4.8 dengan kapasitas muatan pada salah satu kompartemen sebesar 14.561 m^3 . Berdasarkan hasil riset yang dilakukan Van De Wiel & Van Dorp pada tahun 2009, jumlah minyak yang tumpah diperkirakan sebesar $11,970 \text{ m}^3$.



Gambar 4.8 Tank Plan dari kapal sample

Setelah *base map* dan data-data yang dibutuhkan sudah dimasukkan ke dalam GNOME, maka selanjutnya adalah menjalankan simulasi persebaran minyak tersebut. Persebaran minyak akan disimulasikan selama 12 jam dari titik terjadinya tumpahan. Hasil simulasi pada skenario pertama adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 9 Kondisi persebaran tumpahan minyak setelah tersebar selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam pada skenario pertama.

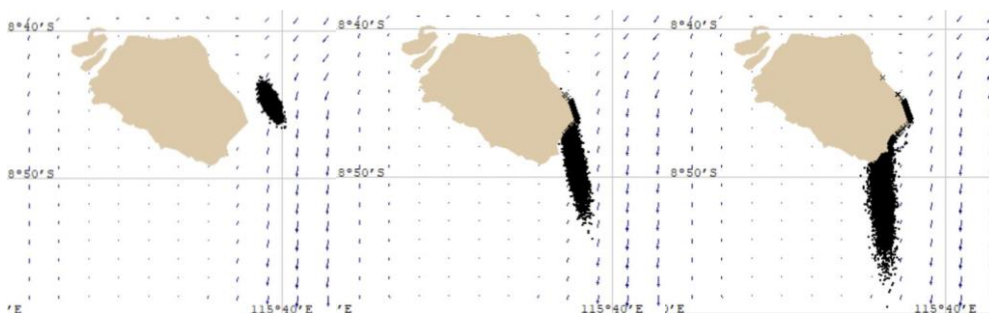
Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada skenario pertama, minyak yang tumpah tidak mencapai Pulau Nusa Penida ataupun mencemari batas wilayah konservasi yang sudah ditetapkan. Berdasarkan hasil simulasi, kondisi dari tumpahan minyak setelah tersebar selama 12 jam adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Kondisi tumpahan minyak setelah tersebar selama 12 jam pada skenario pertama.

Kondisi	Jumlah	Persentase dari total tumpahan
Mengapung di laut	10.346 m^3	86,4 %
Mencapai pantai	0 m^3	0 %
Menguap dan terdispersi	1.624 m^3	13,6 %

Berdasarkan Tabel 4.3, terdapat 1.624 m^3 minyak yang menguap dan terdispersi. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor alam seperti adanya ombak yang memecah partikel minyak yang ada di laut menjadi semakin kecil sehingga dapat menguap karena panas matahari. Meskipun dalam skenario pertama sebaran tumpahan minyak tidak mencemari

wilayah konservasi serta belum mencapai pantai setelah tersebar selama 12 jam, minyak dalam jumlah besar seperti itu masih sangat membahayakan biota-biota laut yang terdapat di perairan Selat Lombok, sehingga perlu dilakukan mitigasi. Mitigasi perlu dilakukan sebelum minyak yang tumpah menyebar, karena minyak yang tumpah ke laut memiliki kecenderungan untuk berproses akibat pengaruh alam seperti emulsi, oksidasi, sedimentasi dan biodegradasi. Beberapa proses perubahan tersebut akan mengakibatkan semakin sulitnya dilakukan penanggulangan ketika terjadi tumpahan minyak di laut. Hasil simulasi pada skenario kedua sebagai berikut:



Gambar 4.10 Kondisi persebaran tumpahan minyak setelah tersebar selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam pada skenario kedua.

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa simulasi persebaran tumpahan minyak pada skenario kedua ketika arus laut bergerak ke arah Selatan Barat Daya mengakibatkan terbawanya tumpahan minyak menuju Daerah Konservasi di Pulau Nusa Penida. Berdasarkan hasil simulasi, kondisi dari tumpahan minyak setelah tersebar selama 12 jam adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Kondisi tumpahan minyak setelah tersebar selama 12 jam pada skenario kedua

Kondisi	Jumlah	Persentase dari total tumpahan
Mengapung di laut	8.446 m ³	70,6 %
Mencapai pantai	1.900 m ³	15,9 %
Menguap dan terdispersi	1.624 m ³	13,6 %

Pada Tabel 4.4, jumlah tumpahan minyak yang mencapai pantai Nusa Penida setelah tersebar selama 12 jam adalah 1.900 m³, namun jumlah ini dapat terus bertambah dengan signifikan jika tidak dilakukan penanggulangan. Pada Gambar 4.10a. dapat dilihat bahwa pada 4 jam pertama persebaran belum mencapai pantai di Pulau Nusa Penida. Meskipun belum mencapai pantai, tumpahan tersebut sudah memasuki batas Wilayah Konservasi Pulau Nusa Penida, sehingga dampak negatif dari pencemaran tersebut sangat amat membahayakan biota-biota laut yang dilindungi. Secara umum, tumpahan minyak dapat mempengaruhi lingkungan di sekitarnya melalui dua cara, yaitu dari minyak itu sendiri dan dari proses pembersihan minyak tersebut. Dampak negatif yang dapat ditimbulkan akibat tumpahan minyak tersebut antara lain:

1. Rusaknya estetika/ciri khas kekayaan alam yang terdapat di perairan Nusa Penida. Pulau Nusa Penida merupakan daerah konservasi dimana terdapat biota-biota laut yang dilindungi. Akibat tumpahan minyak tersebut, ekosistem di perairan Pulau Nusa

- Penida akan rusak, karena residu dari minyak yang berwarna gelap yang terdampar di pantai akan menutupi batuan, pasir, tumbuhan dan hewan. Gumpalan tars yang terbentuk akibat proses pelapukan minyak akan terbawa arus lalu terdampar di pantai.
2. Minyak yang tersebar di laut akan menimbulkan kerusakan biologis pada biota-biota yang ada di laut. Kerusakan tersebut dapat bersifat letal maupun non letal. Ketika partikel-partikel dari minyak merusak biota laut hingga tingkat selular, maka hal tersebut dapat mengakibatkan kematian bagi makhluk tersebut. Sedangkan efek non letal dari minyak tersebut dapat mengakibatkan kerusakan fisiologis dan perilaku makhluk hidup tersebut. Salah satu yang akan mengalami kerusakan-kerusakan tersebut adalah terumbu karang.
 3. Partikel-partikel yang terkandung dalam minyak akan meracuni makhluk hidup yang ada di laut. Partikel-partikel racun tersebut dapat mempengaruhi makhluk hidup melalui kontak langsung, baik secara internal maupun eksternal. Rantai makanan pada ekosistem yang ada di laut yang tercemar minyak akan rusak mulai dari produsen hingga dekomposernya, sehingga dapat mengganggu keseimbangan alam.

Berdasarkan hasil simulasi, hasil pada skenario kedua menunjukkan dampak yang lebih membahayakan terhadap lingkungan dibandingkan pada skenario kedua. Oleh karena itu, perlu dilakukan respons untuk menanggulangi penyebaran secepat mungkin setelah kecelakaan terjadi untuk mencegah bertambah besarnya dampak dari penyebaran minyak yang tumpah tersebut.

4.4 Mitigasi

Mitigasi merupakan beberapa upaya yang dilakukan untuk mengurangi risiko dari suatu kejadian. Mitigasi dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan melakukan tindakan pencegahan bencana. Menurut Undang-Undang no. 24 Tahun 2007 Pasal 1 Ayat 6, kegiatan pencegahan adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan sebagai upaya untuk menghilangkan dan/atau mengurangi ancaman bencana. Dalam lingkup penilaian risiko, mitigasi dilakukan ketika nilai frekuensi maupun konsekuensi dari risiko tersebut melewati ambang batas yang sudah ditentukan. Penerapan mitigasi dilakukan untuk mengurangi nilai frekuensi maupun konsekuensi tersebut.

Berdasarkan teori dasar risiko dalam kasus tubrukan kapal, jika nilai dari peluang atau frekuensi tubrukan kapal lebih besar dari 1 maka perlu dilakukannya mitigasi terhadap risiko tubrukan kapal. Atau batasan yang digunakan dalam menghitung tingkat frekuensi tubrukan kapal harus lebih kecil dari 1 kejadian per tahun. (Arfian, 2017). Sedangkan menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Lampiran II tentang Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari, ambang batas minyak yang tumpah ke laut adalah nihil, sehingga dapat diartikan bahwa tidak boleh ada minyak yang tumpah ke laut dalam jumlah berapa pun. Oleh karena itu, mitigasi pada studi kasus kali ini akan difokuskan ke metode penanggulangan yang tepat ketika minyak tumpah ke laut.

Ketika minyak tumpah ke laut, minyak tersebut akan mengalami serangkaian perubahan (*weathering*) pada sifat fisik maupun kimiawinya. Perubahan sifat tersebut dapat membuat minyak yang tumpah ke laut mengalami kehilangan sebagian kecil dari fraksinya, sementara fraksi yang tersisa masih akan mengapung di laut. Minyak yang tumpah ke laut

lambat laun akan terurai dengan sendirinya karena adanya proses daur ulang oleh alam. Beberapa faktor yang mempengaruhi penguraian minyak oleh alam adalah sebagai berikut:

- Karakteristik fisika minyak, khususnya gravitasi spesifik, viskositas dan titik didih;
- Komposisi dan karakteristik kimiawi minyak;
- Kondisi meteorologi (sinar matahari, kondisi oseanografi dan temperatur udara);
- Karakteristik air laut (pH, gravitasi spesifik, arus, temperatur dan lain-lain)

Karakteristik dari minyak yang tumpah itu sendiri merupakan salah satu faktor utama dalam perubahan fase minyak. Berdasarkan berat jenisnya, minyak dapat dibedakan menjadi dua, yaitu minyak ringan (*light oils*) dan minyak berat (*heavy oils*). Minyak ringan memiliki nilai volatilitas yang tinggi, yaitu kecenderungan suatu senyawa untuk menguap, sehingga ketika terpapar langsung oleh sinar matahari, minyak ringan akan menguap dengan cepat. Minyak ringan memiliki titik nyala (*flash point*) yang cukup rendah, sehingga lebih mudah terbakar. Minyak ringan yang sudah menjadi uap dapat beracun bagi makhluk hidup yang menghirupnya dalam jumlah banyak. Contoh minyak yang termasuk kedalam minyak ringan adalah minyak yang sudah diolah seperti minyak diesel. Minyak berat memiliki sifat yang bertolak belakang dengan minyak ringan. Minyak berat memiliki nilai volatilitas yang rendah, sehingga tidak mudah menguap walaupun terpapar sinar matahari secara langsung. Titik nyala minyak berat lebih tinggi dibandingkan minyak ringan, sehingga sulit untuk dibakar. Meskipun uap minyak berat tidak beracun seperti minyak ringan, namun jika makhluk hidup di laut bersentuhan langsung dengan minyak berat, maka kulitnya akan rusak. Pencemaran minyak berat akan lebih sulit ditanggulangi karena membutuhkan metode khusus untuk membersihkannya. Berdasarkan rekomendasi dari NOAA *Oil Spill Response Countermeasures*, untuk menanggulangi persebaran minyak pada studi kasus kali ini (*medium crude oil*), metode yang digunakan adalah:

1. *In-situ burning*

In-situ burning adalah metode penanggulangan tumpahan minyak dengan cara membakar minyak yang mengapung di permukaan laut. Untuk melakukan *in-situ burning*, minyak yang mengapung di permukaan laut dibatasi penyebarannya dengan menggunakan *booms* (pembatas untuk mencegah penyebaran minyak) atau *barrier* yang memiliki sifat tahan terhadap api. *Booms* dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Penggunaan *booms* untuk membatasi persebaran minyak di laut
Sumber: Chatoyer Enviromental.

Booms didesain sedemikian rupa agar dapat mencegah minyak yang berada di bawah garis air tersebar. Jika tumpahan minyak dalam jumlah besar, pemasangan *booms* harus dilakukan secepat mungkin untuk mencegah meningkatnya radius penyebaran seiring waktu, karena akan sulit untuk membatasi penyebaran minyak untuk dikumpulkan. Selain itu, volume minyak yang besar juga mengakibatkan api yang ditimbulkan saat pembakaran menjadi besar pula sehingga sulit untuk dikontrol. Proses *in-situ burning* dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Proses *in-situ burning*.
Sumber: NOAA

2. *Sorbent*

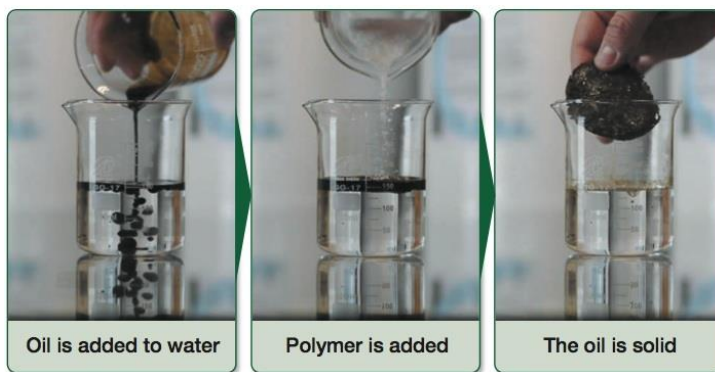
Sorbent digunakan untuk mengumpulkan minyak yang tumpah dengan metode adsorpsi dan absorpsi. Adsorpsi merupakan penempelan partikel-partikel minyak pada suatu cairan/padatan yang berfungsi sebagai zat penjerat (*adsorben*), yaitu permukaan *sorbent*. Sedangkan absorpsi merupakan proses penyerapan zat-zat yang terjerap oleh *sorbent* tersebut. *Sorbent* berfungsi untuk mengubah fase minyak dari cair menjadi padat sehingga mudah untuk dibuang. *Sorbent* cenderung digunakan ketika kondisi tumpahan memiliki radius yang cukup luas dan dekat dengan garis pantai. *Sorbent* yang digunakan harus memiliki karakteristik hidrofobik dan oleofobik. *Sorbent* ada 2 jenis, yaitu *sorbent* organik alami (kapas, jerami, rumput), *sorbent* anorganik alami (lempung, vermiculite, pasir) dan *sorbent* sintetis (busa poliuretan, polietilen, polipropilen, dan serat nilon). Salah satu contoh *sorbent* jenis polipropilen dan penggunaannya dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 *Sorbent* propilen dan penggunaannya.

3. *Solidifiers*

Solidifiers merupakan metode pembersihan minyak dengan mengubah fase minyak menjadi padat. *Solidifiers* yang dicampurkan dengan minyak akan mengubah minyak menjadi padatan elastis seperti karet. Minyak yang tercampur dengan *solidifiers* nilai gravitasi spesifiknya akan naik, meskipun tidak signifikan. *Solidifiers* digunakan untuk mencegah penyebaran lebih lanjut dan cocok digunakan pada lokasi yang memiliki ruang terbatas untuk melakukan pembersihan. *Solidifiers* cenderung digunakan untuk mencegah penyebaran minyak, daripada untuk membersihkan tumpahan minyak itu sendiri. *Solidifiers* tidak beracun dan dapat mengapung di air sehingga tidak membahayakan biota laut jika digunakan. Jika dibandingkan dengan metode lain, penggunaan *solidifiers* lebih hemat hingga 80%. Padatan yang dihasilkan oleh *solidifiers* tetap harus dibersihkan karena tidak akan terurai dengan sendirinya. Cara kerja *solidifiers* dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Cara kerja polimer *solidifiers*.

Sumber: Capture Green.

4. *Emulsion Treating Agents*

Emulsion Treating Agents atau yang dikenal dengan *demulsifiers* ataupun *dispersant* merupakan tindakan pencegahan terbentuknya emulsi ataupun pemecah emulsi yang terbentuk ketika minyak tumpah di laut. Dalam studi kasus kali ini, jenis minyak yang tumpah adalah *medium crude oil*, sehingga ada kemungkinan terbentuknya emulsi ketika tumpah ke laut. Terbentuknya emulsi disebabkan oleh beberapa faktor yaitu dua cairan yang tidak saling melarutkan, terjadinya proses pengadukan (agitasi) dan adanya *emulsifying agent*. Ketiga faktor tersebut terpenuhi jika *medium crude oil* yang tumpah ke laut, karena adanya gelombang yang berfungsi sebagai pengaduk dan kandungan *asphalt* dan resin pada *medium crude oil* berfungsi sebagai *emulsifying agent*. Dengan *demulsifiers*, emulsi akan terpecah dan minyak akan kembali menjadi cair, sehingga penggunaan metode lain untuk menanggulangi tumpahan minyak akan memungkinkan. *Demulsifiers* dapat memecah partikel-partikel minyak yang tumpah ke laut menjadi lebih kecil, hingga mencapai tingkat dimana mikroorganisme di laut dapat menguraikan partikel-partikel minyak tersebut. Contoh penggunaan *demulsifiers* dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Penggunaan *demulsifiers* dalam peristiwa tumpahan minyak Deepwater Horizon.

Sumber: *US Air Force public affairs*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penilaian risiko dalam menganalisis potensi terjadinya tubrukan dan kandas di Selat Lombok, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil analisis perhitungan frekuensi tubrukan dan kandas adalah $6,82 \times 10^{-2}$ untuk skenario *Head-on Collision*, $1,13 \times 10^{-2}$ untuk skenario *Overtaking Collision*, $2,2 \times 10^{-2}$ untuk skenario *Crossing Collision*, $6,89 \times 10^{-7}$ untuk skenario *Powered Grounding*, dan $6,89 \times 10^{-7}$ untuk skenario *Drifting Grounding*. Masing-masing nilai validasi untuk setiap skenario adalah 98,7% untuk skenario *Head-on Collision*, 99,1% untuk skenario *Overtaking Collision*, 99,06% untuk skenario *Crossing Collision*, 98,9% untuk skenario *Powered Grounding*, dan 94,3% untuk skenario *Drifting Grounding*. Pada skenario *Drifting Grounding*, *error* dalam perhitungan disebabkan oleh perbedaan metode dalam menghitung $P_{no\ anchor}$. Dalam perhitungan dengan metode numerik, $P_{no\ anchor}$ ditentukan mengacu pada *Beaufort Scale* berdasarkan kecepatan angin di sekitar lokasi. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa frekuensi terjadinya tubrukan dan kandas di Selat Lombok masih dalam batas yang dapat diterima, yaitu kurang dari 1 kejadian per tahunnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan kepadatan lalu lintas kapal yang tinggi, Selat Lombok masih dikategorikan sebagai alur pelayaran yang aman bagi kapal-kapal yang melintas. Namun seiring dengan bertambahnya jumlah kapal yang melintas setiap tahunnya, peluang terjadinya tubrukan juga akan meningkat. 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 penerapan TSS.
2. Hasil dari simulasi dari persebaran tumpahan minyak dilakukan dengan dua kondisi, kondisi pertama ketika angin dan arus laut bergerak ke arah Barat Laut dan kondisi kedua ketika angin dan arus laut bergerak ke arah Selatan Barat Daya. Dalam simulasi kali ini, kapal *tanker* yang digunakan sebagai sampel memiliki DWT sebesar 150.000 ton dengan panjang 261 meter. Kapal tersebut mengangkut 14.561 m^3 minyak pada satu kompartemennya. Jumlah minyak yang tumpah yang digunakan sebagai *input* adalah 11.970 m^3 . Hasil simulasi menunjukkan pada kondisi pertama jumlah minyak yang tumpah tidak ada yang mencapai pantai, 1.624 m^3 minyak sudah menguap dan terdispersi dan menyisakan 10.346 m^3 minyak yang masih terapung di laut, sedangkan pada kondisi kedua menunjukkan hasil 1.624 m^3 minyak mencapai pantai di Pulau Nusa Penida, 1.900 m^3 minyak sudah menguap dan terdispersi, dan 8.446 m^3 minyak masih mengapung di laut. Kondisi kedua menghasilkan dampak negatif yang lebih tinggi karena minyak yang tumpah mencapai Pulau Nusa Penida sehingga perlu dilakukan mitigasi.
3. Metode yang digunakan dalam mitigasi merupakan pilihan yang direkomendasikan oleh *National Oceanic And Atmospheric Administration* berdasarkan kondisi pada studi kasus kali ini, yaitu *In-Situ Burning*, *Sorbent*, *Solidifiers*, dan *Emulsion Treating*

Agents. Metode penanggulangan diterapkan sebagai *initial response* untuk mencegah tumpahan minyak mencapai daerah konservasi ataupun pantai di pulau-pulau terdekat.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dengan judul Penilaian Risiko Terjadinya Tubrukan & Kandas dan Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak di Selat Lombok, ada beberapa hal yang dapat diterapkan bagi penelitian selanjutnya dengan topik yang sama, yaitu:

1. Analisis tubrukan maupun kandas di Selat Lombok kali ini belum menggunakan data AIS untuk mengetahui posisi dan jumlah kapal secara tepat yang ada di lokasi tersebut. Data AIS juga dapat digunakan untuk menentukan standar deviasi dan posisi akurat dari kapal yang melintas untuk memodelkan *leg* dalam perangkat lunak IWRAP Mk. II sehingga hasil perhitungan frekuensi tubrukan dan kandas akan lebih akurat.
2. Penentuan jumlah minyak yang tumpah masih berdasarkan penelitian yang dilakukan Giel van de Wiel (2009) dengan kondisi tubrukan kapal yang kemungkinan berbeda dengan studi kasus kali ini. Untuk mendapat hasil yang lebih akurat, diperlukan analisis yang lebih dalam mengenai dampak tubrukan ataupun kandas sesuai kondisi aktual sehingga besarnya debit dan volume minyak yang tumpah dapat ditentukan secara objektif.

DAFTAR PUSTAKA

Adhita, I. G. M. S., 2017. *Analisis Risiko Tubrukan Selama Proses Ship to Ship Transfer Bahan Bakar*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Aditya Rio Prabowo, D. M. B. J. M. S., 2017. Effect of the Rebounding of a Striking Ship on Structural Crashworthiness during Ship-Ship Collision. *Thin-Walled Structure*, pp. 225-239.

Amarta, P. H., 2018. *Penilaian Risiko Tubrukan Kapal dan Konsekuensi terhadap Kerusakan Struktur Kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Anon., 2017. *Marine Traffic*. [Online]
Available at: www.marinetraffic.com
[Diakses 18 November 2017].

Arfian, Z., 2017. *Penilaian Risiko Tubrukan Kapal Akibat Instalasi Anjungan Lepas Pantai Di Dekat Alur Pelayaran Barat Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BKI, 2017. *Biro Klasifikasi Indonesia*. [Online]
Available at: www.armada.bki.co.id
[Diakses 15 November 2017].

Fujii, Y. & Mizuki, N., 1998. *Design of VTS systems for water with bridges*. Copenhagen, Denmark, s.n., pp. 177-190.

Google, 2017. *Google Earth*. [Online]
Available at: www.googleearth.com
[Diakses 11 November 2017].

Hänninen, M. & Kujala, P., 2012. Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model. *Reliability Engineering & System Safety*.

Hänninen, M. & Kujala, P., 2015. Estimating the Number of Tanker Collision in the Gulf of Finland in 2015.

Hansen, P. F., 2007. *Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies*, s.l.: Technical Univeristy of Denmark.

IMO, 2002. *www.imo.org*. [Online]
Available at: <http://www.safedor.org/resources/1023-MEPC392.pdf>
[Diakses 11 November 2017].

Jensen, F. V., 1996. *Introduction to Bayesian Networks*. Heidelberg: s.n.

- Kristiansen, S., 2005. *Maritime Transportastion : Safety Management and Risk*. s.l.:Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Mulyadi, Y., Kobayashi, E., Wakabayashi, N. & Pitana, T., 2014. *Development of Ship Shinking Frequency Model over Subsea Pipeline for Madura Strait using AIS Data*. s.l.:WMU Journal of Maritime Affairs.
- Murphy, K., 1998. *A Brief Introduction to Graphical Models and Bayesian Networks*. s.l.:s.n.
- Para, B. W., 2015. Kajian Keselamatan Aktivitas Transportasi terhadap Collision pada Buoy No. 15 Alur Pelayaran Barat Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, Volume IV, pp. G-6.
- Pedersen, P. T., 1995. Collision and Grounding Mechanics. *Proc. WEMT 1995*, Volume 1, pp. 125-127.
- Prabowo, A. R., 2017. Investigation on the Structural Damage of Double-Hull Ship Part I-Ship Collision. *2nd International Conference of Structural Integrity 2017*.
- Pratiwi, E., 2015. *Estimasi Frekuensi Tubrukan Kapal Selama Proses Pipeline Decommissioning pada Crossing II Alur Pelayaran Barat Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Simonsen, B. C., 1997. *Mechanics of Ship Grounding*. Kongens Lyngby: Technical University of Denmark.
- van de Wiel, G. & van Dorp, J. R., 2009. An oil outflow model for tanker collisions and groundings. *Annals of Operations Research*, 187(1), p. 279–304 .
- Zhang, G. & V. Thai, V., 2016. Expert elicitation and Bayesian Network modeling for shipping accidents: A literature review. *Safety Science*, Volume 87, pp. 53-62.
- Zhang, S., 1999. Internal Mechanics of Ship Collisions. Dalam: *The Mechanics of Ship Collisions*. Lyngby: Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Technical University of Denmark, pp. 44-45.

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Hasil perhitungan frekuensi *Head-on Collision*

Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	Container	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo
Crude Oil	1.5.E-04	3.2.E-04	1.1.E-04	1.2.E-04	8.4.E-07	8.5.E-06	1.1.E-03	1.9.E-04
Oil Product Tanker	3.2.E-04	8.1.E-04	2.4.E-04	2.6.E-04	1.2.E-06	1.4.E-05	3.3.E-03	4.3.E-04
Chemical Tanker	1.1.E-04	2.4.E-04	8.1.E-05	8.7.E-05	5.9.E-07	5.9.E-06	8.0.E-04	1.4.E-04
Gas Tanker	1.2.E-04	2.6.E-04	8.7.E-05	9.1.E-05	6.6.E-07	6.6.E-06	8.8.E-04	1.5.E-04
Container	8.4.E-07	1.2.E-06	5.9.E-07	6.6.E-07	7.0.E-09	5.5.E-08	5.8.E-07	1.0.E-06
General Cargo	8.5.E-06	1.4.E-05	5.9.E-06	6.6.E-06	5.5.E-08	4.9.E-07	2.8.E-05	1.0.E-05
Bulk Carrier	1.1.E-03	3.3.E-03	8.0.E-04	8.8.E-04	5.8.E-07	2.8.E-05	1.6.E-02	1.5.E-03
Ro-Ro Cargo	1.9.E-04	4.3.E-04	1.4.E-04	1.5.E-04	1.0.E-06	1.0.E-05	1.5.E-03	2.5.E-04
Passenger	1.5.E-04	5.2.E-05	2.0.E-05	1.9.E-05	2.0.E-07	1.5.E-05	2.9.E-05	3.0.E-05
Fast Ferry	1.5.E-05	3.0.E-06	9.7.E-07	5.6.E-07	5.8.E-09	1.6.E-06	2.3.E-06	8.7.E-07
Support Ship	2.0.E-05	1.9.E-05	8.5.E-06	9.3.E-06	7.6.E-08	1.3.E-06	4.0.E-05	1.4.E-05
Fishing Ship	4.8.E-04	7.7.E-04	2.9.E-04	3.6.E-04	2.2.E-06	1.8.E-05	2.2.E-03	5.3.E-04
Pleasure Boat	1.6.E-04	4.9.E-05	1.6.E-05	1.4.E-05	9.2.E-08	1.5.E-05	9.8.E-05	2.1.E-05
Other Ship	6.6.E-06	1.1.E-05	4.4.E-06	5.0.E-06	4.0.E-08	3.8.E-07	2.4.E-05	7.5.E-06
Total	2.8.E-03	6.3.E-03	1.8.E-03	2.0.E-03	7.6.E-06	1.3.E-04	2.6.E-02	3.2.E-03

Hasil perhitungan frekuensi *Head-On Collision* (lanjutan)

Jenis Kapal	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
Crude Oil	1.5.E-04	1.5.E-05	2.0.E-05	4.8.E-04	1.6.E-04	6.6.E-06	2.8.E-03
Oil Product Tanker	5.2.E-05	3.0.E-06	1.9.E-05	7.7.E-04	4.9.E-05	1.1.E-05	6.3.E-03
Chemical Tanker	2.0.E-05	9.7.E-07	8.5.E-06	2.9.E-04	1.6.E-05	4.4.E-06	1.8.E-03
Gas Tanker	1.9.E-05	5.6.E-07	9.3.E-06	3.6.E-04	1.4.E-05	5.0.E-06	2.0.E-03
Container	2.0.E-07	5.8.E-09	7.6.E-08	2.2.E-06	9.2.E-08	4.0.E-08	7.6.E-06
General Cargo	1.5.E-05	1.6.E-06	1.3.E-06	1.8.E-05	1.5.E-05	3.8.E-07	1.3.E-04
Bulk Carrier	2.9.E-05	2.3.E-06	4.0.E-05	2.2.E-03	9.8.E-05	2.4.E-05	2.6.E-02
Ro-Ro Cargo	3.0.E-05	8.7.E-07	1.4.E-05	5.3.E-04	2.1.E-05	7.5.E-06	3.2.E-03
Passenger	2.6.E-03	4.7.E-04	1.4.E-04	9.5.E-04	2.8.E-03	2.1.E-06	7.3.E-03
Fast Ferry	4.7.E-04	2.5.E-04	2.0.E-05	1.4.E-04	3.5.E-04	2.0.E-07	1.2.E-03
Support Ship	1.4.E-04	2.0.E-05	2.3.E-05	2.0.E-04	1.8.E-04	8.5.E-07	6.8.E-04
Fishing Ship	9.5.E-04	1.4.E-04	2.0.E-04	1.7.E-03	1.0.E-03	1.4.E-05	8.7.E-03
Pleasure Boat	2.8.E-03	3.5.E-04	1.8.E-04	1.0.E-03	2.7.E-03	2.0.E-06	7.5.E-03
Other Ship	2.1.E-06	2.0.E-07	8.5.E-07	1.4.E-05	2.0.E-06	2.6.E-07	7.8.E-05
Total	7.3.E-03	1.2.E-03	6.8.E-04	8.7.E-03	7.5.E-03	7.8.E-05	6.8.E-02

Hasil perhitungan frekuensi *Overtaking Collision*

Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	Container	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo
Crude Oil	2.95E-06	1.67E-05	2.66E-05	7.83E-05	2.34E-07	6.38E-07	1.93E-05	1.43E-04
Oil Product Tanker	1.84E-05	4.70E-05	6.13E-05	1.73E-04	3.99E-07	6.16E-07	9.78E-05	3.11E-04
Chemical Tanker	4.50E-07	6.65E-07	7.88E-07	3.79E-05	8.56E-08	2.30E-07	4.64E-06	7.08E-05
Gas Tanker	0	0	0	0	0	0	0	1.01E-05
Container	1.40E-08	1.28E-08	5.92E-08	3.01E-07	1.92E-10	0	3.02E-09	5.33E-07
General Cargo	1.81E-06	2.97E-06	2.44E-06	5.92E-06	2.56E-08	2.05E-08	6.75E-06	9.74E-06
Bulk Carrier	8.68E-05	4.43E-04	2.75E-04	5.99E-04	1.31E-07	2.49E-07	4.06E-04	1.09E-03
Ro-Ro Cargo	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger	0	6.34E-10	2.62E-06	9.40E-06	1.60E-08	5.20E-10	0	1.63E-05
Fast Ferry	0	0	0	0	0	0	0	0
Support Ship	1.88E-06	2.26E-06	2.31E-06	7.27E-06	2.72E-08	1.73E-08	3.50E-06	1.21E-05
Fishing Ship	3.58E-04	6.16E-04	2.82E-04	5.01E-04	2.14E-06	1.02E-05	1.64E-03	7.65E-04
Pleasure Boat	1.21E-06	9.71E-07	1.50E-06	4.43E-06	1.31E-08	3.13E-09	7.32E-07	7.27E-06
Other Ship	0	0	0	4.32E-07	0	0	0	1.13E-06
Total	4.72E-04	1.13E-03	6.54E-04	1.42E-03	3.07E-06	1.19E-05	2.18E-03	2.44E-03

Hasil perhitungan frekuensi *Overtaking Collision* (lanjutan)

Jenis Kapal	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
Crude Oil	5.77E-05	6.59E-06	1.41E-06	2.62E-07	5.46E-05	4.43E-06	4.13E-04
Oil Product Tanker	1.60E-05	2.99E-06	2.15E-06	4.60E-07	2.43E-05	7.18E-06	7.63E-04
Chemical Tanker	2.39E-06	1.15E-06	8.72E-07	1.46E-07	6.08E-06	2.17E-06	1.28E-04
Gas Tanker	2.17E-07	7.94E-07	0	0	1.87E-06	8.98E-08	1.30E-05
Container	1.33E-08	9.77E-09	0	2.01E-11	2.63E-08	1.33E-08	9.86E-07
General Cargo	5.16E-06	5.23E-07	1.17E-07	3.31E-08	4.00E-06	3.42E-07	3.99E-05
Bulk Carrier	1.01E-05	3.01E-06	3.89E-09	9.51E-08	6.27E-05	1.46E-05	3.00E-03
Ro-Ro Cargo	2.75E-07	1.17E-06	0	0	2.01E-06	1.19E-07	3.58E-06
Passenger	2.42E-06	2.95E-04	0	0	6.13E-07	8.71E-07	3.27E-04
Fast Ferry	2.18E-05	2.53E-11	0	0	0	8.26E-08	2.19E-05
Support Ship	3.40E-05	3.49E-06	5.03E-08	5.25E-08	2.60E-05	5.52E-07	9.35E-05
Fishing Ship	8.59E-04	1.18E-04	1.36E-04	6.00E-06	8.40E-04	1.95E-05	6.15E-03
Pleasure Boat	2.87E-04	9.89E-06	1.50E-09	4.68E-08	6.22E-05	9.86E-07	3.76E-04
Other Ship	1.78E-08	6.66E-08	0	0	1.02E-07	9.03E-09	1.76E-06
Total	1.30E-03	4.43E-04	1.40E-04	7.10E-06	1.08E-03	5.10E-05	1.13E-02

Hasil perhitungan frekuensi *Crossing Collision*

Jenis Kapal	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	Container	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo
Crude Oil	2.07E-06	2.39E-06	1.00E-06	1.04E-06	0	1.61E-08	1.09E-06	1.56E-06
Oil Product Tanker	3.67E-06	4.88E-06	1.99E-06	2.33E-06	0	4.00E-08	2.22E-06	3.51E-06
Chemical Tanker	1.14E-06	1.49E-06	4.61E-07	3.43E-07	0	5.29E-09	4.78E-07	5.16E-07
Gas Tanker	7.46E-07	1.18E-06	2.10E-07	0	0	0	1.83E-07	0
Container	0	0	0	0	0	0	0	0
General Cargo	2.13E-08	3.37E-08	5.92E-09	0	0	0	5.49E-09	0
Bulk Carrier	9.67E-07	1.33E-06	3.55E-07	2.03E-07	0	3.30E-09	3.60E-07	3.05E-07
Ro-Ro Cargo	1.44E-06	2.23E-06	4.06E-07	0	0	0	3.57E-07	0
Passenger	7.00E-04	9.42E-04	4.30E-04	5.55E-04	0	1.07E-05	4.91E-04	8.37E-04
Fast Ferry	8.98E-05	1.24E-04	5.50E-05	7.03E-05	0	1.40E-06	6.33E-05	1.07E-04
Support Ship	2.32E-05	3.18E-05	1.43E-05	1.84E-05	0	3.57E-07	1.63E-05	2.78E-05
Fishing Ship	2.23E-04	3.90E-04	1.35E-04	1.77E-04	0	3.69E-06	1.52E-04	2.65E-04
Pleasure Boat	1.16E-03	1.58E-03	7.08E-04	9.17E-04	0	1.75E-05	8.11E-04	1.38E-03
Other Ship	1.78E-06	2.43E-06	1.08E-06	1.39E-06	0	2.67E-08	1.23E-06	2.09E-06
Total	2.21E-03	3.08E-03	1.35E-03	1.74E-03	0	3.37E-05	1.54E-03	2.62E-03

Hasil perhitungan frekuensi *Crossing Collision* (Lanjutan)

Jenis Kapal	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
Crude Oil	2.76E-04	1.61E-05	9.90E-06	4.74E-05	1.66E-04	4.48E-07	5.26E-04
Oil Product Tanker	4.89E-04	2.94E-05	1.78E-05	1.05E-04	2.75E-04	7.96E-07	9.36E-04
Chemical Tanker	2.45E-04	1.41E-05	8.74E-06	3.96E-05	1.37E-04	3.85E-07	4.49E-04
Gas Tanker	2.55E-04	1.44E-05	9.10E-06	4.65E-05	1.54E-04	4.06E-07	4.82E-04
Container	0	0	0	0	0	0	0.00E+00
General Cargo	8.07E-06	4.86E-07	2.88E-07	1.22E-06	4.09E-06	1.23E-08	1.42E-05
Bulk Carrier	2.44E-04	1.43E-05	8.69E-06	3.72E-05	1.35E-04	3.82E-07	4.43E-04
Ro-Ro Cargo	4.80E-04	2.71E-05	1.71E-05	8.07E-05	2.67E-04	7.48E-07	8.77E-04
Passenger	7.66E-05	3.01E-06	1.37E-05	7.78E-04	3.17E-05	5.42E-06	4.87E-03
Fast Ferry	6.31E-06	8.94E-08	1.61E-06	1.01E-04	2.18E-06	6.96E-07	6.22E-04
Support Ship	1.24E-05	6.71E-07	8.04E-07	2.70E-05	6.15E-06	1.98E-07	1.79E-04
Fishing Ship	1.63E-03	1.13E-04	5.94E-05	3.43E-04	7.69E-04	4.30E-06	4.26E-03
Pleasure Boat	1.05E-04	2.97E-06	2.12E-05	1.11E-03	3.94E-05	8.64E-06	7.86E-03
Other Ship	8.55E-06	4.88E-07	3.32E-07	3.15E-06	4.10E-06	2.60E-08	2.67E-05
Total	3.83E-03	2.36E-04	1.69E-04	2.72E-03	1.99E-03	2.25E-05	2.16E-02

Hasil perhitungan frekuensi *Powered Grounding*

Ship Length	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast Ferry
0-25	0	5.59E-11	0	0	0	0	0	1.67E-04	1.04E-02
25-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75-100	9.99E-04	5.38E-04	7.68E-05	0	2.57E-10	0	0	4.38E-02	4.02E-03
100-125	6.49E-03	7.30E-04	2.69E-04	0	1.15E-03	0	0	3.84E-06	0
125-150	0	0	6.71E-11	0	5.61E-11	0	0	1.12E-12	0
150-175	0	0	0	0	0	0	0	0	0
175-200	1.92E-04	0	1.24E-08	0	0	1.15E-04	0	2.11E-05	0
200-225	0	0	0	0	0	2.47E-08	2.47E-08	0	0
225-250	0	1.24E-08	0	0	0	2.47E-08	0	1.92E-05	0
250-275	1.24E-08	2.47E-08	0	0	0	8.47E-09	0	3.84E-06	0
275-300	0	0	0	1.24E-08	0	8.66E-08	0	6.71E-12	0
300-325	0	0	0	0	0	6.18E-08	0	2.79E-12	0
325-350	0	0	0	0	0	0	0	2.79E-12	0
350-375	0	0	0	0	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	7.68E-03	1.27E-03	3.46E-04	1.24E-08	1.15E-03	1.16E-04	2.47E-08	4.40E-02	1.44E-02

Hasil perhitungan frekuensi *Powered Grounding* (lanjutan)

Ship Length	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship	Total
0-25	7.68E-05	3.83E-08	2.03E-01	1.90E-10	2.14E-01
25-50	0	4.81E-10	5.33E-02	0	5.33E-02
50-75	0	0	0	0	0
75-100	2.54E-03	7.69E-05	0	7.69E-05	5.22E-02
100-125	2.24E-11	0	4.47E-11	4.47E-11	8.65E-03
125-150	0	0	0	0	1.24E-10
150-175	0	0	0	0	0
175-200	0	0	0	2.24E-11	3.29E-04
200-225	2.23E-11	0	0	0	4.95E-08
225-250	0	0	0	0	1.93E-05
250-275	0	0	0	0	3.89E-06
275-300	0	0	0	0	9.90E-08
300-325	0	0	0	0	6.18E-08
325-350	0	0	0	0	2.79E-12
350-375	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0
Total	2.61E-03	7.69E-05	2.57E-01	7.69E-05	3.28E-01

Hasil perhitungan frekuensi *Drifting Grounding*

Ship Length	Passenger Ship	Total
25-50	6.89E-07	6.89E-07

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Azka Avesina dan lahir di ibukota Jakarta pada 1 Mei 1996, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Ayah penulis bernama Abdul Syukur dan Elsa Yurita. Penulis merupakan lulusan dari Sekolah Dasar Islami Al-Irsyad II, Sekolah Menengah Pertama Negeri 12 Bekasi dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Bekasi dan melanjutkan pendidikannya ke jenjang sarjana pada tahun 2014 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Surabaya. Selama kuliah, penulis tertarik pada bidang *Reliability, Availability, Management and Safety* (RAMS) sehingga memutuskan untuk bergabung dengan Laboratorium Keandalan dan Keselamatan. Penulis juga telah menjalani Kerja Praktik dua kali, yaitu di PT. Samudra Marine Indonesia – Shipyard dan PT. Pertamina (Persero) Perkapalan. Selama empat tahun kuliah, penulis juga cukup aktif untuk mengikuti organisasi dalam bidang Manajerial maupun Minat Bakat, seperti Himpunan Mahasiswa Departemen Sistem Perkapalan FTK-ITS, Unit Kegiatan Mahasiswa Flag Football dan diamanahi sebagai Koordinator Laboratorium Keandalan dan Keselamatan. Selain aktif berorganisasi, penulis juga mempunyai pengalaman sebagai panitia dalam acara tingkat nasional seperti Marine Icon 2014 dan College Bowl IV. Penulis juga mengikuti kegiatan pelatihan seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar dan Pelatihan Pemetaan dan Pemantauan.

Email: azka.avesina@ymail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”