



SKRIPSI - ME141501

ANALISIS FREKUENSI TUBRUKAN KAPAL PADA AREA RAWAN KECELAKAAN DI SELAT SINGAPURA

Kemas Arie Setiawan
NRP 0421144000043

Dosen Pembimbing
Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

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



SKRIPSI - ME 141501

Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal pada Area Rawan Kecelakaan di Selat Singapura

Kemas Arie Setiawan
NRP 04211440000043

Dosen Pembimbing
Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI - ME 141501

Analysis of Ship Collision Frequency in Accident Prone Areas in the Singapore Strait

Kemas Arie Setiawan
NRP 0421144000043

Supervisor
Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS FREKUENSI TUBRUKAN KAPAL PADA AREA RAWAN
KECELAKAAN DI SELAT SINGAPURA**

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 :

Kemas Arie Setiawan
NRP 0421144000043

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc

()

Surabaya,
Juli 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS FREKUENSI TUBRUKAN KAPAL PADA AREA RAWAN
KECELAKAAN DI SELAT SINGAPURA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Management,
and Safety* (RAMS)

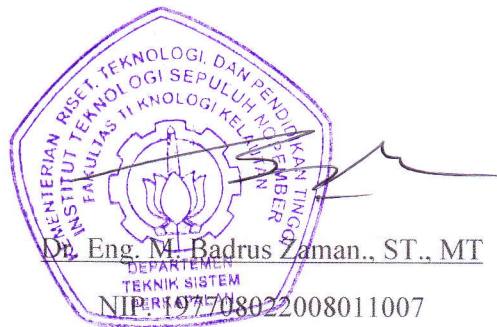
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Kemas Arie Setiawan

NRP. 0421144000043

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal pada Area Rawan Kecelakaan di Selat Singapura

Nama Mahasiswa : Kemas Arie Setiawan
NRP : 0421144000043
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc

Abstrak

Selat Singapura merupakan salah satu selat yang cukup banyak dilewati oleh kapal karena letaknya yang cukup strategis. Kapal yang memiliki rute pelayaran dari Samudera Hindia menuju Laut Cina Selatan, ataupun sebaliknya, pasti akan melewati Selat Singapura. Kapal yang melintas pun bervariasi dari jenis muatan dan ukurannya, sehingga alur tersebut memiliki kepadatan yang tinggi. Padatnya lalu lintas kapal yang melewati Selat Singapura menyebabkan adanya area rawan kecelakaan. Salah satu kecelakaan yang mungkin terjadi adalah tubrukan antar kapal. Ada 3 skenario tubrukan yang dapat terjadi, yaitu *head-on situation*, *crossing situation*, dan *overtaking situation*. Frekuensi tubrukan kapal dianalisis menggunakan perhitungan manual dan perhitungan komputasi IWRAP. Perhitungan manual didasarkan dari pendekatan yang dilakukan oleh Fujii.

Berdasarkan hal tersebut, kajian untuk mengetahui frekuensi dari tubrukan kapal di Selat Singapura dilakukan dengan melakukan modelling *leg* pada daerah rawan kecelakaan dan didapatkan hasil dari *crossing collision*, *head on collision*, dan *overtaking collision* dengan nilai berturut-turut sebesar 0,0163894, 0,000323316, dan 0,0114227. Dari hasil tersebut dilakukan validasi untuk mengecek *error* yang dihasilkan dari perhitungan manual terhadap hasil komputasi IWRAP. Dari hasil validasi, didapatkan nilai yaitu sebesar 98,8% untuk *head on collision*, 91,2% untuk *overtaking collision*, dan 97,12% untuk *crossing collision*. Hasil prediksi frekuensi untuk 3 skenario adalah 0,0199703 untuk *crossing collision*, 0,000393945 untuk *head on collision*, dan 0,0139234 untuk *overtaking collision*. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa frekuensi tubrukan kapal pada daerah rawan kecelakaan di Selat Singapura dibawah satu kejadian dalam satu tahun. Konsekuensi dari tubrukan kapal berupa analisis tumpahan minyak di Selat Singapura dimodelkan dengan aplikasi *GNOME*. Pemodelan dilakukan dengan memodelkan tumpahan sebesar 100 MT. Hasil pemodelan tumpahan minyak yang terjadi adalah jumlah minyak yang terapung sebesar 44,3 MT, yang mencapai pantai sebesar 29,2 MT, dan yang ter evaporasi dan terdispersi sebesar 26,5 MT.

Kata kunci : Tubrukan Kapal, IWRAP *Theory*, Selat Singapura, GNOME, Tumpahan Minyak

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analysis of Ship Collision Frequency in Accident Prone Areas in the Singapore Strait

Name of Student : Kemas Arie Setiawan
NRP : 04211440000043
Department : Marine Engineering
Supervisor : Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc

Abstract

The Singapore Strait is one of the straits that is quite a lot passed by the ship because the location is quite strategic. Ships that have a route from the Indian Ocean to the South China Sea, or vice versa, will surely pass through the Strait of Singapore. The passing ship also varies from the type of cargo and size but has a high density. The density of ship traffic passing through the Strait of Singapore has caused the area to be vulnerable to accident. One of the possible vulnerabilities is ship collision. There are 3 possible collision scenarios, namely the crossing scenarios, the head on scenarios, and the overtaking scenarios. The ship's collision frequency is analyzed using manual calculations and computational calculations of IWRAP. Manual calculations are based on the approach taken by Fujii.

Based on these matters, a study to determine the frequency of ship collisions in the Singapore Strait was done by modeling leg and the result of crossing collisions, head on collisions, and overtaking collisions with consecutive values of 0,0163894, 0,000323316, and 0,0114227. From these results validation is done to check errors resulting from the results of the manual on the results of calculation of IWRAP. From the validation results, the value of 98.8% for head on collision, 91.2% for overaking collision, and 97,12% for crossing collision. Frequency prediction results for 3 scenarios are 0,0199703 for crossing collision, 0,000393945 for head on collision, and 0,0139234 for overtaking of collisions. From these results, it can be seen that ship collision in accident prone areas in the Singapore Strait is below one event in one year. The consequences of ship collisions in the form of oil spill analysis in the Singapore Strait are modeled with GNOME applications. Modeling is done by modeling a spill of 100 MT. The result of the oil spill modeling was the amount of floating oil of 44.3 MT, which reached the coast of 29.2 MT, and which was evaporated and dispersed by 26.5 MT.

Key words: Ship Collision, IWRAP Theory, Singapore Strait, GNOME, Oil Spill

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat, anugrah serta tuntunannya-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal pada Area Rawan Kecelakaan di Selat Singapura**”. Dimana tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan program studi sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.

Penulis menyadari, terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam kepada pihak-pihak di bawah ini :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Kemas A. Safuan Junaidi dan Ibu Karsiani yang terus memberikan dukungan moril dan materil serta menjadi penyemangat dalam penulis melakukan aktifitas selama perkuliahan dan penulisan tugas akhir ini.
2. Kedua saudara penulis, Nyimas Titiek Indriani dan Kemas Bobby Adhitya Pratama yang terus memberikan masukan dan membagikan pengalaman kepada penulis untuk menjalani masa perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Dhimas Widhi ST., M.Sc selaku dosen pembimbing dalam penulisan tugas akhir ini yang telah memberikan banyak pelajaran terkait akademik maupun non-akademik.
4. Bapak A.A.B Dinariyana ST., M.Sc selaku Kepala Laboratorium Keandalan dan Keselamatan serta penguji.
5. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik sehingga kami sebagai mahasiswa wali dapat belajar bekerja keras, pantang menyerah, dan bekerjasama.
6. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, ST., MT selaku kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang sudah memberikan ilmu baik materi kuliah maupun diluar perkuliahan yang dapat menjadi pembelajaran bagi penulis.
7. Seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
8. Arneyditta Willia Abdullah, Raihan Dzaky, serta Desy Agung Rachmawaty telah mendukung dan membantu penulis untuk tetap semangat mengerjakan tugas akhir.
9. Seluruh kawan-kawan pejuang tugas akhir bidang RAMS yang sudah memberikan dukungan secara mental dan fisik untuk bisa bersama-sama menguatkan penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
10. Seluruh anggota RAMS serta Mas Manik, Mas Thariq, Mbak Emmy, Mbak Uchi, dan Mbak Putri yang telah menjadi tempat belajar bagi penulis selama menjadi member RAMS.
11. Kawan seperjuangan angkatan MERCUSUAR '14 yang turut berjuang bersama untuk bisa menyelesaikan tugas akhir dan menemani penulis menjalani kehidupan kampus selama diperantauan.
12. Sahabat-sahabat sepermainan : Alif, Anas, Ben, CJ, Daniel, Cide, Fatiya, Galih, Gara, Gilang, Kukuh, Iqbal, Aki, Mego, Palep, Nichol, Tio, Koko, Rayka, Iji,

Ilham, Eky, dan Sekar yang selalu mewarnai hari-hari penulis dengan keceriaan dan memberikan semangat tiada hentinya serta selalu mau direpotkan oleh penulis.

13. Teman-Teman Kosan Lhoktuan : Iji, Ilham, dan Aki yang telah mengisi hari-hari penulis selama berada diluar kampus.
14. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk membangun dan kebaikan bersama kedepannya.

Akhir kata, penulis berharap semoga apa yang tertulis dalam tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya maupun pembaca pada umumnya.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Selat Malaka dan Singapura	5
2.2 Teori Keselamatan Kapal	7
2.3 Teori Probabilitas	8
2.4 Penilaian Risiko.....	8
2.5 Tubrukan Kapal.....	8
2.6 Metode IWRAP untuk Menghitung Frekuensi Tubrukan Kapal.....	12
2.6.1 <i>Head-on dan Overtaking Collisions</i>	12
2.6.2 <i>Crossing Collisions</i>	13
2.7 Perhitungan Jumlah Kedatangan Kapal pada Tahun-Tahun Berikutnya.....	14
2.8 Analisis Konsekuensi	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Perumusan Masalah.....	24
3.2 Studi Literatur	24
3.3 Pengumpulan Data	24
3.4 Analisis Frekuensi	24
3.5 IWRAP <i>Software</i>	25
3.6 Analisis Frekuensi dengan menggunakan IWRAP <i>Theory</i>	29
3.7 Pemodelan Tumpahan Minyak menggunakan GNOME.....	30
3.8 Rekomendasi Mitigasi.....	33

3.9 Kesimpulan dan Saran	33
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Gambaran Umum	35
4.2 Pengolahan Data Kapal	36
4.3 Hasil Perhitungan Frekuensi dengan Aplikasi IWRAP.....	38
4.4 Validasi Perhitungan Frekuensi.....	40
4.4.1 Analisis <i>Crossing Collision</i>	40
4.4.2 Analisis <i>Head-on Collision</i>	43
4.4.3 Analisis <i>Overtaking Collision</i>	46
4.5 <i>Forecasting</i> Jumlah Kapal pada Tahun-Tahun Berikutnya di Selat Singapura....	49
4.6 Analisis Konsekuensi Tubrukan Kapal.....	52
4.7 Mitigasi.....	55
4.7.1 Langkah Membersihkan Tumpahan Minyak.....	56
4.7.2 Perkiraan Kerugian Ekonomi Tumpahan Minyak yang Terjadi.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	63
BIODATA PENULIS.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Rute pelayaran yang melewati Selat Malaka.....	1
Gambar 1.2 Data Kecelakaan Kapal (Tubrukan)	2
Gambar 2.1 Lalu lintas pelayaran Selat Malaka.....	5
Gambar 2.2 Jumlah kapal <i>tanker</i> yang melewati Selat Malaka pada tahun 2016	6
Gambar 2.3 Jumlah kapal <i>bulk carrier</i> yang melewati Selat Malaka pada tahun 2016 ...	6
Gambar 2.4 Jumlah kapal kontainer yang melewati Selat Malaka pada tahun 2016.	7
Gambar 2.5 Pendekatan menggunakan <i>Bayesian Network</i>	10
Gambar 2.6 <i>Skenario Bahaya Tubrukan Kapal Close-Quarter Situation</i>	11
Gambar 2.7 Simulasi lalu lintas kapal dengan 3 skenario	12
Gambar 2.8 Definisi dari diameter tubrukan, <i>Dij</i>	13
Gambar 2.9 Perhitungan dari diameter tubrukan <i>Dij</i>	14
Gambar 2.10 Pertumbuhan Kapal yang Berlayar di Selat Singapura.....	15
Gambar 2.11 Proses pelapukan minyak	17
Gambar 2.12 <i>Oil booms</i>	19
Gambar 2.13 Proses <i>in situ burning</i>	20
Gambar 2.14 Penyebaran <i>oil dispersant</i>	21
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Pengerjaan.....	23
Gambar 3.2 <i>Leg</i> dan <i>Way Point</i>	26
Gambar 3.3 Menu <i>Leg Editor tab general</i> pada IWRAP	26
Gambar 3.4 Menu <i>Leg Editor tab distribution</i> pada IWRAP.....	27
Gambar 3.5 Menu <i>Leg Editor tab causation factor</i> pada IWRAP	28
Gambar 3.6 Menu <i>Leg Editor tab traffic</i> pada IWRAP	28
Gambar 3.8 <i>User interface</i> aplikasi GNOME.....	30
Gambar 3.9 Situs untuk menentukan lokasi yang akan dianalisis.....	31
Gambar 3.10 Tampilan untuk membuka peta lokasi yang akan dianalisis	31
Gambar 3.11 Tampilan peta yang telah diunduh.....	32
Gambar 3.12 Tampilan informasi tumpahan.....	32
Gambar 4.1 Area <i>Traffic Crossing</i> sektor 7 Selat Singapura	35
Gambar 4.3 Tampilan <i>traffic editor</i> pada perangkat lunak IWRAP.....	38
Gambar 4.4 Frekuensi tubrukan kapal pada skenario <i>head on</i>	39
Gambar 4.5 Frekuensi tubrukan kapal pada skenario <i>overtaking</i>	39

Gambar 4.7 Frekuensi total tubrukan kapal.....	40
Gambar 4.8 Model lintasan yang digunakan dalam analisis <i>crossing collision</i>	41
Gambar 4.9 Model lintasan yang digunakan dalam analisis head on collision	43
Gambar 4.10 Ilustrasi model lintasan yang digunakan dalam analisis <i>overtaking collision</i>	47
Gambar 4.11 Hasil simulasi dengan waktu 6 jam	53
Gambar 4.12 Hasil simulasi dengan waktu 12 jam	54
Gambar 4.13 Hasil simulasi dengan waktu 24 jam	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data tumpahan minyak di Selat Singapura	16
Lanjutan tabel 2.1 Data tumpahan minyak di Selat Singapura.....	17
Tabel 3.1 Klasifikasi Kapal berdasarkan jenis dan panjang pada tahun 2016.....	25
Tabel 3.2 Perbedaan perhitungan scenario tubrukan <i>head on</i> dan <i>overtaking</i>	29
Tabel 4.1. Klasifikasi Kapal berdasarkan jenis dan panjang pada tahun 2016.....	37
Tabel 4.2 Data-data kapal untuk skenario tubrukan <i>crossing</i>	42
Tabel 4.3 Presentasi validasi perhitungan manual <i>crossing collision</i>	43
Tabel 4.4 Data-data kapal untuk skenario tubrukan <i>head on</i>	44
Tabel 4.5 Persentase Validasi Perhitungan Manual <i>Head On Collision</i>	46
Tabel 4.6 Data-data kapal untuk skenario tubrukan <i>overtaking</i>	47
Tabel 4.7 Persentase Validasi Perhitungan Manual <i>Crossing Collision</i>	49
Tabel 4.8 Data untuk menentukan <i>Trend Line</i>	50
Tabel 4.9 <i>Forecasting</i>	51
Tabel 4.10 Clustering kapal di tahun 2020.....	51
Tabel 4.11 Nilai frekuensi pada tahun 2020.....	52
Tabel 4.12 <i>Sample</i> data kapal dalam analisis konsekuensi tubrukan kapal.....	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalur perhubungan laut dunia melewati tujuh selat yang memiliki posisi strategis baik secara ekonomi maupun politik. Dari tujuh selat tersebut, empat diantaranya berada di bawah kedaulatan Indonesia. Hal ini tentu membawa keuntungan tersendiri bagi negara yang di dalamnya terdapat selat tersebut. Salah satu dari empat selat yang ada di Indonesia adalah Selat Singapura. Selama lebih dari 2.000 tahun perairan Selat Malaka-Selat Singapura merupakan salah satu jalur utama pelayaran dunia, khususnya Asia, yang digunakan untuk menunjang kepentingan ekonomi, sosial, budaya dan militer. Jalur ini merupakan pintu gerbang pelayaran yang dikenal dengan nama Jalur Sutra, penamaan yang digunakan sejak abad ke-1 M hingga abad ke-16 M ini diambil dari komoditas utama yang dibawa melalui Selat Malaka-Selat Singapura yaitu kain sutra dari Cina. Selat Malaka-Selat Singapura menghubungkan Samudera Hindia dan Laut Cina Selatan, panjang Selat Malaka-Selat Singapura ± 600 N-mil, terbentang dari Lautan Andaman disisi Barat (Utara) sampai perairan Tanjung Berakit (Utara Pulau Bintan) disisi Timur (Selatan). Dewasa ini, 40% komoditas kebutuhan dunia diangkut melalui Selat Malaka-Selat Singapura, lebih dari 1/3 gas dan minyak dunia melintasi Selat Malaka-Selat Singapura, lebih dari 80% kebutuhan minyak dan gas Cina dan Jepang diangkut melalui Selat Malaka-Selat Singapura.

Di era perdagangan Trans-Pasifik, Selat Malaka mengambil peran yang sangat penting karena merupakan jalur laut terpendek yang bisa menghubungkan antara dua samudera penting di dunia yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik.



Gambar 1.1 Rute pelayaran yang melewati Selat Malaka

Sumber: *Seatrade Maritime News*

Dengan panjang 48 km dan kedalaman rata-rata 25 m, Selat Malaka menjadi salah satu jalur pelayaran tersibuk di dunia. Untuk itu, perlu dilakukan pengaturan lalu lintas yang baik agar kapal-kapal yang lewat tidak keluar dari jalurnya dan dapat mengakibatkan tubrukan. Salah satu peraturan tersebut adalah *Traffic Separation Scheme* (TSS), yaitu

skema penjaluran yang dimaksudkan untuk memisahkan lalu lintas kapal arah berlawanan. Dengan adanya TSS, lalu lintas kapal di Selat Malaka menjadi lebih teratur meskipun tetap memiliki kepadatan yang tinggi. Kendati demikian, kecelakaan kapal pun tetap terjadi akibat padatnya alur pelayaran pada Selat Malaka.



Gambar 1.2 Data Kecelakaan Kapal (Tubrukan)
Sumber: *Malaysian Authority (Coastal Administration)*

Kecelakaan tersebut dapat mengakibatkan kerugian materi karena menghambat jalur pelayaran yang ada. Beberapa dari kecelakaan tersebut juga berpotensi mengakibatkan kerusakan lingkungan sehingga pemerintah harus mengeluarkan dana tambahan untuk memperbaiki kerusakan tersebut. Selain itu, banyaknya pelabuhan yang ada di Selat Malaka juga dapat mempengaruhi potensi terjadinya tubrukan. Banyaknya kapal yang sedang lego jangkar karena mengantri untuk bongkar muat dapat meningkatkan potensi terjadinya tubrukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian untuk menghitung potensi terjadinya tubrukan serta dampaknya pada Selat Malaka. Hasil dari kajian tersebut diharapkan dapat membantu otoritas setempat, baik dari pihak pemandu ataupun pihak pelabuhan, untuk mengelola jalur pelayaran di Selat Malaka menjadi lebih baik, sehingga potensi terjadinya tubrukan antar kapal pun dapat dikurangi.

1.2 Perumusan Masalah

Untuk menyelesaikan kajian yang akan dilakukan, perlu dirumuskan masalah-masalah yang akan diselesaikan pada kajian yang akan dilakukan. Rumusan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana potensi terjadinya tubrukan kapal pada area rawan kecelakaan di Selat Singapura?
2. Bagaimana potensi terjadinya tubrukan kapal pada area rawan kecelakaan di Selat Singapura pada tahun-tahun berikutnya?
3. Bagaimana dampak dari tubrukan kapal yang terjadi terhadap tumpahan minyak?
4. Bagaimana menentukan mitigasi yang sesuai untuk Selat Singapura?

1.3 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang ada, perlu adanya batasan masalah untuk memfokuskan pembahasan agar tujuan kajian dapat tercapai, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut :

1. Membahas potensi tubrukan kapal dari kondisi *head-on situation*, *crossing situation*, dan *overtaking situation*.
2. Lokasi yang digunakan sebagai studi kasus adalah Selat Singapura.
3. Menganalisis frekuensi tubrukan kapal menggunakan *software* IWRAP Mk2.
4. Kajian dampak dari tubrukan kapal yang terjadi terhadap tumpahan minyak menggunakan aplikasi GNOME.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Menganalisis frekuensi terjadinya tubrukan kapal pada kondisi *head-on*, *crossing*, dan *overtaking* di Selat Singapura.
2. Menganalisis frekuensi terjadinya tubrukan kapal pada kondisi *head-on*, *crossing*, dan *overtaking* di Selat Singapura pada tahun-tahun berikutnya.
3. Mengetahui dampak dari tubrukan kapal yang terjadi terhadap tumpahan minyak

1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir yang akan dilakukan adalah :

1. Mengetahui frekuensi tubrukan kapal yang terjadi pada daerah rawan kecelakaan di Selat Singapura
2. Dapat menjadi media pembelajaran mengenai analisis frekuensi tubrukan kapal.
3. Mengetahui model konsekuensi yang terjadi jika terjadi tumpahan minyak.

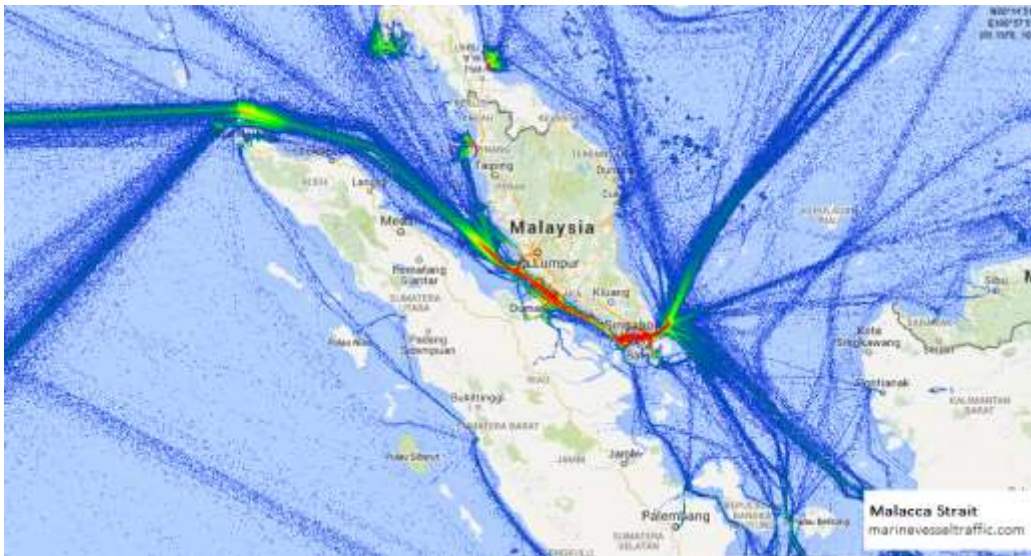
“Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Selat Malaka dan Singapura

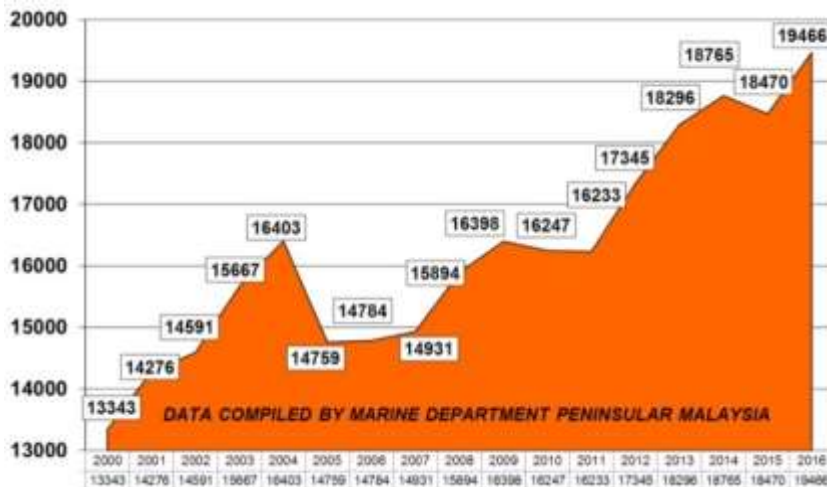
Selat Malaka merupakan selat yang terletak diantara Pulau Sumatra (Indonesia) dan Semenanjung Malaysia (Malaysia, Singapura dan Thailand). Selat Malaka terletak pada posisi strategis yang menghubungkan Samudra Hindia dan Samudra Pasifik, sehingga banyak kapal dengan berbagai jenis dan ukuran yang melewati jalur tersebut. Sebagai penghubung antara Samudra Hindia dan Laut Cina Selatan, Selat Malaka adalah rute laut terpendek antara India dan Cina dan karenanya merupakan salah satu jalur pelayaran yang paling banyak dilalui di dunia. Di bagian selatan selat, kedalaman air jarang melebihi 120 kaki (37 meter) dan biasanya sekitar 90 kaki (27 meter). Ke arah barat laut, bagian bawah berangsur-angsur semakin dalam sampai mencapai sekitar 650 kaki (200 meter) saat selat tersebut bergabung dengan Laut Andaman. Sejumlah pulau kecil, beberapa dibatasi oleh karang dan lereng pasir, menghalangi jalur di pintu masuk selatan menuju selat.

Lebih dari 94.000 kapal melewati selat setiap tahun menjadikannya selat tersibuk di dunia, membawa $\pm 25\%$ barang yang diperdagangkan di dunia, termasuk minyak, produk manufaktur Cina, batubara, minyak sawit dan kopi. Sekitar seperempat dari semua minyak yang dibawa oleh laut melewati Selat, terutama dari pemasok Teluk Persia ke pasar Asia. Pada tahun 2007, diperkirakan 13,7 juta barel per hari diangkut melalui selat tersebut, meningkat menjadi sekitar 15,2 juta barel per hari pada tahun 2011. Selain itu, ini juga merupakan salah satu titik tersedak pengiriman yang paling padat di dunia karena menyempit menjadi hanya 2,8 km (1,5 mil laut) di *Phillips Channel* (dekat dengan selatan Singapura).



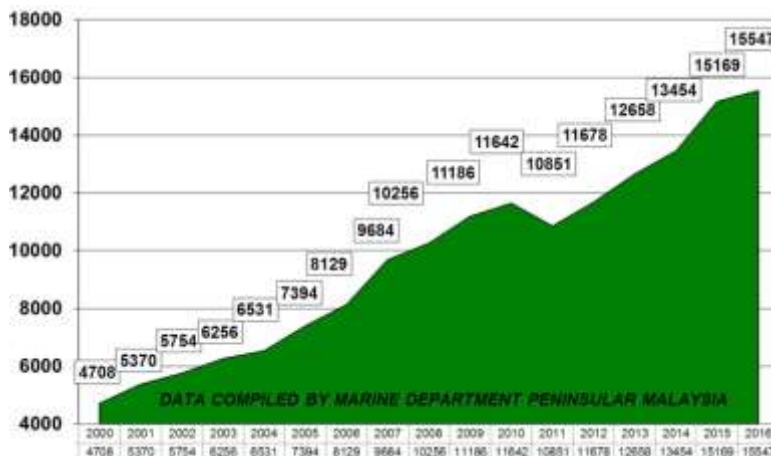
Gambar 2.1 Lalu lintas pelayaran Selat Malaka
Sumber: *Marine Vessel Traffic*

Berdasarkan data IMB dan *Maritime and Port Authority Singapore (MPA Singapore)*, pada tahun 2009 trafik kapal yang beroperasi di Selat Malaka-Selat Singapura sekitar 71.350 kapal atau 195 kapal per hari, dengan pertumbuhan trafik per tahun rata-rata 2%, tahun 2016 trafik tersebut meningkat menjadi 82.850 kapal atau 226 kapal per hari. Pada tahun 2016, dari berbagai jenis kapal yang melewati Selat Malaka, kapal jenis *tanker* memiliki pertumbuhan jumlah tertinggi yaitu 19466 kapal (bertambah 1.645 kapal atau 6.91% dari tahun sebelumnya), dan diantaranya adalah kapal jenis VLCC yang berjumlah 5.973 kapal. Jumlah kapal tanker mengalami penurunan yang signifikan pada tahun 2005.



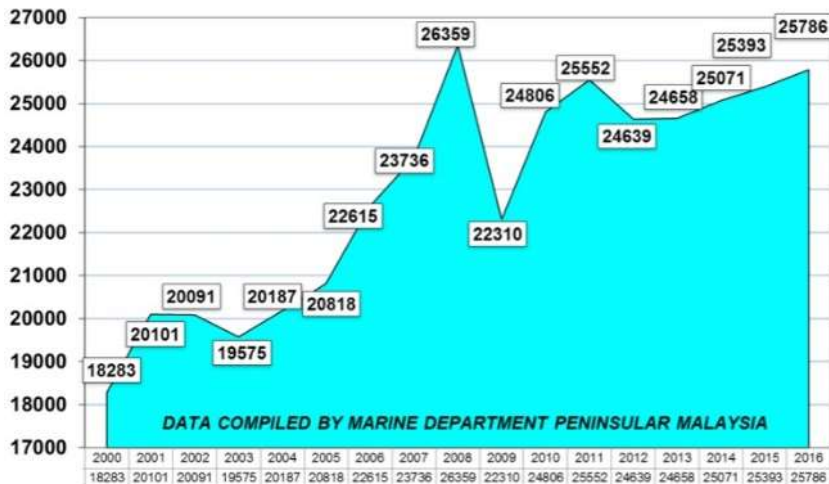
Gambar 2.2 Jumlah kapal *tanker* yang melewati Selat Malaka pada tahun 2016
Sumber: Menteri Kelautan Peninsular Malaysia

Gambar 2.3 dibawah menunjukkan grafik jumlah kapal jenis *bulk carrier* yang melewati Selat Malaka pada tahun 2016. Jumlah kapal terhitung sebanyak 15.547 buah, bertambah 2,49% dari tahun sebelumnya.



Gambar 2.3 Jumlah kapal *bulk carrier* yang melewati Selat Malaka pada tahun 2016
Sumber: Menteri Kelautan Peninsular Malaysia

Untuk kapal jenis kontainer, pada tahun 2016 ada 25.786 yang melewati Selat Malaka. Pertumbuhannya hanya 1,54% dari tahun sebelumnya, cukup rendah dibandingkan dengan jenis kapal *tanker* dan *bulk carrier*.



Gambar 2.4 Jumlah kapal kontainer yang melewati Selat Malaka pada tahun 2016.
Sumber: Menteri Kelautan Peninsular Malaysia

2.2 Teori Keselamatan Kapal

Dunia pelayaran telah dikenal sejak lama oleh peradaban di seluruh dunia, dimulai dari zaman kerajaan dimana jalur pelayaran banyak digunakan sebagai sarana untuk melakukan perdagangan, melakukan ekspansi wilayah, maupun melakukan penjelajahan. Kemudian dilanjutkan pada zaman kolonialisme dimana pelayaran menjadi jalur untuk melakukan penjajahan ke daerah lain dan mengambil sumber daya alam untuk diperjualbelikan. Dunia pelayaran berkembang hingga saat ini yang masih digunakan sebagai sarana transportasi, mobilisasi manusia, maupun sebagai simbol kekuatan suatu negara dan telah dilengkapi dengan peralatan yang canggih dan dibuat secara modern. Keselamatan kapal mulai menjadi isu yang diperbincangkan ketika kecelakaan kapal *Titanic* terjadi di Lautan Atlantik pada tahun 1912 yang membuat terbentuknya aturan SOLAS 1929. Kemudian terjadi kecelakaan kapal *Torrey Canyon* pada tahun 1967 dan terus ditingkatkan seiring dengan terjadinya kecelakaan dari tahun ke tahun.

Perkembangan keselamatan pelayaran membuahkan hasil yaitu berupa penetapan aturan diantaranya SOLAS, MARPOL, dan konvensi-konvensi lain yang ditetapkan untuk menjamin keselamatan perkapalan. Beberapa faktor menurut yang menjadi penyebab kecelakaan kapal diantaranya (Kristiansen, 2005) :

- Kondisi eksternal, yaitu kondisi yang disebabkan oleh lingkungan seperti cuaca, angin, dan kondisi alam lainnya.
- Kegagalan fungsi teknis atau peralatan pada kapal.
- Kesalahan navigasi berupa kesalahan manuver, kandas, maupun tubrukan.
- Kesalahan manusia yang terjadi akibat penurunan konsentrasi atau penyebab lain.

2.3 Teori Probabilitas

Teori Probabilitas merupakan teori dasar peluang dalam pengambilan keputusan yang memiliki sifat ketidakpastian. Terdapat 3 pendekatan yaitu :

- a. Pendekatan Klasik, apabila suatu peristiwa (*event*) E dapat terjadi sebanyak h dari sejumlah n kejadian yang mempunyai kemungkinan sama untuk terjadi maka probabilitas E atau $P(E)$ dirumuskan dengan :

$$P(E) = \frac{h}{n} \quad (2-1)$$

Contoh kasus adalah sekeping koin yang dilempar sekali, secara logika dikatakan masing-masing sisi mempunyai peluang yang sama, karena koin hanya memiliki dua sisi. Sehingga $P(A) = P(B) = 0,5$

- b. Pendekatan Empiris, dilakukan karena pendekatan perhitungan klasik dipandang memiliki beberapa kelemahan. Dalam kenyataannya, syarat yang ditetapkan jarang terpenuhi. Suatu peristiwa E mempunyai h kejadian dari serangkaian n terjadi dalam suatu percobaan, maka peluang E merupakan frekuensi relative h/n , dinyatakan sebagai : dengan nilai n mendekati tak hingga.
- c. Pendekatan Subyektif, yaitu probabilitas yang dipengaruhi oleh keyakinan yang berbeda terhadap permasalahan yang sama. Sehingga dikata bahwa probabilitas merupakan suatu indkes atau nilai yang digunakan sebagai penentu tingkat terjadinya suatu kejadian yang bersifat acak. Sehingga probabilitas memiliki nilai $0 \leq P(E) \leq 1$. Artinya jika $P = 0$ maka kejadian tidak pernah terjadi, jika $P = 1$ maka kejadian tersebut pasti terjadi, sedangkan jika P diantara nilai 0 dan 1 maka kejadian itu berpotensi terjadi.

2.4 Penilaian Risiko

Penilaian risiko adalah sebuah metode yang digunakan untuk menilai tingkat bahaya dan risiko yang mungkin terjadi dari suatu obyek. Dalam melakukan penilaian risiko, diperlukan identifikasi bahaya dari setiap kemungkinan yang akan berdampak pada lingkungan, keselamatan, keamanan manusia, dan proses operasional kapal. Kemudian dilakukan perhitungan frekuensi untuk mengetahui peluang setiap risiko dapat terjadi. Selanjutnya frekuensi tersebut digunakan untuk mengetahui konsekuensi dari kejadian tersebut yang akan dibuat menjadi *risk matrix* untuk dianalisis apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak.

Daerah ALARP (*as Low as Reasonably Practicable*) merupakan perbatasan antara risiko tersebut dapat diterima atau tidak yang menjadi batas minimal untuk risiko tersebut dapat diterima. Dari fenomena terjadinya tubrukan kapal pada situasi *head-on*, *overtaking*, dan *crossing*, setiap kemungkinan akan dianalisis untuk didapatkan rekomendasi yang tepat apabila situasi tersebut terjadi pada kenyataan.

2.5 Tubrukan Kapal

Tubrukan kapal merupakan benturan atau tumbukan antara dua buah kapal yang bergerak dan dapat menimbulkan bahaya keselamatan nyawa manusia yang ada di dalam kapal (*injuries fatalities*), kerusakan lingkungan (*pollutions*), dan kerugian akibat kerusakan muatan yang diangkut (Kristiansen, 2005). Tubrukan kapal menjadi isu

penting dalam dunia pelayaran karena kerugian yang ditimbulkan melibatkan banyak hal seperti keselamatan awak kapal, isu pencemaran lingkungan, isu sosial, dan lain sebagainya. Risiko terjadinya tubrukan kapal diformulasi dengan formula sebagai berikut:

$$R = P \times C \quad (2-2)$$

Dimana,

P = peluang terjadinya tubrukan

C = konsekuensi yang ditimbulkan dari tubrukan tersebut

Konsekuensi dari terjadinya tubrukan kapal dapat bermacam-macam yaitu :

- Keselamatan awak kapal dan keselamatan muatan.
- Kerusakan struktur kapal, peralatan, maupun muatan akibat benturan yang ditimbulkan.
- Potensi terjadinya pencemaran lingkungan apabila menimbulkan tumpahan minyak, zat kimia, maupun zat berbahaya lain yang berpotensi mengancam kehidupan.
- Potensi kerugian material akibat tumpahan minyak, *cost for recovery*, dan biaya lain yang ditentukan dalam IOPC.

Peluang terjadinya tubrukan kapal pada umumnya dihitung berdasarkan pendekatan yang dilakukan oleh Fujii , dimana peluang tubrukan kapal didefinisikan sebagai,

$$P = N_a \times P_c \quad (2-3)$$

Dimana, N_a merupakan angka kandidat kapal yang terlibat dalam tubrukan dan P_c merupakan peluang kegagalan (*causation probability*) untuk menghindari dari tubrukan kapal yang dapat disebabkan oleh *human error*, kegagalan fungsi peralatan, atau faktor eksternal yang berasal dari lingkungan. *Causation probability* dapat dilakukan dengan 2 cara estimasi yaitu :

- a. Pendekatan skenario, yang didasarkan pada statistik kecelakaan yang telah ada. Statistik tersebut dibandingkan dengan estimasi dari angka terjadinya tubrukan dengan aktual kejadian tubrukan yang telah terjadi.
- b. Pendekatan sintesis, dapat dilakukan dengan menggunakan *Bayesian Network* yang menjadi model dari faktor penyebab terjadinya tubrukan kapal.

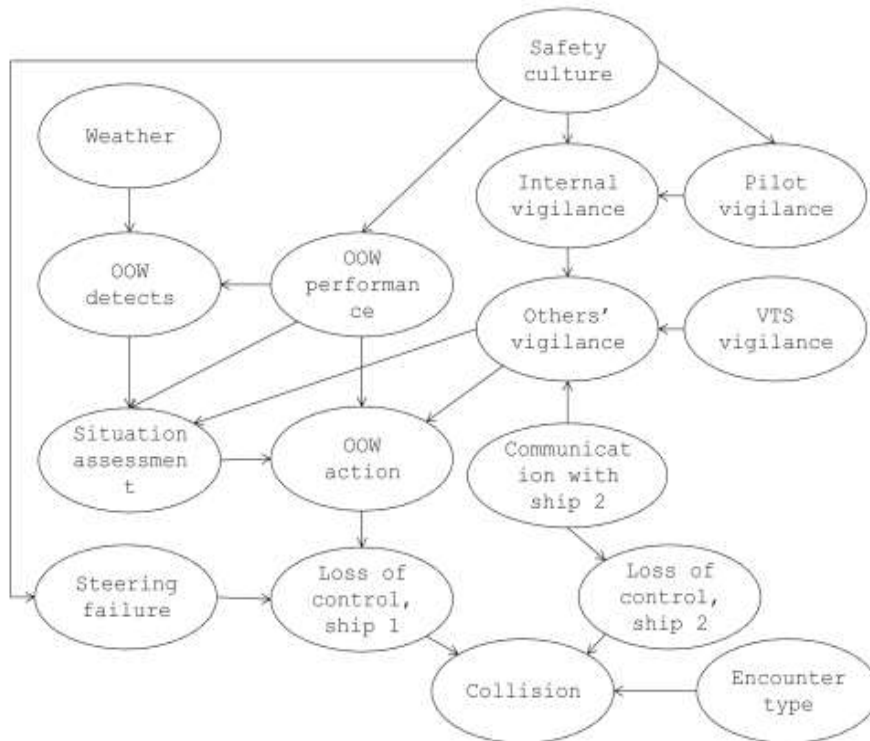
Pada perhitungan frekuensi terhadap skenario *head on*, *bends*, dan *crossing* dikalkulasi pada setiap tipe kapal dan dikalikan dengan *causation factor*. Berikut merupakan *causation factor* yang dibuat oleh Fujii:

$$P_c \text{ untuk skenario } head\ on = 4.9 \cdot 10^{-5}$$

$$P_c \text{ untuk skenario } bend = 1.3 \cdot 10^{-4}$$

$$P_c \text{ untuk skenario } crossing = 1.3 \cdot 10^{-4}$$

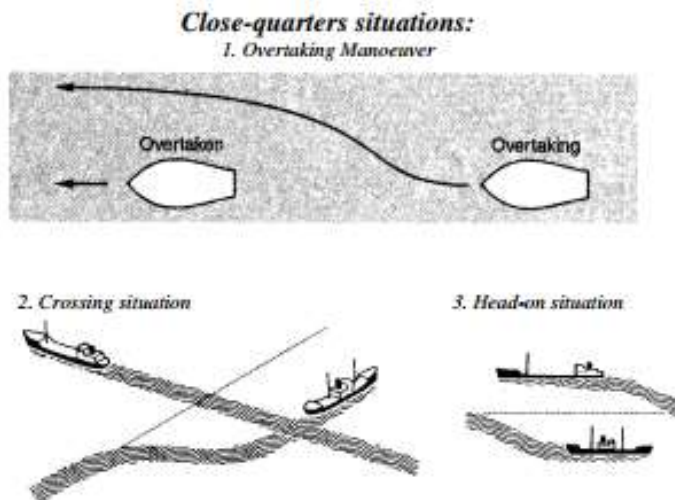
Nilai *causation factor* tersebut merupakan nilai untuk perhitungan pada arus lalu lintas di Jepang. *Causation factor* adalah fungsi visibilitas, kegelapan, arus, dan angin pada suatu daerah geografis yang sebenarnya (Fujii, 1984).



Gambar 2.5 Pendekatan menggunakan *Bayesian Network*
 Sumber : (Maria, 2012)

Gambar 2.5 merupakan pendekatan perhitungan *causation factor* dengan menggunakan *bayesian network*. Pada kasus tubrukan kapal yang mungkin terjadi, kemungkinan tubrukan dapat disebabkan oleh kondisi kapal dalam diam atau statis dan pada kondisi bergerak atau dinamis. Tubrukan kapal dapat terjadi pada kondisi dinamis dan statis yaitu pada contoh kasus tubrukan kapal dengan *platform*. Tubrukan juga dapat terjadi pada kondisi kedua kapal bergerak atau dinamis.

Dalam peraturan COLREG dijelaskan bahwa terdapat beberapa jenis bahaya terjadinya tubrukan yang disebut dengan *close quarter situation*. Bahaya tubrukan tersebut diilustrasikan bahwa kedua kapal dalam keadaan bergerak atau dinamis. Pada kondisi ini kedua kapal yang mengalami tubrukan sama-sama memiliki nilai kecepatan atau kecepataannya tidak sama dengan 0. Kondisi tubrukan kapal dengan keadaan bergerak atau dinamis dianalisis dengan memperhatikan arah lalu lintas kapal, dimensi kapal, kecepatan, serta banyaknya kapal pada arus lalu lintas yang akan dianalisis. Berikut merupakan ilustrasi tubrukan kapal pada kondisi kedua kapal bergerak atau dinamis :

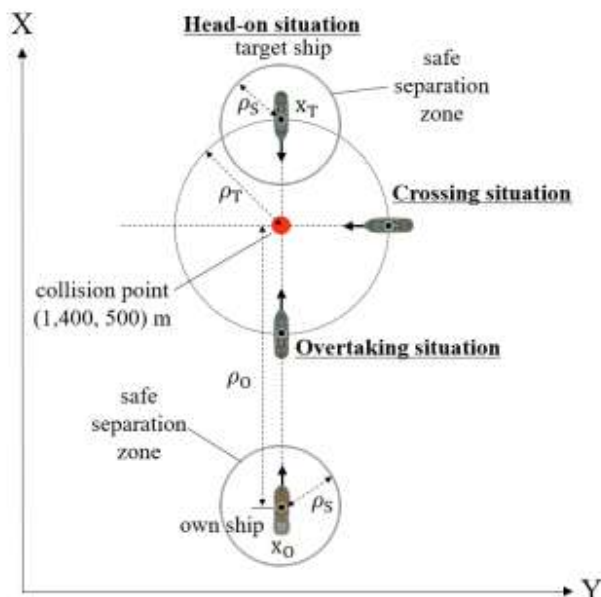


Gambar 2.6 Skenario Bahaya Tubrukan Kapal Close-Quarter Situation
Sumber : *Collision Regulation (COLREGS)* unit 33

Ketiga situasi tersebut terjadi dengan keadaan masing-masing diantaranya :

- a. *Head-on Situation*
Yaitu kejadian dimana 2 kapal bergerak dan bertabrakan antar haluan dari kapal. Untuk menghindari kejadian tersebut, masing-masing harus saling berpapasan antar *starboard* untuk saling memberi jalan.
- b. *Crossing Situation*
Yaitu kejadian dimana 2 kapal bergerak saling simpang dan akan bertabrakan. Potensi tubrukan dapat dihindari apabila salah satu kapal memberikan jalan dan kapal lain menjaga jarak atau mengurangi kecepatan. Kejadian ini dimungkinkan terjadi apabila kapal yang keluar dari pelabuhan bermanuver dan kapal lain berada pada alur pelayaran.
- c. *Overtaking Situation*
Yaitu kejadian tubrukan kapal dimana salah satu kapal bergerak dari belakang kapal lain untuk mendahului jalannya kapal di depannya. Untuk menghindari kemungkinan tubrukan dari kedua kapal, kapal yang didahului mempersilahkan kapal lain untuk mendahului dengan jarak aman antar sisi kapal dan kecepatan yang lebih tinggi bagi kapal yang mendahului. Kemungkinan terjadinya risiko tersebut apabila kapal di dalam alur pelayaran yang padat tidak diberikan rekomendasi kecepatan aman sehingga kemungkinan untuk saling mendahului dapat terjadi.

Dalam situasi yang disebutkan di atas, kapal yang mengalami kejadian tersebut harus memperhatikan laju dan arahnya untuk menghindari tubrukan sesuai dengan aturan dalam COLREG yang telah ditetapkan.



Gambar 2.7 Simulasi lalu lintas kapal dengan 3 skenario

Sumber : *Journal of Probabilistic Quantification of Ship Collision Risk Considering Trajectory Uncertainties*, IFAC 2016

2.6 Metode IWRAP untuk Menghitung Frekuensi Tubrukan Kapal

Berdasarkan IWRAP *Theory*, perhitungan frekuensi tubrukan kapal untuk scenario *head on*, *overtaking*, dan *crossing* dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

2.6.1 *Head-on dan Overtaking Collisions*

Tubrukan kapal yang dapat terjadi disepanjang rute atau *leg* tergantung pada :

- Panjang kapal, L_w , dari rute atau *leg* yang telah dibuat
- Jumlah kapal yang melalui rute atau *leg* dengan tipe dan ukuran yang berbeda, dengan simbol Q_i dan Q_j , pada setiap arah, dan kecepatan kapal, V_i dan V_j

Untuk *head-on collisions*, jumlah kandidat tubrukan kapal (*geometric number*) yang berada di sepanjang rute dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$N_G^{head-on} = L_w \sum_{i,j} P_{G_{ij}}^{head-on, \frac{V_{ij}}{V_i V_j}} (Q_i Q_j) \quad (2-4)$$

Dimana $V_{ij} = V_i + V_j$ adalah kecepatan relatif antara kapal-kapal dan P_g adalah peluang yang menyatakan dua kapal akan bertubrukan dengan skenario *head on*. Peluang ini dinyatakan dengan rumus :

$$P_G = \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \quad (2-5)$$

Dimana $\Phi(x)$ adalah standar fungsi dari distribusi normal, $\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j$ adalah nilai *mean* dari jarak berlayar antara dua kapal, $\sigma_{ij} = \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2}$ merupakan standar deviasi dari masing-masing alur, dan $B_{ij} = \frac{B_i + B_j}{2}$ adalah rata-rata dari lebar kapal. Frekuensi dari *head on collisions*, $\lambda_{col}^{head-on}$ didapatkan dari perkalian *geometric number* dari tubrukan, $N_G^{head-on}$ dengan *causation factor* untuk *head on collision*.

Untuk *overtaking collisions*, *geometric number* dari kandidat tubrukan untuk kapal yang berlayar di alur pelayaran dapat ditentukan dengan menggunakan formula (2-5). Untuk menghitung kecepatan relatif dapat menggunakan persamaan $V_{ij} = V_i - V_j$. Apabila nilai $V_{ij} < 0$ maka kapal i tidak akan bisa mendahului kapal j . Pada implementasinya nilai V_{ij} dapat digunakan dan kapal yang menubruk dan ditubruk dapat ditentukan. Perhitungan kandidat kapal pada *overtaking collisions* menjadi:

$$P_{G_{ij}} = P\left[yi - yj < \frac{Bi+Bj}{2} \right] - p \left[yi - yj < -\frac{Bi+Bj}{2} \right] \quad (2-6)$$

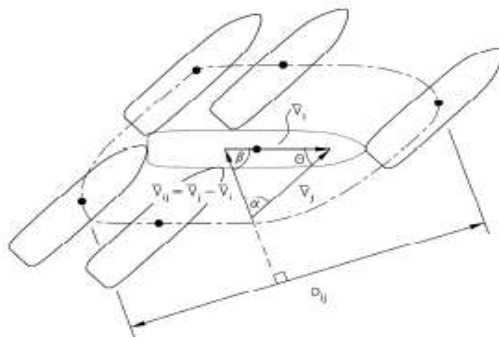
Untuk distribusi normal, variabel *mean* pada persamaan (2.4) diganti dengan menggunakan persamaan $\mu_{ij} = \mu_i - \mu_j$ untuk menghitung pada kondisi *overtaking*.

2.6.2 Crossing Collisions

Frekuensi dari *crossing collisions* tergantung pada sudut diantara dua alur. *Geometric number* dari *crossing collisions* untuk alur *crossing* dapat ditentukan dengan formula sebagai berikut :

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i Q_j}{V_i V_j} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \quad \text{untuk sudut sebesar } 10^\circ < [\theta] < 170^\circ \quad (2-7)$$

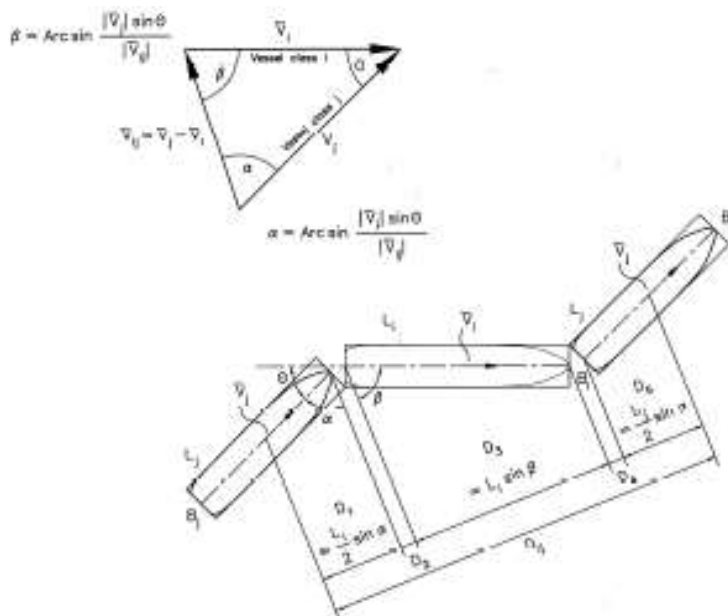
Dimana $V_{ij} = \sqrt{(V_i)^2 + (V_j)^2 - 2 \cdot V_i \cdot V_j \cdot \cos \theta}$ merupakan kecepatan relatif kapal diantara kapal-kapal kandidat tubrukan dan D_{ij} menunjukkan diameter dari daerah tubrukan. Untuk alasan praktis karena itu perlu untuk membatasi sudut yang digunakan pada *crossing collisions* diantara sudut 10 hingga 170 derajat.



Gambar 2.8 Definisi dari diameter tubrukan, D_{ij}

Sumber : (Hansen, 2007)

Gambar 2.8 menunjukkan definisi dari diameter tubrukan (D_{ij}) yang berarti sebagai panjang area yang terbentuk oleh beberapa kapal yang berada pada sekitar kapal dengan luasan tertentu dan membentuk radius tubrukan.



Gambar 2.9 Perhitungan dari diameter tubrukan D_{ij}

Sumber : (Hansen, 2007)

Seperti yang disebutkan D_{ij} adalah diameter tabrakan geometris yang diilustrasikan pada Gambar 2.9. Jika diasumsikan bahwa kapal dapat didekati dengan bentuk persegi panjang, maka itu bisa dilihat pada Gambar 2.11, bahwa formula yang dapat digunakan adalah:

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

2.7 Perhitungan Jumlah Kedatangan Kapal pada Tahun-Tahun Berikutnya

Pertumbuhan jumlah kapal yang melewati daerah Selat Singapura hampir selalu mengalami peningkatan. Pertumbuhan jumlah kapal yang terjadi menunjukkan adanya *trend* peningkatan pada hampir setiap tahunnya. Pada perhitungan frekuensi tubrukan yang digunakan adalah data kapal yang ada pada tahun 2016. Untuk mengetahui kemungkinan terjadinya tubrukan kapal pada tahun-tahun berikutnya, dibutuhkan data jumlah kapal yang pada tahun-tahun berikutnya.



Gambar 2.10 Pertumbuhan Kapal yang Berlayar di Selat Singapura
Sumber: Menteri Kelautan Peninsular Malaysia

Gambar 2.10 menunjukkan kecenderungan dari pertumbuhan jumlah kapal yang melewati Selat Malaka dan Singapura. Dari gambar diatas didapatkan bahwa pertumbuhan kapal di Selat Malaka dan Singapura cenderung meningkat. Pada beberapa tahun mengalami penurunan tetapi dari data yang didapat pada tahun 2016 mengalami peningkatan 3,4% dari tahun sebelumnya. Jumlah kapal yang melewati Selat Malaka dan Singapura berjumlah 83.740. Dari gambar 2.9 juga didapatkan kenaikan terus menerus dari jumlah kapal mulai tahun 2012.

Perhitungan jumlah kapal dimasa yang akan datang dapat dihitung menggunakan metode *forecasting*. *Forecasting* atau peramalan merupakan ilmu yang mempelajari mengenai prediksi peristiwa yang akan terjadi di masa yang akan datang. Peramalan dilakukan dengan menggunakan data-data yang sudah ada pada tahun-tahun sebelumnya untuk memproyeksikan hasil pada masa yang akan datang dengan pemodelan matematis.

Berikut merupakan tujuh tahapan dalam *forecasting* :

- Menentukan penggunaan dari *forecasting*
- Memilih item yang akan diprediksi
- Menentukan batasan waktu *forecasting*
- Memilih model *forecasting*
- Kumpulkan data
- Melakukan perhitungan *forecasting*
- Implementasi hasil

Dalam penggunaan *forecasting* terdapat beberapa kekurangan diantaranya adalah hasil dari *forecasting* jarang sempurna dan sebagian besar metode *forecasting* mengasumsikan bahwa ada beberapa kestabilan dalam suatu sistem perhitungan matematis dari *forecasting*.

2.8 Analisis Konsekuensi

Analisis terhadap konsekuensi yang terjadi akibat tubrukan kapal dapat dilakukan dengan cara pemodelan terhadap konsekuensi yang mungkin terjadi. Pemodelan konsekuensi dari tubrukan kapal bisa diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Korban jiwa/luka
2. Kerugian terhadap properti (biaya perbaikan kapal)
3. Dampak lingkungan

Pada daerah rawan kecelakaan di Selat Singapura, dampak lingkungan yang dapat terjadi salah satunya adalah tumpahnya minyak dari muatan kapal *tanker* atau dari tangki bahan bakar dari kapal. Berikut merupakan data kasus tubrukan kapal yang menyebabkan tumpahnya minyak didaerah Selat Singapura:

Tabel 2.1 Data tumpahan minyak di Selat Singapura

NO	TANGGAL	NAMA KAPAL	KORBAN JIWA	VOLUME
1	21-09-2003	SEA LIBERTY (IMO 8307868) Malta, Bulk Dry Carrier GT.22009 dan ARABIAN EXPRESS (IMO 9148532) Panama, Container Ship GT.15095	Nil	Tidak diketahui
2	16-06-2010	HEBEI LOYALTY (IMO 8420062) Hongkong, Bulk Carrier GT.90707 and HYUNDAI NO. 107 (IMO 8608169) Liberia Vehicles Carrier GT.41720	Nil	3 L
3	02-07-2013	ATLANTICO HERO (IMO 9291119) Bahamas, Bulk Carrier GT.38871 dan ORIENTAL PIONEER (IMO 9139983) Republic of Korea, Bulk Carrier GT.36604	Nil	100 MT
4	29-01-2014	FEI HE (IMO 9060182) China, Container Ship GT.48311 dan LIME GALAXY (IMO 9380972) Hongkong, Container Ship GT.11623	Nil	281 MT
5	10-02-2014	HAMMONIA THRACIUM (IMO 9151527) Liberia, Container Ship GT.29383 dan ZOHEY (IMO 9624548) Panama, Container Ship GT.7271	Nil	70 MT

Lanjutan tabel 2.1 Data tumpahan minyak di Selat Singapura

NO	TANGGAL	NAMA KAPAL	KORBAN JIWA	VOLUME
6	22-01-2016	CASTLE (IMO 9137428) Panama, Bulk Carrier GT.27552 dan DUMUN (IMO 9520919) Panama, Bulk Carrier GT.32315	Nil	Tidak Diketahui
7	17-Aug-17	SINICA GRAECA (IMO 9717486) Marshall Islands, Bulk Carrier GT.35884 dan CHEMROAD MEGA (IMO 9228318) Panama, Chemical Tanker GT.20043	Nil	270 MT

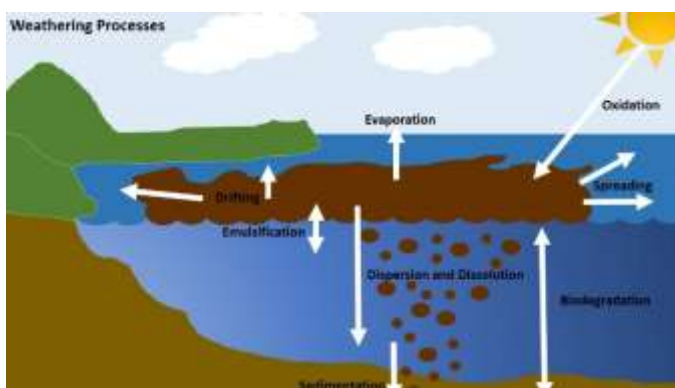
Sumber : *Singapore Authority (Coastal Administration)*

Tabel 2.1 menunjukkan data-data tumpahan minyak yang terjadi di Selat Singapura yang meliputi data tahun terjadinya tubrukam, data kapal yang terlibat tubrukam, data korban jiwa, serta volume tumpahan minyak.

Tumpahan minyak dapat berupa bahan bakar atau muatan yang dibawa seperti muatan kapal *tanker*. Tumpahan minyak yang terjadi dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain:

- Jumlah tumpahan yang terjadi
- Durasi terjadinya tumpahan
- Kecepatan dan arah angin
- Kecepatan dan arah arus

Salah satu melakukan metode pemodelan tumpahan minyak adalah dengan menggunakan perangkat lunak (*Software*). *Software* yang dapat digunakan antara lain MIKE dan GNOME. Pemodelan yang dilakukan untuk mengetahui persebaran tumpahan minyak yang terjadi di suatu daerah. Selain untuk mengetahui persebaran tumpahan minyak, perangkat lunak juga dapat menentukan perubahan minyak yang sudah tersebar ke lingkungan.



Gambar 2.11 Proses pelapukan minyak
Sumber : *Independent Petroleum Laboratory*

Terdapat beberapa proses pelapukan minyak yang dapat terjadi setelah proses tumpahan minyak, yaitu :

1. Penguapan

Hilangnya volatil dalam tahap awal tumpahan minyak - ini dapat mengurangi volume minyak dalam tumpahan, terutama untuk produk minyak ringan. Penguapan akan meningkatkan sifat minyak seperti densitas dan viskositas.

2. Emulsifikasi

Emulsifikasi terjadi pada antarmuka udara atau air di mana minyak duduk. Emulsi formasi tergantung pada berbagai faktor seperti keadaan laut, kondisi cuaca dan salinitas air. Emulsi terjadi ketika tumpahan minyak menyerap air dan udara dari area tumpahan. Emulsi dapat stabil atau tidak stabil dan serta meningkatkan volume minyak mereka juga memiliki efek yang signifikan pada sifat kimia dan fisik dari minyak seperti densitas, viskositas dan kadar air. Resin dan lilin yang ada dalam minyak bekerja untuk menstabilkan emulsi.

3. Penyebaran dan *Drift*

Penyebaran terjadi segera setelah minyak tumpah ke laut terbuka. Bagaimana minyak menyebar sering didikte oleh kondisi pelepasan. Minyak ringan dengan viskositas rendah akan bergerak cepat membentuk lapisan tipis di permukaan samudera, sedangkan minyak berat dengan viskositas lebih tinggi akan bergerak lebih lambat dan cenderung lebih tebal. Kebanyakan minyak menampilkan variasi dalam penyebaran, di mana bagian yang licin akan tebal dengan lapisan tipis yang lebih besar mengikuti di belakangnya. Setelah tumpahan di permukaan, arus air dan arah angin menyebabkan tumpahan melayang.

4. Dispersi dan Pembubaran

Sebagian besar komponen minyak mentah tidak larut dalam air dan pembubaran dan dispersi alami minimal. Beberapa aromatik ringan dan alkana memiliki tingkat kelarutan tertentu dengan air dan dapat diserap (oleh dispersi) ke dalam kolom air. Sebagai alternatif, minyak secara keseluruhan dapat masuk ke kolom air jika kondisi laut cukup mensimulasikan pencampuran untuk memecah minyak menjadi tetesan yang cukup kecil.

5. Biodegradasi

Mikroorganisme yang secara alami ada di kolom air bekerja untuk meracuni minyak. Ketika tumpahan minyak terjadi ada peningkatan organisme ini di sekitar tumpahan.

6. Pengendapan

Kadang-kadang tetesan minyak dapat menempel pada endapan yang ada di kolom air dan mereka akhirnya tenggelam ke dasar laut. Di sini mereka juga dapat dibiodegradasi oleh mikroorganisme.

7. Oksidasi

Sinar ultraviolet yang dipancarkan oleh matahari selama periode waktu yang lebih lama dapat mengubah komposisi kimia dari minyak.

Dalam penanganan tumpahan minyak, ada tiga metode dalam penanganan tumpahan minyak yaitu : (Sulistiyono, 2013)

1. Penanganan secara Fisika

Pada penanganan secara fisika, tumpahan minyak dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanik. Terdapat 2 perlakuan yang dapat dilakukan dengan penanganan secara fisika yaitu :

a. *Oil Booms*

Pada penanganan dengan cara ini hal yang pertama dilakukan adalah dengan memindahkan tumpahan minyak menggunakan pelampung pembatas, yang kemudian dipompa menggunakan pompa yang biasa disebut *oil skimmers* ke fasilitas penerima atau yang biasa disebut *reservoir* yang berbentuk tangki ataupun balon. Kelemahan dari metode ini adalah hanya efektif digunakan di daerah perairan yang memiliki arus, pasang surut, dan ombak yang kecil serta cuaca yang tidak ekstrem. Metode ini juga sulit dilakukan di pelabuhan karena aktivitas lalu lintas kapal yang keluar masuk pelabuhan.



Gambar 2.12 *Oil booms*

Sumber : *Spill control and containment*

b. Pembakaran minyak (*in situ burning*)

Proses dasarnya adalah sebagai berikut:

- Kumpulkan minyak di balik *boom* penahanan tahan api
- Perlahan tarik *boom* yang tahan api terhadap arus air untuk mendorong minyak ke puncak *boom* dan meningkat ketebalan minyak
- Menyalakan minyak

Jika pembakaran yang dilakukan padam karena tidak ada cukup minyak dalam ledakan, pembakaran dapat dilanjutkan dengan menuju kapal dan *towing booms* melawan arah angin dan kemudian berputar berputar ke angin, sebelum menyalakan kembali. Kontrol kebakaran pada air dapat dicapai darurat dengan melepaskan satu ujung ledakan atau dengan meningkatkan kecepatan derek untuk memaksa Kegagalan *booming*. Entah hasil tindakan cepat penipisan minyak licin, penurunan penguapan dan penurunan pembakaran. *Boom* biasanya tetap digunakan sampai api padam. Pembakaran dan kemajuan *tow* harus berada di pesawat atau di kapal yang lebih besar. Situasi potensial lain untuk luka bakar di air adalah tempat tumpahan minyak ke atau di antara es laut dan dienkapsulasi. Jika dapat diakses, minyak atsiri pada permukaan dapat dinyalakan langsung dengan atau tanpa menggunakan percepatan.



Gambar 2.13 Proses *in situ burning*
Sumber : www.elastec.com

2. Penanganan secara kimia

Pada penanganan secara kimia, digunakan bahan kimia dispersan. *Oil dispersant* merupakan teknik penanggulangan tumpahan minyak dengan bahan kimia dimana bahan kimia ini mengubah minyak menjadi fraksi yang lebih kecil sehingga butiran minyak yang terurai akan tenggelam ke dasar laut. zat kimia yang digunakan untuk *dispersant* adalah surfaktan. salah satu syarat penggunaan *oil dispersant* adalah tidak adanya terumbu karang yang hidup didasar laut, karena bila *oil dispersant* mencemari terumbu karang maka akan dapat menghambat pertumbuhan terumbu karang, bahkan dapat membunuhnya. termasuk biota laut yang hidup di sekitar terumbu karang. Penanganan secara kimia dilakukan pada kasus-kasus dimana daerah tersebut tidak terdapat terumbu karang sehingga penggunaan zat kimia tidak menambah kerusakan ekosistem pada daerah terdampak tumpahan minyak.



Gambar 2.14 Penyebaran *oil dispersant*
Sumber : *Popular Science*

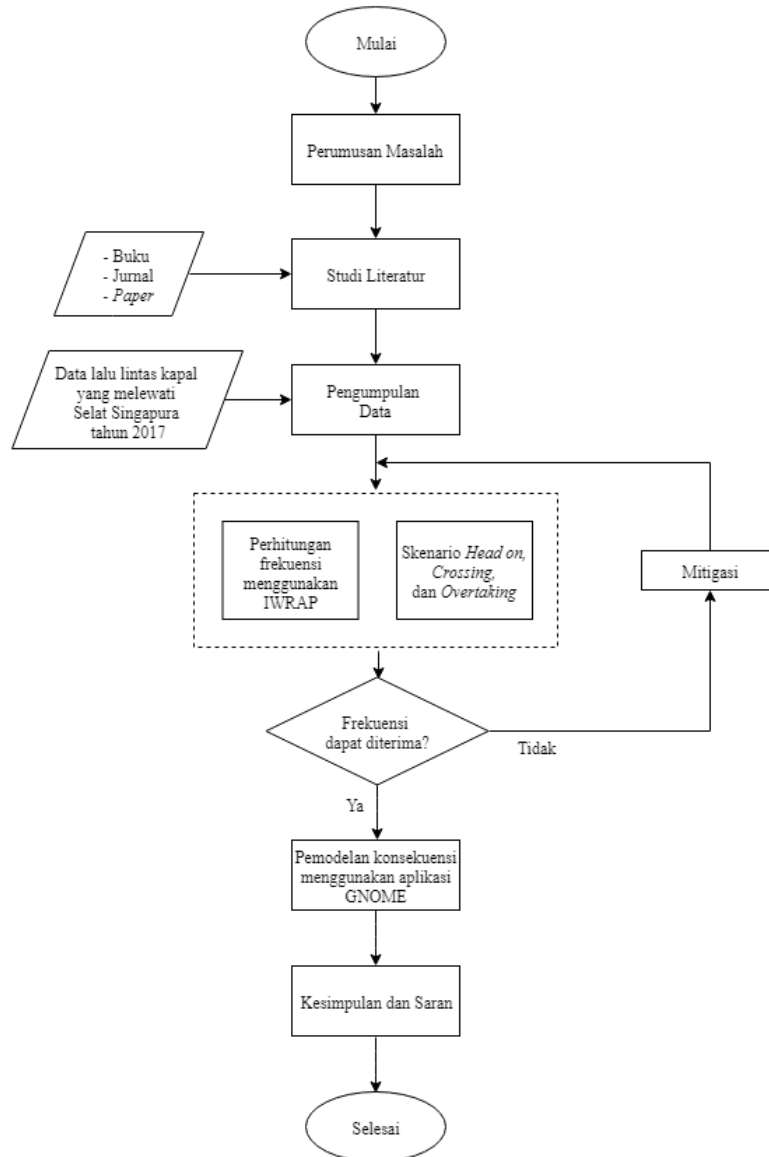
3. Penanganan secara biologi

Pada penanganan ini hal yang dilakukan ialah bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses penguraian limbah *organic/* anorganik polutan secara biologi dalam kondisi terkendali dengan tujuan mengontrol, mereduksi atau bahkan mereduksi bahan pencemar dari lingkungan (Sulistiyono, 2013). Kelebihan dari metode ini adalah lebih ekonomis bila ditinjau dari aspek komersial, relatif lebih ramah lingkungan dan bersifat fleksibel. Pada proses pengolahan limbah B3 dengan metode ini umumnya menggunakan mikroorganisme (khamir, fungi, dan bakteri) sebagai agen *bioremediator*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan pada skripsi yang dilakukan yaitu:



Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan

Gambar 3.1 merupakan alur pengerjaan dalam pembuatan skripsi, adapun penjelasan dari tiap pekerjaan yang dilakukan yaitu:

3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan yang hendak diselesaikan. Perumusan masalah menjadi tahapan awal dalam pengerjaan skripsi yang menjadi bagian penting yang melatarbelakangi permasalahan tersebut diselesaikan sebagai bagian dari kajian dalam tugas akhir. Pengidentifikasi permasalahan dilakukan dengan mencari informasi yang dapat berasal dari isu-isu terkini, fenomena lingkungan sekitar, pengalaman yang pernah dialami di lapangan, dan dari sumber-sumber terkait lainnya. Permasalahan yang akan dibahas dan diselesaikan pada skripsi ini yaitu “Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal pada Area Rawan Kecelakaan di Selat Singapura.”

3.2 Studi Literatur

Tahapan setelah perumusan masalah didapatkan adalah melakukan studi literatur. Hal itu digunakan untuk menggali informasi apabila penelitian sejenis pernah dilakukan sebagai referensi pengerjaan skripsi tersebut. Selain itu, penelitian sebelumnya dapat menjadi bagian dari solusi atas permasalahan yang diambil. Studi literatur dapat dilakukan dengan membaca jurnal sejenis yang pernah dilakukan maupun buku-buku dengan materi yang berkaitan. Sehingga dari studi literatur yang dilakukan dapat memberikan ide tentang bagaimana pengerjaan skripsi tersebut dilakukan dan menjadi bagian dari pedoman dalam pembuatan karya tulis keilmiah yang baik dan benar. Studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *IWRAP Manual Book*
2. *Paper* dan jurnal tentang *Collision*
3. *Paper* dan jurnal tentang Selat Singapura
4. *Paper* dan jurnal tentang tumpahan minyak

3.3 Pengumpulan Data

Proses selanjutnya yaitu pengumpulan data yang bertujuan untuk memperoleh data dan informasi penunjang skripsi. Data dan informasi yang hendak dikumpulkan yaitu data lalu lintas kapal selama tahun 2016 di Selat Singapura. Data tersebut akan diolah dan dikelompokkan berdasarkan pada beberapa parameter seperti jenis kapal, ukuran, kecepatan, dan lain sebagainya. Jika dari data lalu lintas kapal tidak didapatkan data ukuran kapal, ukuran kapal dapat didapatkan dengan mengakses situs www.marinetraffic.com atau situs biro klasifikasi dari kapal tersebut. Data-data kapal yang telah didapatkan dilakukan klustering berdasarkan panjang dan jenis kapal.

3.4 Analisis Frekuensi

Analisis yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah analisis frekuensi yang akan dihitung menggunakan aplikasi IWRAP. Frekuensi yang didapatkan dari aplikasi IWRAP kemudian dilakukan validasi perhitungan dengan menggunakan rumusan-rumusan yang didapatkan dari *IWRAP Theory*. Frekuensi yang dihitung adalah frekuensi pada saat skenario *head-on*, *overtaking*, dan *crossing*. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan dari aplikasi IWRAP dan hasil perhitungan manual. Analisis juga dilakukan dengan mencari nilai frekuensi pada tahun-tahun berikutnya untuk memberikan gambaran mengenai frekuensi tubrukan kapal yang akan terjadi pada tahun-tahun berikutnya. Dari data yang didapatkan berupa data kedatangan kapal, kapal dikelompokkan berdasarkan jenisnya dan panjang kapalnya. Berikut merupakan klasifikasi kapal berdasarkan jenis dan panjang pada tahun 2016 :

Tabel 3.1 Klasifikasi Kapal berdasarkan jenis dan panjang pada tahun 2016

Panjang	Tipe Kapal				
	<i>Tanker</i>	<i>Container</i>	<i>General Cargo</i>	<i>Passenger</i>	<i>Support Ship</i>
0-25	0	0	0		37
25-50	5	0	14	11605	55
50-75	54	0	46		27
75-100	227	3	205		15
100-125	559	4	282		0
125-150	386	18	306		0
150-175	117	27	506		0
175-200	531	21	1382		0
200-225	111	30	629		0
225-250	714	10	462		0
250-275	154	39	315		0
275-300	193	29	668		0
300-325	49	11	94		0
325-350	713	14	189		0
350-375	0	18	166		0
375-400	0	5	40		0

Tabel 3.1 merupakan tabel hasil pengelompokan data statis kapal berdasarkan jenis dan panjang kapal. Jumlah kapal yang terdapat pada data tersebut adalah berjumlah 21.085 buah kapal selama tahun 2016.

3.5 IWRAP Software

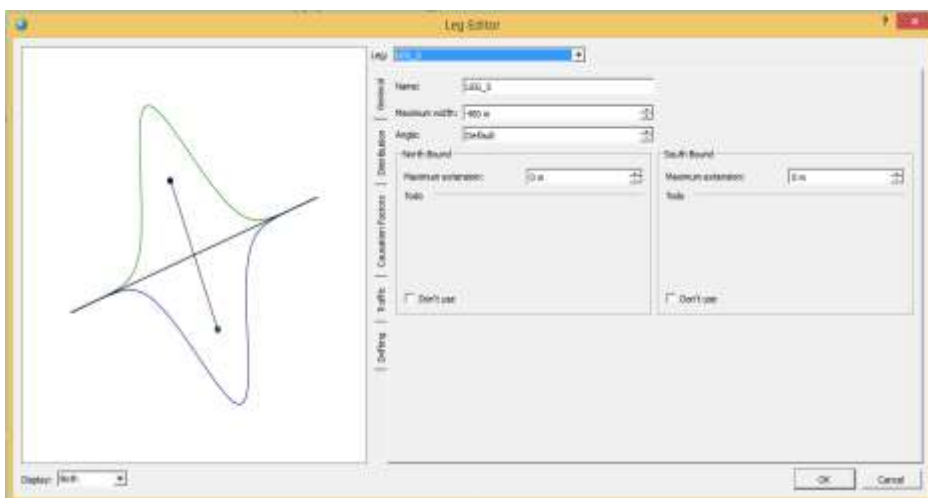
Dengan data yang telah diperoleh dan dibahas pada bagian sebelumnya, data tersebut diolah dan diterjemahkan dalam sebuah program yaitu IWRAP MK II. IWRAP dapat menghitung frekuensi tubrukan kapal pada setiap bagian yang kita tentukan. Data yang telah kita kelompokkan berdasarkan jenis dan panjang kapal digunakan untuk mengetahui nilai kemungkinan terjadinya tubrukan untuk setiap jenis kapal dan di *range* panjang tertentu. Area yang akan dihitung kemungkinan tubrukannya digambarkan oleh *LEG* (garis) dan *WAY POINT* (titik) pada IWRAP.



Gambar 3.2 *Leg dan Way Point*
 Sumber : *Software IWRAP MK II v5.2.0*

Setelah menggambar *leg*, terdapat beberapa pengaturan yang berkaitan dengan pembuatan *leg* yaitu dengan menu editor yang telah tersedia. Berikut merupakan beberapa opsi pengaturan antara lain yaitu :

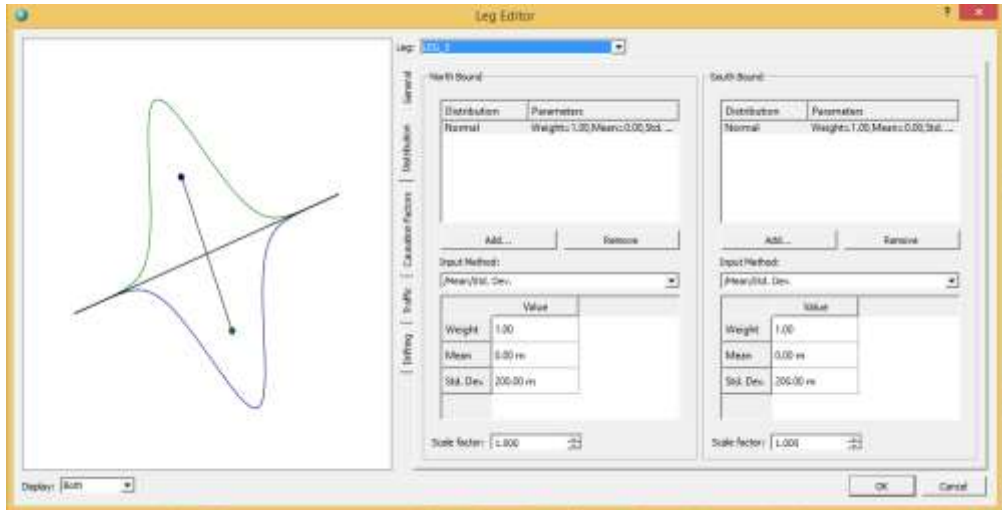
- a. *General*, digunakan untuk melakukan untuk mengubah hal-hal umum pada *leg* seperti merubah nama, pengaturan lebar dari alur pelayaran, sudut yang digunakan dan lain-lain.



Gambar 3.3 Menu *Leg Editor tab general* pada IWRAP
 Sumber : *Software IWRAP MK II v5.2.0*

Gambar 3.3 menunjukkan *tab general_Software* pada menu *leg editor*. Pada pilihan menu ini dilakukan penyesuaian model pada *Software*. Pada tahap ini, nilai *maximum width* sebesar 2772m karena mengikuti lebar alur pelayaran yang ada di selat singapura khususnya daerah Pelabuhan Sekupang, Batam.

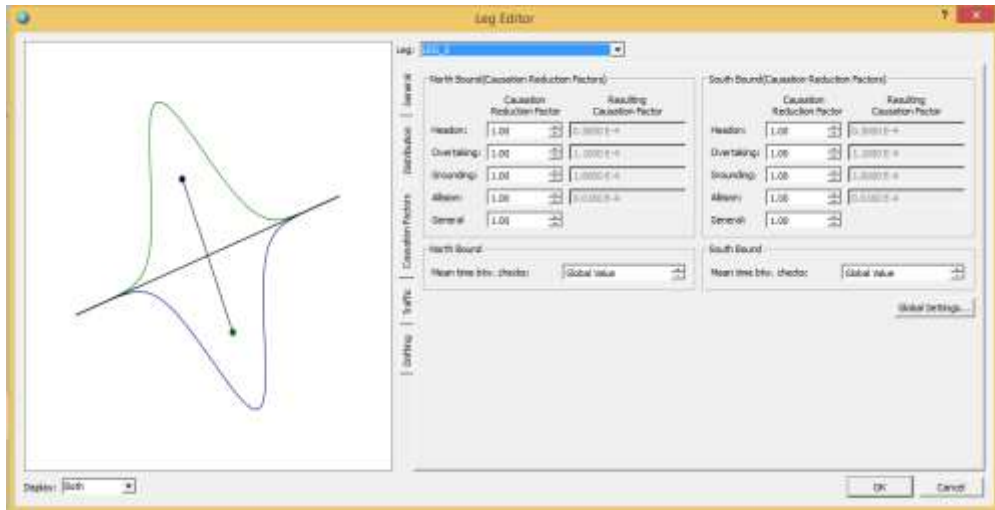
- b. *Distribution*, pada *tab distribution* terdapat beberapa jenis distribusi yang dapat digunakan. Distribusi yang dapat dipilih antara lain distribusi normal, *gumbel*, *weibull*, *uniform*, *beta*, dan *upnormal*.



Gambar 3.4 Menu *Leg Editor tab distribution* pada IWRAP
Sumber : *Software IWRAP MK II v5.2.0*

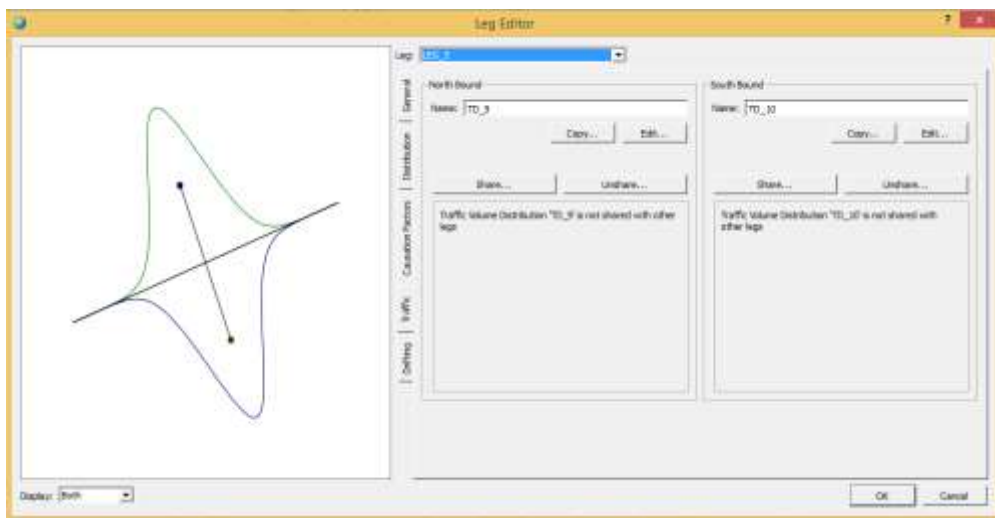
Gambar 3.4. merupakan nilai *tab distribution* pada IWRAP. Nilai *mean* menyatakan posisi dimana sebagian besar kapal lewat pada alur dan standar deviasi akan menyatakan posisi terjauh kapal melintas dari rata-rata posisi kapal melintas pada alur. Pada penelitian ini digunakan standard deviasi dengan nilai 200 meter dan dengan *mean* sebesar 600 pada kedua sisi kurva distribusi. Pada Perhitungan skenario crossing nilai *mean* dan standar deviasi tidak memiliki dampak terhadap perhitungan yang dilakukan. Pada skenario *head on* dan *overtaking* nilai *mean* dan standar deviasi mempengaruhi hasil pada perhitungan frekuensi.

- c. *Causation Factor*, IWRAP merekomendasikan besaran dari nilai *causation factor* (P_c) untuk setiap model tubrukan yang terjadi. *Causation*. Pada penelitian kali ini digunakan nilai *causation factor* sesuai dengan nilai yang sudah ada pada IWRAP.



Gambar 3.5 Menu *Leg Editor* tab *causation factor* pada IWRAP
Sumber : Software IWRAP MK II v5.2.0

- d. *Traffic*, pada tab *traffic* pengguna dapat melakukan perubahan terhadap input dari data kapal yang ada pada setiap *leg*. Hal-hal yang dapat diubah selain data kapal perjenis di tiap pembagian panjang adalah penyesuaian kecepatan kapal sesuai dengan data yang ada.



Gambar 3.6 Menu *Leg Editor* tab *traffic* pada IWRAP
Sumber : Software IWRAP MK II v5.2.0

- e. *Drifting*, pada tab *drifting* pengguna dapat menambahkan analisa yang berkaitan dengan drifting pada perhitungan frekuensi tubrukan. Penulis tidak menggunakan atau merubah apapun pada *tab* ini dikarenakan jenis skenario yang dipilih tidak menggunakan opsi *drifting*.



Gambar 3.7 Menu Leg Editor tab drifting pada IWRAP

Sumber : Software IWRAP MK II v5.2.0

3.6 Analisis Frekuensi dengan menggunakan IWRAP Theory

Validasi menggunakan hitungan IWRAP merupakan metode perhitungan manual menggunakan teori yang terdapat pada IWRAP untuk mengetahui frekuensi terjadinya tubrukan kapal dengan skenario *head-on*, *crossing*, dan *overtaking*. Validasi berguna untuk membandingkan hasil dari kedua metode perhitungan. Analisis dapat dilakukan berdasarkan data kapal yang telah dikelompokkan dan data kapal yang diperlukan yaitu dimensi kapal, jumlah kapal, kecepatan kapal, dan sudut yang terbentuk.

Adapun dalam proses perhitungan frekuensi tubrukan dengan skenario *Crossing*. Terdapat data-data yang diperlukan antara lain :

- L, L_j menyatakan data panjang kapal yang berlayar pada jalur i dan jalur j .
- B_i, B_j menyatakan data lebar kapal yang berlayar pada jalur i dan jalur j .
- V_i, V_j menyatakan data kecepatan kapal yang melintasi jalur i dan jalur j .
- Q_i, Q_j menyatakan jumlah kapal yang melintas pada kurun waktu tertentu.
- θ , merupakan sudut yang terbentuk dari dua jalur yang bersimpangan.

Adapun pada proses perhitungan *head on* dan *overtaking* data kecepatan yang dianalisis didefinisikan sebagai V_i dan V_j . Dua kecepatan didefinisikan sebagai komponen kecepatan dari kedua kapal yang saling berpapasan yaitu i merupakan komponen yang berada pada lintasan i sedangkan j merupakan komponen kecepatan kapal yang melaju pada lintasan j yang kemudian kedua elemen kecepatan tersebut akan digunakan untuk menghitung kecepatan relatif. Perbedaan dari perhitungan *head on* dan *overtaking* yaitu dalam perhitungan kecepatan relatif yaitu :

Tabel 3.2 Perbedaan perhitungan scenario tubrukan *head on* dan *overtaking*

No.	Perbedaan pada 2 Skenario	<i>Head On</i>	<i>Overtaking</i>
1.	Kecepatan	$V_{ij} = V_i + V_j$	$V_{ij} = V_i - V_j$
2.	<i>Mean</i>	$\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j$	$\mu_{ij} = \mu_i - \mu_j$

Banyaknya kapal yang melewati alur dapat disimbolkan dengan Q , sedangkan Q_i dan Q_j berarti kapal berada pada jalur i atau j . Nilai P_G yang digunakan pada skenario *overtaking* dan *head on* didasarkan pada fungsi distribusi normal. Perhitungan nilai P_G juga didasarkan nilai dari standar deviasi kapal dan juga rata-rata lebar kapal, maka rumusan untuk menghitung nilai P_G yaitu :

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

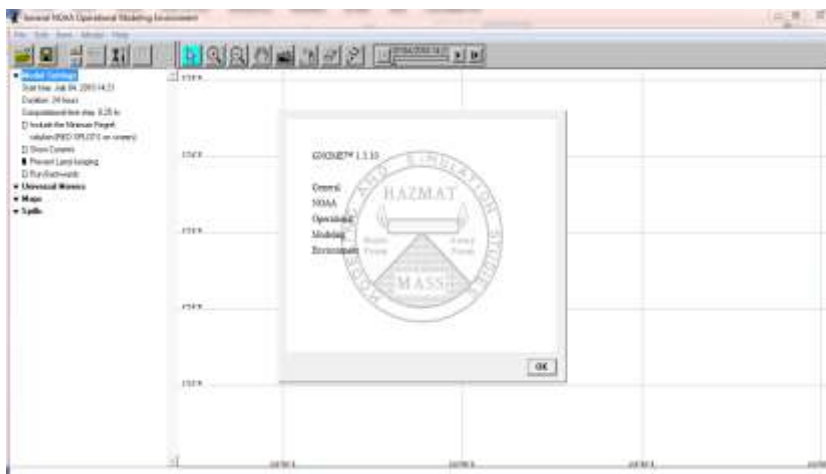
Perhitungan P_G dilakukan dengan menggunakan teori distribusi normal karena distribusi yang digunakan dalam pemodelan adalah distribusi normal, setelah mendapatkan nilai P_G , maka setelah itu menentukan nilai *geometric number* dengan menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$N_G^{\text{head-on}} = L_w \sum_{i,j} P_{G_{i,j}}^{\text{head-on}} \frac{V_{ij}}{v_i v_j} (Q_i Q_j)$$

Perhitungan nilai frekuensi tubrukan didapatkan dari hasil perkalian N_G yang merupakan *geometric number* dengan *causation factor* yang merupakan nilai dari *causation probability* yang didapatkan dari *software* IWRAP. Perhitungan manual dilakukan untuk menentukan nilai frekuensi yang didapatkan dengan rumusan yang telah ditentukan oleh IWRAP *Theory*. Perbandingan perhitungan manual dan perhitungan dengan IWRAP menghasilkan persentase keabsahan dari nilai frekuensi yang didapatkan.

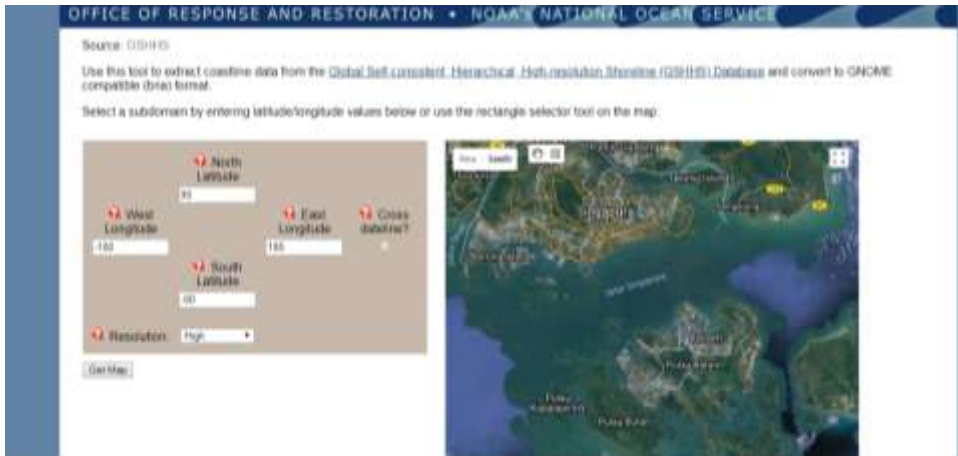
3.7 Pemodelan Tumpahan Minyak menggunakan GNOME

Konsekuensi tubrukan kapal yang diambil dari perhitungan frekuensi tubrukan kapal adalah pemodelan tumpahan minyak. Pemodelan tumpahan minyak menggunakan aplikasi *General NOAA Operational Modeling Environment* (GNOME). Berikut merupakan *user interface* dari aplikasi GNOME:



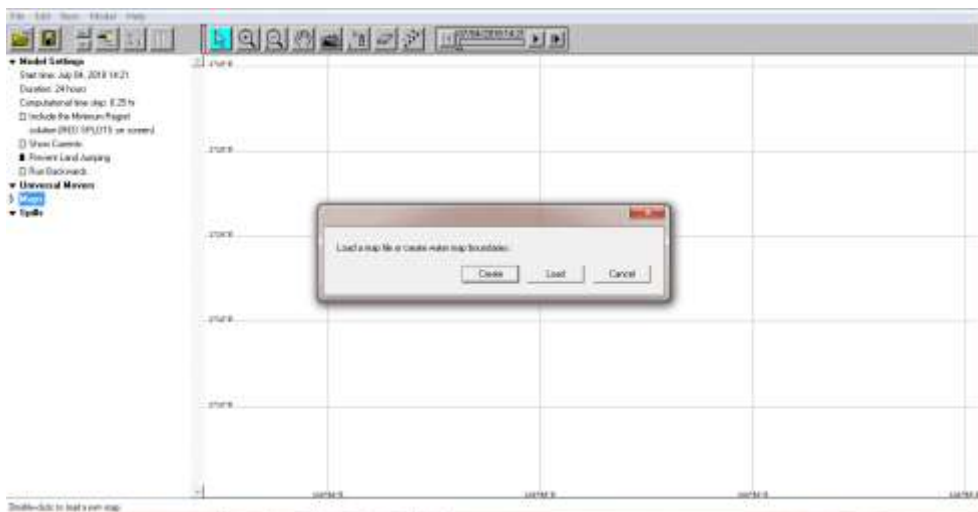
Gambar 3.8 *User interface* aplikasi GNOME
Sumber : *Software* GNOME

Gambar 3.8 menunjukkan *user interface* dari aplikasi GNOME. Data-data yang dibutuhkan dalam penggunaan aplikasi GNOME antara lain peta, angin, arah aliran, jenis muatan yang tumpah, dan jumlah muatan yg tumpah serta waktu terjadinya tumpahan. Hal yang pertama kali harus dilakukan adalah mengunduh peta lokasi yang akan dianalisis pada situs <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>.



Gambar 3.9 Situs untuk menentukan lokasi yang akan dianalisis
Sumber : <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>

Gambar 3.9 menunjukkan situs untuk memilih peta lokasi daerah yang akan dianalisis, setelah memasukkan koordinat atau dengan cara menandai daerah yang akan dianalisis. Setelah itu unduh peta yang selanjutnya data peta tersebut akan dimasukkan ke aplikasi GNOME.



Gambar 3.10 Tampilan untuk membuka peta lokasi yang akan dianalisis
Sumber : *Software* GNOME

Gambar 3.10 menunjukkan pilihan menu untuk membuka file peta yang telah diunduh sebelumnya.



Gambar 3.11 Tampilan peta yang telah diunduh
Sumber : *Software GNOME*

Gambar 3.11 menunjukkan tampilan peta yang telah diunduh dan dibuka pada aplikasi GNOME. Langkah selanjutnya adalah menentukan lokasi terjadinya tumpahan minyak serta memasukkan data-data yang diperlukan

Spill Information

Spill Name:

Pollutant: # Spots:

Amount Released:

Release start

July 2018 Lat: Deg: Min:

Start Time: (24-hour) : Long: Deg: Min:

Different end release time Different end release position

decimal degrees
 degrees/minutes
 degrees/minutes/seconds

Gambar 3.12 Tampilan informasi tumpahan
Sumber : *Software GNOME*

Gambar 3.12 menunjukkan menu *spill information*, pada menu ini dapat ditentukan jenis tumpahan yang akan terjadi, titik tumpahan yang akan terjadi, jumlah tumpahan yang akan terjadi, waktu terjadinya tumpahan serta menentukan lokasi terjadinya tumpahan dengan memasukkan koordinat yang ada.

3.8 Rekomendasi Mitigasi

Rekomendasi mitigasi diberikan apabila hasil perhitungan frekuensi tubrukan kapal melebihi 1. Rekomendasi mitigasi digunakan agar nilai frekuensi tersebut dapat dikurangi sehingga frekuensi yang dihasilkan dapat diterima.

3.9 Kesimpulan dan Saran

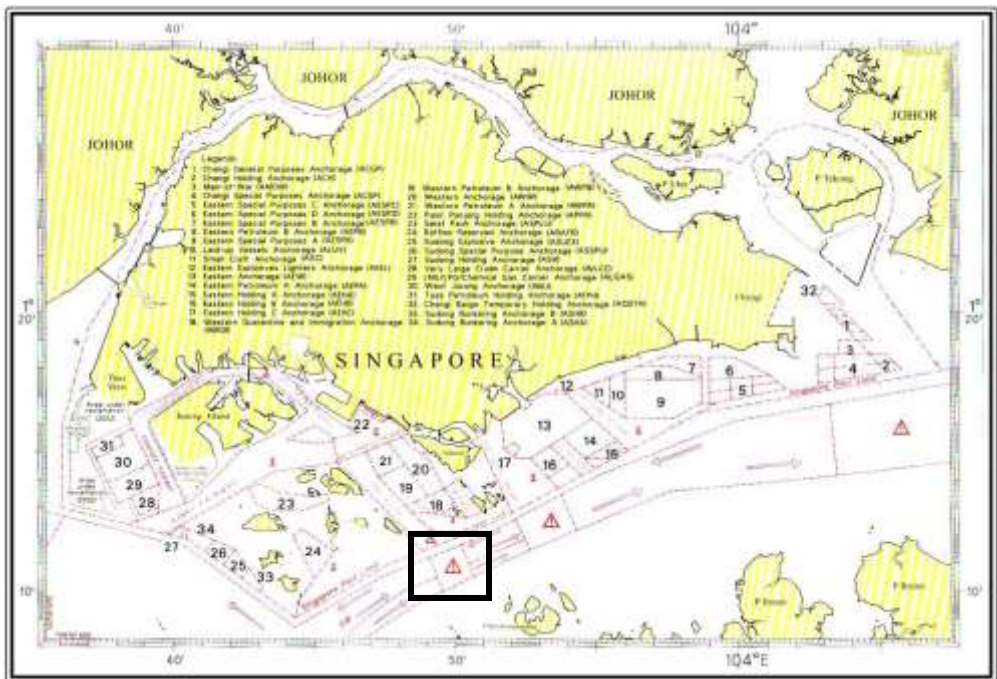
Proses terakhir adalah pembuatan kesimpulan dari keseluruhan proses yang dilakukan beserta hasil yang didapatkan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Kemudian saran-saran akan disertakan yang didasarkan pada hasil analisis yang dilakukan sebagai dasar bagi penelitian selanjutnya baik terkait secara langsung maupun menjadi referensi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

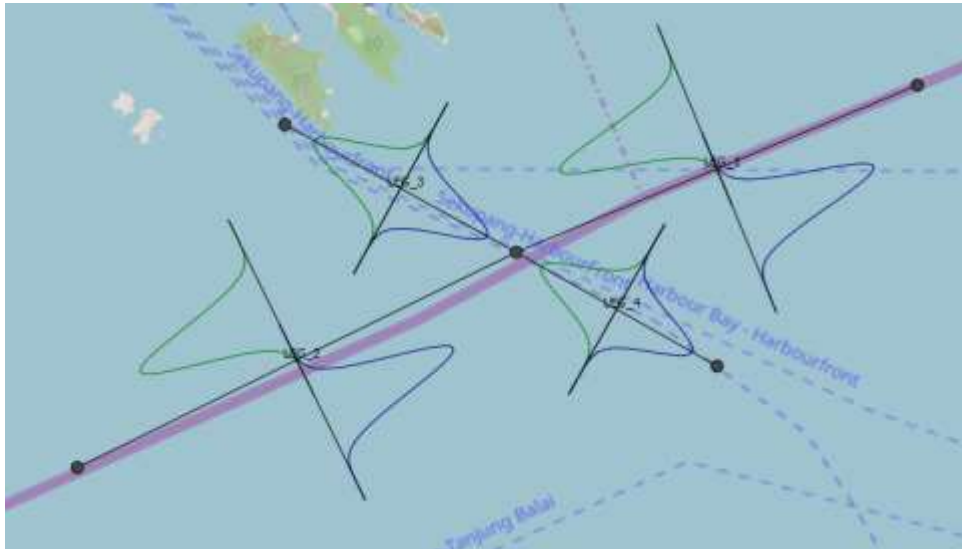
4.1 Gambaran Umum

Pada tugas akhir ini, penulis menganalisis frekuensi tubrukan yang terjadi pada Selat Singapura. Daerah yang dilakukan penelitian merupakan daerah rawan kecelakaan di Selat Singapura. Daerah yang dilakukan penelitian yaitu pada daerah alur pelayaran dari Pelabuhan Sekupang menuju ke Pelabuhan Singapura. Pemodelan dilakukan pada daerah *traffic crossing* pada TSS yang ada di Selat Singapura.



Gambar 4.1 Area *Traffic Crossing* sektor 7 Selat Singapura
Sumber : (Meng, 2002)

Daerah yang merupakan area yang akan diteliti dimodelkan pada IWRAP berupa *leg* yang selanjutnya akan dianalisis. Analisis dilakukan dengan pembuatan *leg* pada aplikasi IWRAP, pemodelan didasarkan dari daerah rawan kecelakaan yang ada di Selat Singapura. Daerah rawan kecelakaan yang diambil merupakan daerah *traffic crossing* yang terdapat pada sektor 7 pada lajur TSS. Daerah tersebut merupakan daerah *crossing* antara lajur TSS dan alur pelayaran kapal penumpang dari pelabuhan di Batam menuju pelabuhan di Singapura dan sebaliknya sehingga memiliki kemungkinan besar terjadi tubrukan. Berikut merupakan *leg* yang dibuat berdasarkan data dari data dinamis :



Gambar 4.2 Model leg yang digunakan dalam analisis
Sumber : *Software IWRAP MK II v5.2.0*

Gambar 4.2 merupakan pemodelan *leg* yang telah dilakukan oleh penulis dalam menentukan frekuensi tubrukan kapal. Pada analisis ini, scenario yang digunakan yaitu *head on collision*, *overtaking collision*, dan *crossing collision*. Pada analisis perhitungan manual frekuensi pada masing-masing skenario, *leg* yang digunakan berbeda dengan pemodelan *leg* pada gambar 4.2. Untuk mempermudah analisis perhitungan manual, digunakan hanya 1 *leg* pada skenario *head on* dan *overtaking*. Pada skenario *crossing* digunakan 2 *leg* karena harus merupakan pertemuan 2 *leg* yang membentuk sudut lintasaan.

Pada model *leg* yang digunakan, *leg 3* dan *leg 4* merupakan alur pelayaran dari Pelabuhan Sekupang menuju Pelabuhan Singapura. Sedangkan pada *leg 1* dan *leg 2* merupakan daerah yang sudah menggunakan *Traffic Separation Scheme (TSS)* yang berlaku pada Selat Singapura.

4.2 Pengolahan Data Kapal

Data yang diperlukan merupakan data lalu lintas kapal dalam kurun waktu satu tahun di Selat Singapura. Data yang dibutuhkan untuk bisa diolah merupakan data kapal yang telah dikelompokkan sesuai dengan jenis dan panjang kapal. Data panjang kapal akan dikelompokkan dengan rentang panjang 25 m. Metode dengan perhitungan IWRAP memungkinkan menghasilkan nilai frekuensi tubrukan kapal total dan pada setiap jenis kelompok kapal. Berikut merupakan klasifikasi kapal berdasarkan jenis dan panjang pada data lalu lintas kapal di Selat Singapura tahun 2016 :

Tabel 4.1. Klasifikasi Kapal berdasarkan jenis dan panjang pada tahun 2016

No.	Panjang	Tipe Kapal				
		<i>Tanker</i>	<i>Container</i>	<i>General Cargo</i>	<i>Passenger</i>	<i>Support Ship</i>
1.	0-25	0	0	0		37
2.	25-50	5	0	14	11605	55
3.	50-75	54	0	46		27
4.	75-100	227	3	205		15
5.	100-125	559	4	282		0
6.	125-150	386	18	306		0
7.	150-175	117	27	506		0
8.	175-200	531	21	1382		0
9.	200-225	111	30	629		0
10.	225-250	714	10	462		0
11.	250-275	154	39	315		0
12.	275-300	193	29	668		0
13.	300-325	49	11	94		0
14.	325-350	713	14	189		0
15.	350-375	0	18	166		0
16.	375-400	0	5	40		0

Pada Tabel 4.1 di atas, jumlah kapal yang terdata adalah 22.246 kapal dengan persebaran jenis dan ukuran seperti yang tertera diatas. Kapal *passenger* mendominasi jumlah kapal dikarenakan data yang digunakan merupakan data kedatangan kapal pada pelabuhan kapal penumpang di Sekupang, Batam. Data diatas bukan merupakan seluruh data lalu lintas kapal yang terdapat di Selat Singapura. Data diatas telah disesuaikan dengan format IWRAP pada jendela *traffic* sehingga mempermudah memasukkan data klasifikasi kapal ke dalam aplikasi IWRAP.

Data-data panjang kapal didapatkan dari website marinetraffic.com, atau dari biro klasifikasi. Data kecepatan kapal mengikuti pengaturan yang telah ditentukan oleh aplikasi IWRAP. Berikut merupakan tampilan padat jendela *traffic editor* pada aplikasi IWRAP :

Traffic Volume Distribution Editor : West Bound

Data Item: Frequency Traffic Volume Distribution: TD_33 Sun Adjusted Frequency:8246 Sun Frequency:8246

	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro c
0-25	0	0	0	0	4	0	0	0
25-50	0	2	0	0	0	12	0	0
50-75	0	54	0	0	4	38	0	0
75-100	0	178	0	0	4	142	0	0
100-125	0	508	0	0	4	196	0	0
125-150	0	292	0	0	32	190	0	0
150-175	0	76	0	0	54	276	0	0
175-200	0	408	0	0	42	1038	0	0
200-225	0	98	0	0	62	550	0	0
225-250	0	614	0	0	30	390	0	0
250-275	0	142	0	0	76	218	0	0
275-300	0	158	0	0	62	512	0	0
300-325	0	40	0	0	18	66	0	0
325-350	0	620	0	0	46	118	0	0
350-375	0	0	0	0	38	118	0	0
375-400	0	0	0	0	14	18	0	0

Show Graph... Hide unused columns Traffic Volume Adjustment Factor: 1.00

OK Cancel

Gambar 4.3 Tampilan *traffic editor* pada perangkat lunak IWRAP
 Sumber : *Software IWRAP MK II v5.2.0*

Gambar 4.3 menunjukkan data masukan pada perangkat lunak IWRAP sebagai landasan dalam analisis tubrukan kapal. Pada jendela ini ada beberapa hal yang dapat diubah antara lain frekuensi setiap jenis kapal, kecepatan kapal, dan sarat air rata-rata. Frekuensi kapal dan kecepatan rata-rata memberikan pengaruh yang besar terhadap hasil yang didapatkan karena terdapat pada rumus perhitungan yang digunakan. Setelah data dimasukkan kedalam IWRAP, maka proses perhitungan manual dan juga melalui perangkat lunak dapat dilakukan.

4.3 Hasil Perhitungan Frekuensi dengan Aplikasi IWRAP

Hasil perhitungan frekuensi tubrukan pada aplikasi IWRAP berupa data frekuensi tubrukan kapal pada setiap antar jenis kapal dan setiap cluster panjang. Hasil dari aplikasi IWRAP juga diklasifikasikan berdasarkan skenario tubrukan kapal yang terjadi. Pada tugas akhir ini, nilai yang analisis adalah nilai dari skenario *crossing*, *head on*, dan *overtaking*. Berikut merupakan hasil data frekuensi tubrukan yang dihasilkan dari perhitungan perangkat lunak IWRAP.

Ship	Double ended	Product tanker	Chemical tanker	Oil tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-ro cargo ship	Passenger ship	Tugboat	Support ship	Fishing ship	Research	Other ship	Sum
Double ended															
Chemical tanker	4.01E-07				1.872E-01	4.027E-06			6.000E-06		1.473E-01				1.488E-01
Oil tanker															
Container ship	1.102E-01				4.401E-01	1.001E-01			1.492E-01		1.340E-01				1.362E-01
General cargo ship	4.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01
Bulk carrier															
Ro-ro cargo ship															
Passenger ship	1.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01
Tugboat															
Support ship	1.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01
Fishing ship															
Research															
Other ship															
Sum	1.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01

Gambar 4.6 Frekuensi tubrukan kapal pada skenario crossing
 Sumber : Software IWRAP MK II v5.2.0

Pada hasil perhitungan frekuensi tubrukan kapal yang terjadi pada skenario *overtaking* besaran nilai frekuensi yang didapat adalah 0.0163894. Frekuensi tubrukan pada skenario *crossing* memiliki nilai yang paling besar dikarenakan jumlah kapal yang terlibat dalam skenario *crossing* adalah yang terbanyak dibandingkan skenario yang lain.

Ship	Double ended	Product tanker	Chemical tanker	Oil tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-ro cargo ship	Passenger ship	Tugboat	Support ship	Fishing ship	Research	Other ship	Sum
Double ended															
Chemical tanker	4.000E-07				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01
Oil tanker															
Container ship	1.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01
General cargo ship	1.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01
Bulk carrier															
Ro-ro cargo ship															
Passenger ship	1.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01
Tugboat															
Support ship	1.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01
Fishing ship															
Research															
Other ship															
Sum	1.000E-01				1.000E-01	1.000E-01			1.000E-01		1.000E-01				1.000E-01

Gambar 4.7 Frekuensi total tubrukan kapal
 Sumber : Software IWRAP MK II v5.2.0

Pada hasil perhitungan frekuensi tubrukan kapal yang terjadi nilai frekuensi yang didapat adalah 0.0360584. Berdasarkan hasil-hasil di atas didapatkan hasil dibawah 1 yang berarti nilai frekuensi dapat diterima.

4.4 Validasi Perhitungan Frekuensi

4.4.1 Analisis Crossing Collision

Analisis perhitungan dilakukan untuk validasi dan mengukur tingkat keakuratan dengan cara membandingkan antara hasil perhitungan manual dengan dengan hasil perhitungan menggunakan IWRAP. Hasil perhitungan menggunakan IWRAP sudah didapatkan, untuk perhitungan manual analisis frekuensi tubrukan

dilakukan berdasarkan tahap perhitungan manual yang terdapat pada IWRAP *Theory* dalam perhitungan manual digunakan data-data yang disesuaikan pada pembentukan model pada bagian sebelumnya.

Dalam analisis frekuensi dengan perhitungan manual terdapat 2 kelompok kapal yang digunakan. Notasi i digunakan untuk kapal yang bergerak pada lintasan i , sedangkan notasi j digunakan untuk menyatakan sebagai kapal yang bergerak pada lintasan j .

Adapun beberapa data yang dapat digunakan sebagai variabel yang mempengaruhi perhitungan manual L , L_j yang menyatakan data panjang kapal yang berlayar pada jalur i dan jalur j . B_i , B_j , yang menyatakan data lebar kapal yang berlayar pada jalur i dan jalur j . V_i , V_j yang menyatakan data kecepatan kapal yang melintasi jalur i dan jalur j . Q_i , Q_j , yang menyatakan jumlah kapal yang melintas pada kurun waktu tertentu. θ merupakan sudut yang terbentuk dari dua jalur yang bersimpangan. Jalur persimpangan terjadi antara alur pelayaran Pelabuhan Singapura ke Pelabuhan Batam dan jalur *traffic separation scheme* (TSS).



Gambar 4.8 Model lintasan yang digunakan dalam analisis *crossing collision*
Sumber : *Software IWRAP MK II v5.2.0*

Gambar 4.8 merupakan pemodelan *leg* yang digunakan untuk melakukan validasi. Sudut yang digunakan pada pemodelan ini adalah 128° . Berikut merupakan contoh analisis pada skenario *crossing* yang dilakukan oleh penulis mengacu pada IWRAP *theory* dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Menentukan data-data yang diperlukan dalam perhitungan, pada perhitungan yang dilakukan dilakukan *sampling* terhadap jenis dan panjang kapal tertentu yang telah dikluster sebelumnya. Berikut merupakan data-data yang diperlukan dalam perhitungan :

Tabel 4.2 Data-data kapal untuk skenario tubrukan *crossing*

	Sample kapal (i)	Sample kapal (j)
Panjang Kapal (L)	34 m	112,49 m
Lebar Kapal (B)	7,22 m	18,377 m
Jumlah Kapal (Q)	11605	559
Kecepatan Kapal (V)	8,642 m/s	3,369 m/s
Sudut Lintasan (θ)	128°	

2. Menentukan nilai dari kecepatan relatif dan *collision diameter* (D_{ij}) yang didapatkan dengan menggunakan persamaan kecepatan relatif serta *collision diameter* (D_{ij}) *crossing collision* yaitu :

Untuk menghitung kecepatan relatif digunakan persamaan :

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

$$V_{ij} = \sqrt{(8,642)^2 + (3,369)^2 - 2 \cdot (8,642) \cdot (3,369) \cdot (-0,615)}$$

$$V_{ij} = 11,0412 \text{ m/s}$$

Untuk menghitung nilai dari *collision diameter* (D_{ij}) digunakan persamaan:

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

$$D_{ij} = \frac{(34) \cdot (8,642) + (112,49) \cdot (3,369)}{(11,0412)} \cdot 0,788 + (18,377) \left\{ 1 - \left(0,788 \cdot \frac{8,642}{11,0412} \right)^2 \right\} +$$

$$7,22 \left\{ 1 - \left(0,788 \cdot \frac{3,369}{11,0412} \right)^2 \right\}$$

$$D_{ij} = 99,04200974 \text{ meter}$$

3. Menghitung *geometric number* pada kelompok yang dianalisis. Dengan menggunakan nilai dari jumlah kapal yang melewati arus, kecepatan, kecepatan relatif, diameter tubrukan serta sudut lintasan. Berikut merupakan persamaan dari *geometric number* pada skenario *crossing collision* yaitu :

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

$$N_G^{crossing} = \frac{11605 \times 559}{8,642 \times 3,369} \times 99,04200974 \times 11,0412 \times \frac{1}{0,788}$$

$$N_G = 9,938454687$$

4. Menghitung frekuensi tubrukan dengan melakukan perkalian *geometric number* dan dengan *causation probability* (P_c). Nilai P_c yang didapatkan dari IWRAP sebesar 0,00013. Berikut merupakan hasil perhitungan frekuensi tubrukan.

$$\begin{aligned}\lambda &= N_G \times P_c \\ &= 9,938454687 \times 0,00013 \\ &= 0,001291999\end{aligned}$$

Perhitungan manual untuk *crossing collision* didapatkan yaitu 0.031493003. Sedangkan pada perhitungan menggunakan IWRAP, frekuensi yang didapatkan yaitu 0.0288547.

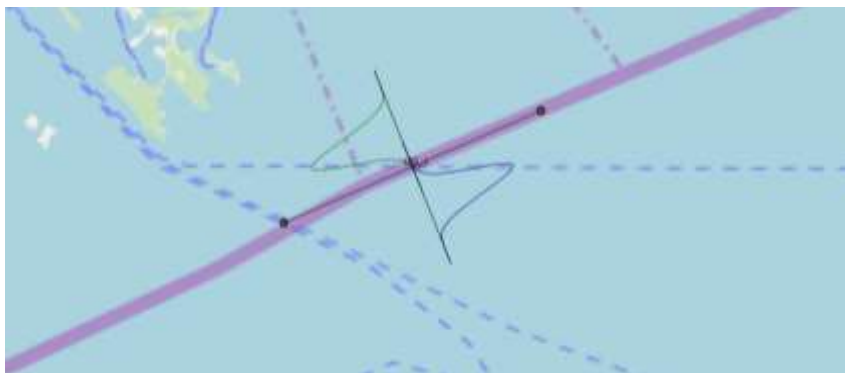
Tabel 4.3 Presentasi validasi perhitungan manual *crossing collision*

Skenario Tubrukan	Manual	IWRAP	Persentase
<i>Crossing Collision</i>	0.03149300	0.0288547	91,62%

Pada Tabel 4.2 menunjukkan presentase validasi yang dilakukan adalah 91,62%. *Error* yang terdapat pada validasi menggunakan perhitungan manual didapatkan sebesar 8,38%. *Error* yang terjadi karena terdapat perbedaan nilai panjang (L) dan lebar (B) antara kedua perhitungan. Pada perhitungan manual nilai L dan B didapatkan dari nilai rata-rata panjang dan lebar. Sudut lintasan juga didapatkan dengan menggambar ulang leg pada *AutoCAD* sehingga memungkinkan terdapat perbedaan dengan sudut yang sebenarnya.

4.4.2 Analisis *Head-on Collision*

Analisis perhitungan *head-on collision* dilakukan dengan menggunakan 1 leg untuk mengetahui hasil dari perhitungan manual. Pemilihan 1 leg untuk mempermudah perhitungan dalam menggunakan perhitungan berdasarkan dari IWRAP *Theory*. Pada perhitungan ini panjang lintasan yang digunakan adalah 4469 m. Panjang lintasan sangat berpengaruh karena dalam perhitungan manual menggunakan panjang lintasan. Nilai panjang lintasan (L_w) didapatkan dari model yang dibuat pada IWRAP. Pada analisis tubrukan dengan skenario *head-on*, lalu lintas kapal ditinjau dari dua arah yaitu dari arah barat (*west bound*) dan dari arah timur (*east bound*).



Gambar 4.9 Model lintasan yang digunakan dalam analisis head on collision
Sumber : *Software IWRAP MK II v5.2.0*

Gambar 4.9 diatas dapat terlihat leg yang digunakan untuk menghitung frekuensi *head on collision* yang terjadi. Kurva yang didapatkan merupakan permodelan *leg* dengan distribusi normal yang dibentuk dari sisi barat dan sisi timur dimana memungkinkan terjadinya tubrukan kapal pada skenario *head on*. Lebar yang digunakan dalam pemodelan ada 2778 m dimana merupakan lebar terkecil yang terdapat pada TSS yang ada di Selat Singapura.

Analisis perhitungan pada skenario *head on collision* sangat dipengaruhi oleh nilai dari *mean* dan standar deviasi. Nilai dari *mean* dan standar deviasi berturut-turut yang digunakan pada IWRAP yang juga digunakan dalam analisis perhitungan manual adalah 600 dan 200. Perhitungan juga didasarkan dari dua kelompok kapal yang telah dikelompokkan berdasarkan tipe dan panjang kapal. Dari kedua kelompok kapal yang mempengaruhi perhitungan frekuensi adalah banyaknya kapal pada setiap kelompok yang dinotasikan (Q_i) dan (Q_j), kecepatan kapal masing-masing kelompok kapal yang dinotasikan sebagai V_i dan V_j .

Setiap komponen perhitungan harus diidentifikasi dan dihitung berdasarkan tipe kapal dan panjang kapal sesuai dengan data yang telah dikluster. Berikut merupakan contoh analisis pada skenario *overtaking* yang dilakukan oleh penulis mengacu pada IWRAP *theory* dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Menentukan data-data yang diperlukan dalam perhitungan, pada perhitungan yang dilakukan dilakukan *sampling* terhadap jenis dan panjang kapal tertetu. Berikut merupakan data-data yang diperlukan dalam perhitungan

Tabel 4.4 Data-data kapal untuk skenario tubrukan *head on*

	Sample kapal (i)	Sample kapal (j)
Panjang Kapal (L)	112 m	190 m
Lebar Kapal (B)	18,4 m	30,9 m
Jumlah Kapal (Q)	559	1382
Kecepatan kapal (V)	3,369 m/s	4,038 m/s
Panjang Lintasan (L_w)	4469 m	
<i>Mean</i> (μ)	600	600
Standar Deviasi (σ)	200	200

2. Melakukan perhitungan kecepatan relatif, lebar rata-rata, serta *mean* dan standar deviasi dengan persamaan yang disesuaikan dengan analisis *overtaking collision*. Nilai-nilai kecepatan relatif, lebar rata-rata, serta *mean* dan standar deviasi pada skenario *overtaking collision* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Untuk menghitung kecepatan relatif digunakan persamaan :

$$\begin{aligned}V_{ij} &= V_i + V_j \\V_{ij} &= 3,369 \text{ m/s} + 4,038 \text{ m/s} \\V_{ij} &= 7,408 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Untuk menghitung lebar rata-rata digunakan persamaan :

$$\begin{aligned}B_{ij} &= \left(\frac{B_i + B_j}{2}\right) \text{ untuk menghitung lebar rata-rata} \\B_{ij} &= \left(\frac{18,4 + 30,9}{2}\right) \\B_{ij} &= 24,64 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai *mean* digunakan pada skenario overtaking menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}\mu_{ij} &= \mu_i + \mu_j \\ \mu_{ij} &= 600 + 600 \\ \mu_{ij} &= 1200\end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai standar deviasi digunakan persamaan :

$$\begin{aligned}\sigma_{ij} &= \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2} \\ \sigma_{ij} &= \sqrt{(200)^2 + (200)^2} \\ \sigma_{ij} &= 282,843\end{aligned}$$

3. Setelah didapat nilai dari lebar rata-rata, *mean*, dan standar deviasi , selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *collision probability* (P_G) dengan distribusi normal menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}P_g &= \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \\ P_g &= \Phi\left(\frac{24,64 - 1200}{282,843}\right) - \Phi\left(-\frac{24,64 + 1200}{282,843}\right) \\ P_G &= 0.00001\end{aligned}$$

4. Setelah mengetahui nilai dari panjang lintasan, *collision prability* (P_G), kecepatan relatif, serta jumlah arus lalu lintas kapal. Dapat dihitung nilai dari *geometric number* dari data-data yang telah diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}N_G^{\text{head-on}} &= L_W \sum_{i,j} P_{G i,j}^{\text{head-on}} \cdot \frac{v_{ij}}{v_i v_j} (Q_i Q_j) \\ N_G^{\text{head-on}} &= 4469 \times 0,00001 \times \frac{7,408}{3,369+4,0383} \times (559 \times 1382) \\ N_G^{\text{head-on}} &= 0,000529537\end{aligned}$$

5. Menghitung frekuensi tubrukan kapal pada skenario *head-on* dengan menggunakan nilai *Geometric number* yang telah didapatkan dan nilai dari *causation probability* (P_c) yang didapatkan dari IWRAP sebesar 0,00005. Maka, frekuensi tubrukan skenario *head-on* dapat didapat dari perkalian *geometric number* dengan *causation probability* adalah :

$$\lambda = P_c \times N_G$$

$$\lambda = 0,00005 \times 0,000529537$$

$$\lambda = 2,64769 \times 10^{-8}$$

Metode perhitungan yang sama dilakukan pada seluruh kelompok data yang terdiri dari 45 baris x 45 kolom. Dari perhitungan manual seluruh kolom dan baris didapatkan nilai seluruh perhitungan yaitu 0.0000034. Nilai perhitungan berdasarkan IWRAP didapatkan hasil 0.0000033685.

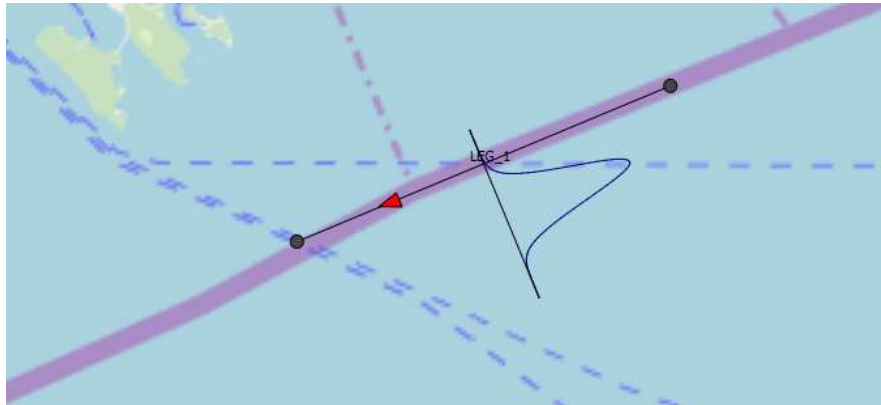
Tabel 4.5 Persentase Validasi Perhitungan Manual *Head On Collision*

Skenario Tubrukan	Manual	IWRAP	Persentase
<i>Head On</i>	0.0000034	0.0000033685	98.2%

Dengan hasil validasi sebesar 98,2% didapatkan *error* sebesar 1,8%. *Error* didapatkan dimungkinkan karena adanya perbedaan data lebar rata-rata. Pada perhitungan manual lebar rata-rata didapatkan dari hasil menghitung lebar rata-rata tiap kapal pada kelompok kapal, sedangkan pada IWRAP lebar rata-rata didapatkan secara *default*.

4.4.3 Analisis *Overtaking Collision*

Perhitungan untuk menganalisis frekuensi tubrukan pada skenario *overtaking* dilakukan dengan memodelkan leg pada perangkat lunak IWRAP. Pemodelan dilakukan untuk mengetahui nilai-nilai yang dibutuhkan yang nantinya digunakan pada perhitungan manual. Pada pemodelan leg untuk skenario *overtaking* hanya digunakan salah satu arah lajur lalu lintas kapal. Pemodelan dengan meninjau dari arah timur (*east bound*) pada leg 1 yang telah dibuat sebelumnya. Hasil perhitungan yang ditinjau dari arah timur maupun arah barat pada 1 leg akan memiliki hasil yang sama dikarenakan data-data yang diketahui sama.



Gambar 4.10 Ilustrasi model lintasan yang digunakan dalam analisis *overtaking collision*
 Sumber : *Software IWRAP MK II v5.2.0*

Gambar 4.10 merupakan model lintasan yang digunakan dalam analisis *overtaking collision*. Pada pemodelan ini bentuk kurva menunjukkan cenderung kekanan menjauhi titik tengah dikarenakan pada pemodelan memiliki nilai *mean* lebih dari 0. Kurva diatas berbentuk seperti *bell* yang berarti distribusi yang digunakan pada pemodelan yaitu distribusi normal. Pada model yang telah dibuat lebar dan panjang alur berturut-turut dibuat 2778 m dan 4669 m. Lebar alur didapatkan dari lebar terkecil yang terdapat pada Selat Singapura yaitu 1,5 *Nautical Miles*. Sedangkan nilai dari panjang alur pada *leg* diasumsikan.

Setelah dilakukan pemodelan maka selanjutnya dilakukan perhitungan dengan data-data yang telah diketahui sebelumnya. Berikut merupakan contoh analisis pada skenario *overtaking* yang dilakukan oleh penulis mengacu pada *IWRAP theory* dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Menentukan data-data yang diperlukan dalam perhitungan, pada perhitungan yang dilakukan dilakukan *sampling* terhadap jenis dan panjang kapal tertentu. Sampling dilakukan pada perhitungan yang memiliki nilai atau tidak bernilai 0 karena pada kasus *overtaking* banyak hasil perhitungan yang bernilai 0. Berikut merupakan data-data yang diperlukan dalam perhitungan :

Tabel 4.6 Data-data kapal untuk skenario tubrukan *overtaking*

	Sample kapal (i)	Sample kapal (j)
Panjang Kapal (L)	295 m	237 m
Lebar Kapal (B)	40,9 m	32,1 m
Jumlah Kapal (Q)	29	10
Kecepatan kapal (V)	5,86467 m/s	5,81322 m/s
Panjang Lintasan (L_w)	4469 m	
<i>Mean</i> (μ)	600	600
Standar Deviasi (σ)	200	200

2. Melakukan perhitungan kecepatan relatif, lebar rata-rata, serta *mean* dan standar deviasi dengan persamaan yang disesuaikan dengan analisis *overtaking collision*. Nilai-nilai kecepatan relatif, lebar rata-rata, serta *mean* dan standar deviasi pada skenario *overtaking collision* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Untuk menghitung kecepatan relatif digunakan persamaan :

$$\begin{aligned} V_{ij} &= V_i - V_j \\ V_{ij} &= 5.86467 \text{ m/s} - 5,81322 \text{ m/s} \\ V_{ij} &= 0.0514444 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Untuk menghitung lebar rata-rata digunakan persamaan :

$$\begin{aligned} B_{ij} &= \left(\frac{B_i + B_j}{2} \right) \text{ untuk menghitung lebar rata-rata} \\ B_{ij} &= \left(\frac{40,9 + 32,1}{2} \right) \\ B_{ij} &= 36,51552 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai *mean* digunakan pada skenario *overtaking* menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \mu_{ij} &= \mu_i + \mu_j \\ \mu_{ij} &= 600 - 600 \\ \mu_{ij} &= 0 \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai standar deviasi digunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2} \\ \sigma_{ij} &= \sqrt{(200)^2 + (200)^2} \\ \sigma_{ij} &= 282,843 \end{aligned}$$

3. Setelah didapat nilai dari lebar rata-rata, *mean*, dan standar deviasi, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *collision probability* (P_G) dengan distribusi normal menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} P_g &= \Phi \left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) - \Phi \left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \\ P_g &= \Phi \left(\frac{36,51552 - 0}{282,843} \right) - \Phi \left(-\frac{36,51552 + 0}{282,843} \right) \\ P_G &= 0,10272 \end{aligned}$$

4. Setelah mengetahui nilai dari panjang lintasan, *collision prability* (P_G), kecepatan relatif, serta jumlah arus lalu lintas kapal. Dapat dihitung nilai dari *geometric number* dari data-data yang telah diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$N_{G \text{ overtaking}} = L_W \sum_{i,j} P_{G I,j}^{\text{head-on}} \frac{v_{ij}}{v_i v_j} (Q_i Q_j)$$

$$N_{G \text{ overtaking}} = 4469 \times 0,10272 \times \frac{0,05144}{5,86467 - 5,81322} \times (29 \times 10)$$

$$N_{G \text{ overtaking}} = 6,458 \times 10^{-6}$$

5. Menghitung frekuensi tubrukan kapal pada skenario *overtaking* dengan menggunakan nilai *Geometric number* yang telah didapatkan dan nilai dari *causation probability* (P_c) yang didapatkan dari IWRAP sebesar 0,00011. Maka, frekuensi tubrukan skenario *overtaking* dapat didapat dari perkalian *geometric number* dengan *causation probability* adalah :

$$\lambda = P_c \times N_G$$

$$\lambda = 0,00011 \times 6,458 \times 10^{-6}$$

$$\lambda = 7 \times 10^{-7}$$

Metode perhitungan yang sama dilakukan pada seluruh kelompok data yang terdiri dari 45 baris x 45 kolom. Dari perhitungan manual seluruh kolom dan baris didapatkan nilai seluruh perhitungan yaitu 0.0023. Nilai perhitungan berdasarkan IWRAP didapatkan hasil 0.002.

Tabel 4.7 Persentase Validasi Perhitungan Manual *Crossing Collision*

	Manual	IWRAP	
<i>Overtaking</i>	0,004187	0.004138	98,8%

Dengan hasil validasi sebesar 98,8% didapatkan *error* sebesar 1,2%. *Error* didapatkan dimungkinkan karena adanya perbedaan data lebar rata-rata. Pada perhitungan manual lebar rata-rata didapatkan dari hasil menghitung lebar rata-rata tiap kapal pada kelompok kapal, sedangkan pada IWRAP lebar rata-rata didapatkan secara *default*.

4.5 Forecasting Jumlah Kapal pada Tahun-Tahun Berikutnya di Selat Singapura

Berdasarkan data pertumbuhan kapal di Selat Malaka dan Singapura, didapatkan jumlah kapal yang melewati Selat Malaka dan Singapura di tiap tahunnya. Data yang digunakan adalah data mulai dari tahun 2011-2016. Berikut merupakan inputan data-data berdasarkan pertumbuhan jumlah kapal di Selat Malaka dan Singapura :

Tabel 4.8 Data untuk menentukan *Trend Line*

Tahun	Periode Waktu	<i>Ships</i>	X^2	xy
2011	1	73538	1	73538
2012	2	75477	4	150954
2013	3	77973	9	233919
2014	4	79344	16	317376
2015	5	80960	25	404800
2016	6	83740	36	502440
Σ	21	471032	91	1683027

Berdasarkan tabel diatas dapat ditentukan besaran jumlah kapal pada tahun-tahun berikutnya dengan rincian perhitungan sebagai berikut:

$$b = \frac{\sum xy - n(\text{ratarata } x)(\text{ratarata } y)}{\sum x^2 - n(\text{ratarata } x)^2}$$

Dimana :

x = *Time Period* (Periode Waktu)

y = Jumlah kapal

n = 6

Ratarata x = $\frac{\sum x}{n} = \frac{21}{6} = 3,5$

Ratarata y = $\frac{\sum y}{n} = \frac{471032}{6} = 78505,333$

b = $\frac{1683027 - 6(3,5)(78505,333)}{1683027 - 6x3,5^2} = 1966,5714$

a = ratarata y - b(ratarata x)

a = $78505,333 - 1966,5714 (3,5)$

= 71622,333

Dalam perhitungan *forecasting*, menggunakan rumus :

$$F = a + bt$$

Dimana,

F = *Forecasting*

t = Periode

b = Kemiringan garis

a = Nilai Y, pada t = 0

Contoh perhitungan pada periode 7 atau pada tahun 2017

$$t = 7$$

$$F = a + bt$$

$$F = 71622.333 + 1966,5714(7) \\ = 85388.3333$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai *forecasting* untuk periode waktu ke 7 atau pada tahun 2017, didapatkan hasil 85388. Cara yang sama digunakan untuk menghitung frekuensi pada tahun-tahun berikutnya. Berikut merupakan hasil dari *forecasting* jumlah kapal yang berlayar di Selat Singapura pada tahun-tahun berikutnya :

Tabel 4.9 *Forecasting*

Nomor	Tahun	Periode Waktu	Jumlah Kapal
1.	2011	1	73538
2.	2012	2	75477
3.	2013	3	77973
4.	2014	4	79344
5.	2015	5	80960
6.	2016	6	83740
7.	2017	7	85388.33
8.	2018	8	87354.9
9.	2019	9	89321.48
10.	2020	10	91288.05

Dari tabel diatas menunjukkan hasil *forecasting* dari jumlah kapal dan didapatkan pada pertumbuhan jumlah kapal dari pada tahun-tahun berikutnya naik sebesar 2,5%. Kenaikan jumlah kapal ini kemudian diasumsikan sebagai kenaikan jumlah kapal pada tiap *cluster* kapal dengan data yang ada pada tahun 2016. Berikut merupakan *clustering* kapal di tahun 2020.

Tabel 4.10 Clustering kapal di tahun 2020

Panjang	Tipe Kapal				
	<i>Tanker</i>	<i>Container</i>	<i>General Cargo</i>	<i>Passenger</i>	<i>Support ship</i>
0-25	-	-	-	-	41
25-50	6	-	15	12810	61
50-75	60	-	51	-	30
75-100	251	3	226	-	17
100-125	617	4	311	-	-

Lanjutan tabel 4.10 Clustering kapal di tahun 2020

125-150	426	20	338	-	-
150-175	129	30	559	-	-
175-200	586	23	1525	-	-
200-225	123	33	694	-	-
225-250	783	11	510	-	-
275-300	213	32	737	-	-
300-325	54	12	104	-	-
325-350	787	15	209	-	-
350-375	-	20	183	-	-
375-400	-	6	44	-	-

Setelah melakukan penambahan jumlah kapal pada *clustering* kapal yang kemudian diasumsikan sebagai *clustering* kapal pada tahun 2020, dilakukan perhitungan frekuensi tubrukan untuk mengetahui apakah daerah yang telah dimodelkan sebelumnya masih memiliki frekuensi yang aman atau membutuhkan mitigasi untuk mengurangi frekuensi.

Tabel 4.11 Nilai frekuensi pada tahun 2020

<i>Crossing Collision</i>	<i>Head On Collision</i>	<i>Overtaking Collision</i>
0,0199703	0,000393945	0,0139234

4.6 Analisis Konsekuensi Tubrukan Kapal

Analisis konsekuensi terhadap tubrukan kapal dilakukan dengan memodelkan tubrukan kapal pada kapal tanker yang mengakibatkan tumpahan minyak. Analisis konsekuensi menggunakan aplikasi GNOME untuk memodelkan tumpahan minyak yang terjadi. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pemodelan tumpahan minyak menggunakan GNOME antara lain :

1. Mengunduh peta lokasi terjadinya tubrukan kapal.
2. Menentukan lokasi tubrukan kapal yang terjadi dengan memasukkan koordinat lokasi terjadinya tubrukan.
3. Mengunduh informasi arus dan arah angin daerah lokasi terjadinya tubrukan. Data angin dan arus didapatkan dari GNOME *Online Oceanographic Data Server* (GOODS).
4. Memasukkan data jumlah tumpahan minyak yang terjadi berdasarkan kapal yang terdampak tubrukan kapal. Pada pemodelan tumpahan minyak, digunakan data tubrukan kapal yang telah terjadi, yaitu pada kasus:

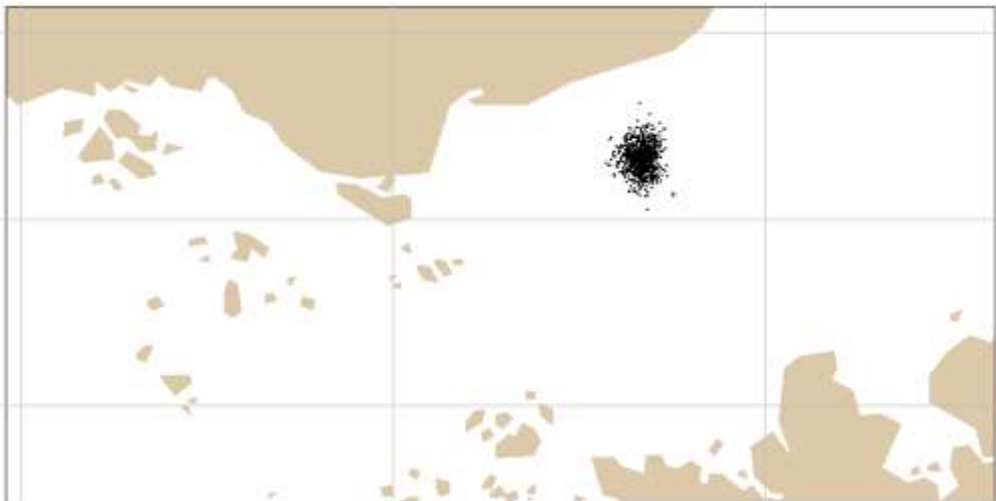
Tabel 4.12 *Sample data kapal dalam analisis konsekuensi tubrukan kapal*

Tanggal	Nama Kapal	Lintang	Bujur
2-Jul-13	ATLANTICO HERO (IMO 9291119) Bahamas, Bulk Carrier GT.38871 and ORIENTAL PIONEER (IMO 9139983) Bulk Carrier GT.36604	1° 15' 62" N	103° 57' 54" E

Sumber : *Singapore Authority (Coastal Administration)*

Tabel 4.12 menunjukkan kapal yang mengalami tubrukan dan lokasi terjadinya tubrukan, terjadi tumpahan minyak yang berasal dari *Oriental Pioneer* yaitu tumpahan *Heavy Fuel Oil* (HFO) dengan volume 100 MT.

- 5 Mensimulasikan hasil dari tubrukan kapal yang mengakibatkan tumpahan minyak dengan satuan waktu. Hasil dari simulasi menggunakan GNOME dengan berbagai rentang waktu :



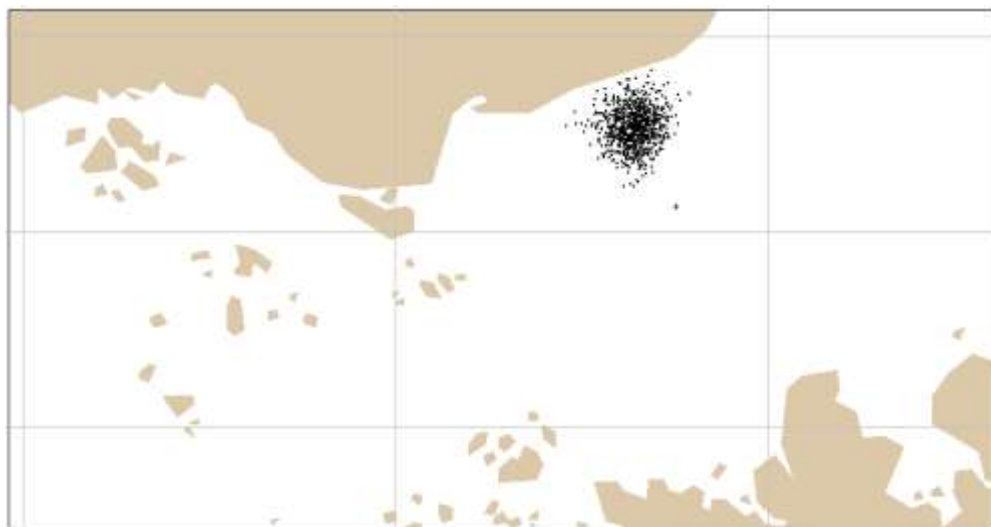
Gambar 4.11 Hasil simulasi dengan waktu 6 jam

Sumber : *Software GNOME*

Gambar 4.9 menunjukkan hasil simulasi persebaran tumpahan minyak dalam waktu 6 jam. Hasil simulasi menunjukkan adanya nilai-nilai dengan jumlah sebagai berikut :

<i>Released</i>	: 100 MT (100%)
<i>Floating</i>	: 91,7 MT (91,7%)
<i>Beached</i>	: 0 MT
<i>Evaporated dan Dispersed</i>	: 470 MT (11,3%)
<i>Off map</i>	: 0 MT

Tumpahan yang terjadi masih sebagian besar masih mengambang atau masih berada didaerah perairan sedangkan sebagian kecil tumpahan menguap karena suhu disekitar perairan dan tersebar karena adanya ombak. Sedangkan tumpahan minyak belum ada yang mencapai daerah pantai atau daratan.

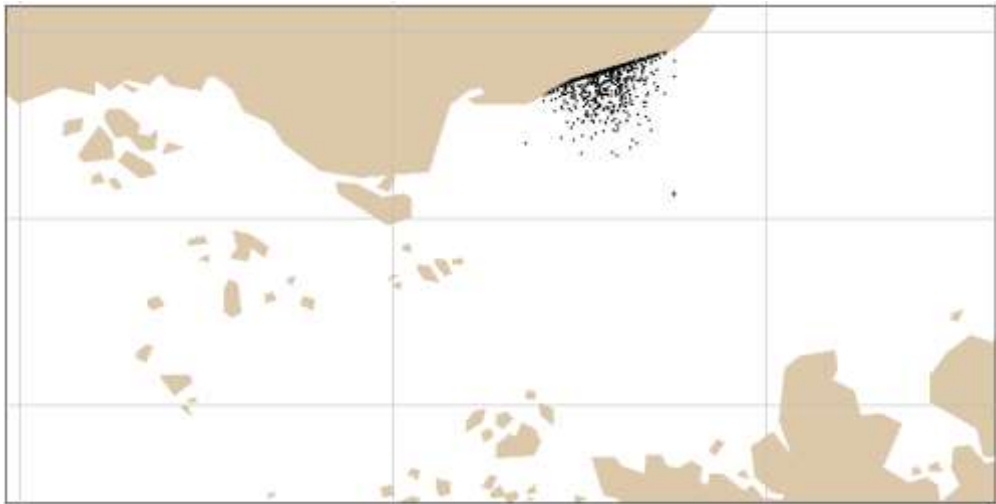


Gambar 4.12 Hasil simulasi dengan waktu 12 jam
Sumber : *Software GNOME*

Gambar 4.12 menunjukkan hasil simulasi persebaran tumpahan minyak dalam waktu 12 jam. Hasil simulasi menunjukkan adanya nilai-nilai dengan jumlah sebagai berikut :

<i>Released</i>	: 100 MT (100%)
<i>Floating</i>	: 84,7 MT (84,7%)
<i>Beached</i>	: 0 MT
<i>Evaporated and Dispersed</i>	: 15,3 MT (15,3%)
<i>Off map</i>	: 0 MT

Tumpahan yang terjadi masih sebagian besar masih mengambang atau masih berada didaerah perairan sedangkan sebagian kecil tumpahan menguap karena suhu disekitar perairan dan tersebar karena adanya ombak. Sedangkan tumpahan minyak belum ada yang mencapai daerah pantai atau daratan.



Gambar 4.13 Hasil simulasi dengan waktu 24 jam
Sumber : *Software GNOME*

Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi persebaran tumpahan minyak dalam waktu 24 jam. Hasil simulasi menunjukkan adanya nilai-nilai dengan jumlah sebagai berikut :

<i>Released</i>	: 100 MT (100%)
<i>Floating</i>	: 44,3 MT (44,3%)
<i>Beached</i>	: 29,2 MT (29,2%)
<i>Evaporated and Dispersed</i>	: 26,5 MT (26,5%)
<i>Off map</i>	: 0 MT

Tumpahan yang terjadi masih sebagian besar masih mengambang atau masih berada didaerah perairan dan sebagian besar tumpahan menguap karena suhu disekitar perairan dan lama waktu terjadinya tumpahan serta tersebar karena adanya ombak. Sedangkan sebagian kecil tumpahan minyak telah mencapai daerah pantai atau daratan. Dari hasil pemodelan tumpahan minyak didapatkan minyak yang tumpah mencemari wilayah perairan serta telah mencapai daerah pantai. Hal ini menyebabkan perlu adanya mitigasi terhadap kasus tumpahan minyak yang ada.

4.7 Mitigasi

Menurut Undang-Undang no. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Pada penilaian resiko, mitigasi merupakan upaya untuk menurunkan nilai frekuensi dan/atau nilai konsekuensi dari suatu kejadian.

Nilai frekuensi yang harus dilakukan mitigasi adalah ketika nilai frekuensi melebihi nilai 1. Nilai konsekuensi yang dalam tugas akhir ini yaitu tumpahan minyak, dimana tumpahan minyak berapapun besarnya haruslah dilakukan langkah untuk menghilangkan tumpahan minyak di perairan.

4.7.1 Langkah Membersihkan Tumpahan Minyak

Pada proses analisis konsekuensi terhadap tumpahan minyak, berapapun jumlah tumpahan minyak, haruslah dilakukan langkah mitigasi untuk menghilangkan tumpahan minyak. Adapun langkah yang digunakan untuk menghilangkan tumpahan minyak antara lain:

1. Menggunakan *Oil Boom*

Penyisihan minyak secara mekanis melalui dua tahap yaitu melokalisir tumpahan dengan menggunakan *booms* dan melakukan pemindahan minyak ke dalam wadah dengan menggunakan peralatan mekanis yang disebut *skimmer*. Upaya ini terhitung sulit dan mahal meskipun disebut sebagai pemecahan ideal terutama untuk mereduksi minyak pada area sensitif, seperti pantai dan daerah yang sulit dibersihkan dan pada jam-jam awal tumpahan. Keberadaan angin, arus dan gelombang mengakibatkan cara ini menemui banyak kendala.

2. *Oil dispersant*

Oil dispersant merupakan teknik penanggulangan tumpahan minyak dengan bahan kimia dimana bahan kimia ini mengubah minyak menjadi fraksi yang lebih kecil sehingga butiran minyak yang terurai akan tenggelam ke dasar laut. zat kimia yang digunakan untuk *dispersant* adalah surfaktan. salah satu syarat penggunaan *oil dispersant* adalah tidak adanya terumbu karang yang hidup didasar laut, karena bila *oil dispersant* mencemari terumbu karang maka akan dapat menghambat pertumbuhan terumbu karang, bahkan dapat membunuhnya. termasuk biota laut yang hidup di sekitar terumbu karang.

4.7.2 Perkiraan Kerugian Ekonomi Tumpahan Minyak yang Terjadi

Pada Proses analisis konsekuensi tumpahan minyak, dilakukan perhitungan perkiraan kerugian ekonomi. Kerugian ekonomi yang dihitung berdasarkan data yang dimiliki yaitu volume tumpahan minyak. Keterbatasan data menyebabkan pemodelan hanya akan didasarkan oleh volume sehingga menggunakan persamaan yang dibuat oleh Liu & Writz. Adapun persamaan yang digunakan adalah

$$Ln (TC) = 0,4667 Ln (t) + 13,894$$

Dimana, *TC* merupakan total biaya dalam juta euro dan *t* merupakan besaran tumpahan minyak dalam ton yang masuk ke lingkungan laut. Besaran tumpahan minyak yaitu 90,7185 ton. Maka, hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

$$\ln (TC) = 0,4667 \ln (t) + 13,894$$

$$\ln (TC) = 0,4667 \ln (90,7185) + 13,894$$

$$\ln (TC) = 0,4667 \ln (t) + 13,894$$

$$\ln (TC) = 18,40176$$

$$TC = 8,866,366 \text{ euro}$$

Dengan asumsi nilai 1 euro = Rp. 16.798,00 berdasarkan informasi kurs yang didapat dari website <https://www.bloomberg.com/quote/EURIDR:CUR> . Maka nilai kerugian akibat tumpahan minyak pada model yang dianalisis sebelumnya adalah Rp. 148.937.216.068

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan mengenai frekuensi tubrukan kapal di Selat Singapura dengan 3 skenario yaitu *crossing collision*, *head on collision*, dan *overtaking collision*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil analisis perhitungan frekuensi tubrukan di Selat Singapura pada 3 skenario tubrukan, *crossing collision*, *head on collision* dan *overtaking collision* dengan menggunakan metode IWRAP didapatkan hasil yaitu 0,0163894, 0,000323316, dan 0,0114227. Dari hasil perhitungan manual untuk memvalidasi hasil dari perhitungan *software* didapatkan hasil validasi sebesar 91,62% untuk skenario *crossing collision*, 98,2% untuk skenario *head on collision*, dan 98,8% untuk skenario *overtaking collision*. Terdapat perbedaan hasil perhitungan pada ketiga skenario tubrukan kapal karena terjadi perbedaan nilai parameter seperti panjang rata-rata dan lebar rata-rata pada IWRAP ditentukan secara *default*.
2. Hasil prediksi frekuensi tubrukan kapal pada tahun 2020 didapatkan nilai frekuensi *crossing collision*, *head on collision* dan *overtaking collision* berturut-turut sebagai berikut 0,0199703, 0,000393945, 0,0139234. Dapat disimpulkan bahwa resiko terjadinya tubrukan kapal dapat diterima karena frekuensi tubrukan dari ketiga skenario ini kurang dari satu kejadian dalam satu tahun.
3. Berdasarkan hasil dari analisis perhitungan, didapatkan bahwa resiko terjadinya tubrukan kapal masih dapat diterima karena menghasilkan nilai frekuensi kurang dari 1 kejadian dalam waktu 1 tahun. Dapat disimpulkan pada lokasi yang dianalisis masih dapat dinyatakan aman atau tidak berisiko terjadi kecelakaan kapal.
4. Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan aplikasi GNOME, tumpahan minyak yang berasal dari *sampling* tubrukan kapal. Tumpahan minyak yang terjadi adalah sebesar 100MT. Setelah 24 jam terjadinya tubrukan, hasil pemodelan tumpahan minyak yang terjadi adalah jumlah minyak yang terapung sebesar 44,3 MT, yang mencapai pantai sebesar 29,2 MT, dan yang terevaporasi dan terdispersi sebesar 26,5 MT

5.2 Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam menghitung frekuensi tubrukan kapal dengan skenario *crossing collision*, *head on collision*, dan *overtaking collision* serta konsekuensi terhadap tumpahan minyak, terdapat beberapa saran untuk melakukan penelitian sejenis yaitu:

1. Data yang digunakan dalam analisis frekuensi tubrukan kapal hanya menggunakan data dinamis pada tahun 2015. Disarankan melakukan penelitian serupa dengan menggunakan data dinamis untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan sesuai kondisi yang ada di area yang dianalisis.

2. Penggunaan *software* pada penelitian kali ini yaitu IWRAP dan GNOME harus lebih dipelajari lagi karena masih banyak nilai yang diasumsi sehingga pemodelan dilakukan dengan tidak maksimal.
3. Analisis konsekuensi tubrukan kapal terhadap tumpahan minyak masih belum terlaksana dengan baik. Diperlukan validasi terhadap *software* untuk mengurangi *error* yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Friis Hansen, P., 2007. *Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies*, s.l.: Technical Univeristy of Denmark.
- Fujii, Y. 1983. *Integrated Study on Marine Traffic Accidents*. IABSE Colloquium on Ship Collision with Bridges and Offshore Structures, Copenhagen, Vol. 42, pp. 91-98.
- Fujii, Y., Yamanouchi, H. & Matui, T. 1984. *Survey on Vessel Traffic Management Systems and Brief Introduction to Marine Traffic Studies*. Electronic Navigation Research Institute Papers No. 45
- Hanninen, Maria. Kujala, Pentti. 2012. *Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model*. Reliability Engineering and System Safety. Vol 102. 27-40
- Jurnal of Probabilistic Quantification of Ship Collision Risk Considering Trajectory Uncertainties, IFAC 2016*
- Kristiansen, Svein. 2005. *Maritime Transportation Safety Management and Risk Analysis*. Elsevier Butterworth Heinemann. London
- Liu, X. & Wirtz, K. W. 2009. The Economy of Oil Spills: Direct and Indirect Costs as A Function of Spill Size, *Journal of Hazardous Materials* 171, 471-477.
- Maulidiyah, Mukhtasor. *Perhitungan Skala Biaya Kerugian akibat Tumpahan Minyak: Relevansinya untuk Perairan Indonesia*. Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan 2009, 119-128.
- National Oceanic and Atmospheric Administration*. 2002. *GNOME User's Manuals*. U.S.A.
- Qu Xiaobo, Meng Qiang. *Development and Applications of a Simulation Model for Vessels in the Singapore Straits*. Singapore : National University of Singapore.
- Ravn. Erik Sonne. 2010. *IWRAP Mk. II Creating Model*. Danish Maritime Safety Administration. Denmark
- Setiawan. Adi. 2015. *Pengantar Teori Probabilitas*. Salatiga: Tisara Grafika
- Sulistiyono. 2013. Dampak Tumpahan Minyak (Oil Spill) di Perairan Laut pada Kegiatan Industri Migas dan Metode Penanggungannya. *Forum Teknologi* Vol. 03 No. 1 Tahun 2013, 49-57.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

a. Perhitungan frekuensi tubrukan skenario *Head On Collision*

	Sample kapal (i)	Sample kapal (j)
Panjang Kapal (L)	112 m	190 m
Lebar Kapal (B)	18,4 m	30,9 m
Jumlah Kapal (Q)	559	1382
Kecepatan kapal (V)	3,369 m/s	4,038 m/s
Panjang Lintasan (L_w)	4469 m	
Mean (μ)	600	600
Standar Deviasi (σ)	200	200

Untuk menghitung kecepatan relatif digunakan persamaan :

$$\begin{aligned} V_{ij} &= V_i + V_j \\ V_{ij} &= 3,369 \text{ m/s} + 4,038 \text{ m/s} \\ V_{ij} &= 7,408 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Untuk menghitung lebar rata-rata digunakan persamaan :

$$\begin{aligned} B_{ij} &= \left(\frac{B_i + B_j}{2} \right) \text{ untuk menghitung lebar rata-rata} \\ B_{ij} &= \left(\frac{18,4 + 30,9}{2} \right) \\ B_{ij} &= 24,64 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung nilai *mean* :

$$\begin{aligned} \mu_{ij} &= \mu_i + \mu_j \\ \mu_{ij} &= 600 + 600 \\ \mu_{ij} &= 1200 \end{aligned}$$

Menghitung nilai standar deviasi

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2} \\ \sigma_{ij} &= \sqrt{(200)^2 + (200)^2} \\ \sigma_{ij} &= 282,843 \end{aligned}$$

Menghitung nilai *collision probability* (P_G) dengan distribusi normal :

$$\begin{aligned} P_G &= \Phi \left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) - \Phi \left(- \frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \\ P_G &= \Phi \left(\frac{24,64 - 1200}{282,843} \right) - \Phi \left(- \frac{24,64 + 1200}{282,843} \right) \\ P_G &= 0.00001 \end{aligned}$$

menghitung nilai dari *geometric number*,

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

$$N_G^{\text{head-on}} = 4469 \times 0,00001 \times \frac{7,408}{3,369+4,0383} \times (559 \times 1382)$$

$$N_G^{\text{head-on}} = 0,000529537$$

Menghitung frekuensi tubrukan skenario *head-on* dengan nilai $P_c = 0,00005$

$$\lambda = P_c \times N_G$$

$$\lambda = 0,00005 \times 0,000529537$$

$$\lambda = 2,64769 \times 10^{-8}$$

Skenario Tubrukan	Manual	IWRAP	Persentase
<i>Head On</i>	0.0000034	0.0000033685	98.2%

b. Perhitungan frekuensi tubrukan skenario *Overtaking Collision*

	Sample kapal (i)	Sample kapal (j)
Panjang Kapal (L)	295 m	237 m
Lebar Kapal (B)	40,9 m	32,1 m
Jumlah Kapal (Q)	29	10
Kecepatan kapal (V)	5,86467 m/s	5,81322 m/s
Panjang Lintasan (L_w)	4469 m	
<i>Mean</i> (μ)	600	600
Standar Deviasi (σ)	200	200

Menghitung kecepatan relatif digunakan persamaan :

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

$$V_{ij} = 5,86467 \text{ m/s} - 5,81322 \text{ m/s}$$

$$V_{ij} = 0,0514444 \text{ m/s}$$

Menghitung lebar rata-rata digunakan persamaan :

$$B_{ij} = \left(\frac{B_i + B_j}{2} \right) \text{ untuk menghitung lebar rata-rata}$$

$$B_{ij} = \left(\frac{40,9 + 32,1}{2} \right)$$

$$B_{ij} = 36,51552 \text{ m}$$

Menghitung nilai *mean* dengan persamaan

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

$$\mu_{ij} = 600 - 600$$

$$\mu_{ij} = 0$$

Menghitung nilai standar deviasi digunakan persamaan :

$$\begin{aligned}\sigma_{ij} &= \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2} \\ \sigma_{ij} &= \sqrt{(200)^2 + (200)^2} \\ \sigma_{ij} &= 282,843\end{aligned}$$

Menghitung nilai *collision probability* (P_G) dengan distribusi normal menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}P_g &= \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \\ P_g &= \Phi\left(\frac{36,51552 - 0}{282,843}\right) - \Phi\left(-\frac{36,51552 + 0}{282,843}\right)\end{aligned}$$

$$P_G = 0,10272$$

Menghitung nilai dari *geometric number* dengan persamaan :

$$\begin{aligned}N_{G \text{ overtaking}} &= L_w \sum_{i,j} P_{G_{i,j}}^{\text{head-on}} \frac{V_{ij}}{v_i v_j} (Q_i Q_j) \\ N_{G \text{ overtaking}} &= 4469 \times 0,10272 \times \frac{0,05144}{5,86467 - 5,81322} \times (29 \times 10) \\ N_{G \text{ overtaking}} &= 6,458 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

Menghitung frekuensi tubrukan skenario *overtaking* dengan nilai $P_c = 0,00011$ digunakan persamaan,

$$\begin{aligned}\lambda &= P_c \times N_G \\ \lambda &= 0,00011 \times 6,458 \times 10^{-6} \\ \lambda &= 7 \times 10^{-7}\end{aligned}$$

	Manual	IWRAP	
<i>Overtaking</i>	0,004187	0.004138	98,8%

c. Perhitungan Frekuensi Tubrukan Skenario *Crossing Collision*

	Sample kapal (i)	Sample kapal (j)
Panjang Kapal (L)	34 m	112,49 m
Lebar Kapal (B)	7,22 m	18,377 m
Jumlah Kapal (Q)	11605	559
Kecepatan Kapal (V)	8,642 m/s	3,369 m/s
Sudut Lintasan (θ)	128°	

Menghitung kecepatan relatif digunakan persamaan :

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

$$V_{ij} = \sqrt{(8,642)^2 + (3,369)^2 - 2 \cdot (8,642) \cdot (3,369) \cdot (-0,615)}$$

$$V_{ij} = 11,0412 \text{ m/s}$$

Menghitung nilai dari *collision diameter* (D_{ij}) digunakan persamaan :

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

$$D_{ij} = \frac{(34) \cdot (8,642) + (112,49) \cdot (3,369)}{(11,0412)} \cdot 0,788 + (18,377) \left\{ 1 - \left(0,788 \cdot \frac{8,642}{11,0412} \right)^2 \right\} + 7,22 \left\{ 1 - \left(0,788 \cdot \frac{3,369}{11,0412} \right)^2 \right\}$$

$$D_{ij} = 99,04200974 \text{ meter}$$

Menghitung nilai *geometric number* pada skenario *crossing collision* yaitu :

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

$$N_G^{crossing} = \frac{11605 \times 559}{8,642 \times 3,369} \times 99,04200974 \times 11,0412 \times \frac{1}{0,788}$$

$$N_G = 9,938454687$$

5. Menghitung frekuensi tubrukan dengan melakukan perkalian *geometric number* dan dengan *causation probability* (P_c). Nilai P_c yang didapatkan dari IWRAP sebesar 0,00013. Berikut merupakan hasil perhitungan frekuensi tubrukan :

$$\lambda = N_G \times P_c$$

$$= 9,938454687 \times 0,00013$$

$$= 0,001291999$$

Skenario Tubrukan	Manual	IWRAP	Persentase
<i>Crossing Collision</i>	0.03149300	0.0288547	91,62%

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Kemas Arie Setiawan, merupakan anak ke 3 dari 3 bersaudara. Lahir pada 1 Januari 1997 di Palembang, Sumatera Selatan. Penulis telah menempuh jenjang pendidikan formal dasar di SD YSP Pusri Kota Palembang pada tahun 2003-2009, kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan menengah pertama di SMP YSP Pusri Kota Palembang, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di jenjang pendidikan tingkat atas di SMA Plus Negeri 17 Palembang pada tahun 2011-2014 dan melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengikuti dua kali kegiatan kerja praktek di dua perusahaan yaitu PT. Lamongan Marine Industry di Lamongan dan PT. Gunanusa Utama Fabricator Serang, Banten. Di bidang non-akademik, penulis ikut tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) selama 2 periode yaitu 2014-2015 dan 2015-2016. Selain itu penulis juga aktif di berbagai kegiatan kepanitiaan, diantaranya menjadi ketua kegiatan Marine Icon 2017 yang diselenggarakan oleh HIMASISKAL. Penulis dapat dihubungi melalui kemasariesetiawan@yahoo.co.id