



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI – ME141501

**ANALISIS FREKUENSI TUBRUKAN KAPAL DAN PEMODELAN
PERSEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI ALUR PELAYARAN
PELABUHAN DUMAI**

Rio Dwi Sakti Wijaya
NRP 0421144000016

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Dhimas Widhi H., S.T, M.Sc

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR - ME141501

**ANALISIS FREKUENSI TUBRUKAN KAPAL DAN PEMODELAN
PERSEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI ALUR PELAYARAN
PELABUHAN DUMAI**

Rio Dwi Sakti Wijaya
NRP. 0421144000016

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Dhimas Widhi H., S.T, M.Sc

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR - ME141501

**FREQUENCY ANALYSIS OF SHIPS COLLISION AND MODELLING
OF OIL SPILL POLLUTANT DISPERSION IN THE DUMAI PORT
ACCESS CHANNEL**

Rio Dwi Sakti Wijaya
NRP. 0421144000016

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Dhimas Widhi H., S.T., M.Sc

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS FREKUENSI TUBRUKAN KAPAL DAN PEMODELAN
PERSEBARAN TUMPAHAN MINYAK
DI ALUR PELAYARAN PELABUHAN DUMAI
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 :
Rio Dwi Sakti Wijaya
NRP. 0421144000016

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr.Eng.Dhimas Widhi H, S.T, M.Sc.

()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS FREKUENSI TUBRUKAN KAPAL DAN PEMODELAN
PERSEBARAN TUMPAHAN MINYAK
DI ALUR PELAYARAN PELABUHAN DUMAI**

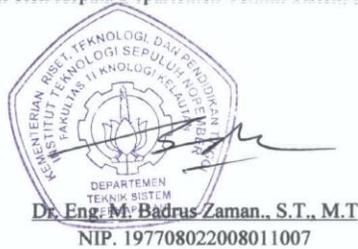
TUGAS AKHIR

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 :

Rio Dwi Sakti Wijaya
NRP. 0421144000016

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :


Dr. Eng. M. Badrus Zaman., S.T., M.T
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal dan Pemodelan Persebaran Tumpahan Minyak di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai

Nama Mahasiswa : Rio Dwi Sakti Wijaya

NRP : 0421144000016

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS

Dosen Pembimbing 1: Dr.Eng.Dhimas Widhi H, S.T, M.Sc

Abstrak

Pelabuhan Dumai merupakan salah satu Pelabuhan utama di Provinsi Riau. Dari tahun ke tahun jumlah kapal yang ada di Pelabuhan Dumai terus mengalami kenaikan. Di Dumai terdapat kilang minyak milik Pertamina dimana memasok 23 % kebutuhan minyak nasional sehingga banyak kapal tanker yang berada disana. Adanya kilang minyak milik Pertamina dan tingginya aktivitas kapal di Pelabuhan Dumai menyebabkan potensi tubrukan yang terjadi pada kapal tanker cukup besar. Tubrukan yang terjadi pada kapal tanker dapat menyebabkan tumpahan minyak di laut. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis frekuensi tubrukan kapal dan pemodelan persebaran tumpahan minyak. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal dilakukan dengan menggunakan *Software* IWRAP yang divalidasi dengan perhitungan manual berdasarkan *IWRAP Theory*. IWRAP merupakan perangkat permodelan yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko khususnya tubrukan dan grounding. Hasil dari frekuensi akan tergantung dari jenis kapal yang ada meliputi panjang, lebar dan jumlah dimana metode yang digunakan didasarkan oleh formula yang dirumuskan oleh Fujii. Hasil perhitungan frekuensi yang dilakukan dengan *Software* IWRAP untuk skenario *crossing collision*, *head-on collision*, dan *Overtaking Collision* dengan nilai berturut-turut sebesar 0,014646302, 0,42579188, dan 0,105138. Berdasarkan hasil analisis frekuensi tubrukan kapal, didapatkan hasil *error validasi* dari *crossing collision*, *head-on collision*, dan *overtaking collision* dengan nilai berturut-turut sebesar 1,24 %, 1,81 %, dan 1,51%. Selain itu dilakukan analisis konsekuensi berupa pemodelan persebaran tumpahan minyak dengan menggunakan *Software* GNOME. Dalam simulasi yang dilakukan didapatkan bahwa pada kecepatan angin konstan 7 m/s sebanyak 3 m³ minyak akan mencapai pantai dan 1.653 m³ minyak akan terapung di perairan sedangkan pada simulasi dengan kecepatan angin beragam sebanyak 30 m³ minyak akan mencapai pantai dan 1.615 m³ minyak akan terapung di perairan. Besarannya total biaya penanggulangan adalah sebesar 646 milyar rupiah. Dari hasil tugas akhir yang dilakukan dapat menjadi pertimbangan pemilihan langkah mitigasi yang tepat bila terjadi tumpahan minyak di daerah tersebut.

Kata kunci : Tubrukan kapal, konsekuensi tubrukan kapal, *head-on collision*, *crossing collision*, *Overtaking Collision*, *IWRAP Theory*, tumpahan minyak, GNOME

ABSTRACT

Frequency Analysis of Ship Collision and Modelling of Oil Spill Pollutant Dispersion in the Dumai Port Access Channel

Nama Mahasiswa : Rio Dwi Sakti Wijaya

NRP : 0421144000016

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS

Dosen Pembimbing 1: Dr.Eng.Dhimas Widhi H, S.T, M.Sc

Abstract

Dumai Port is one of the major ports in Riau Province. From year to year, the number of vessels in Dumai port continues to increase. In Dumai there is a Pertamina oil refinery where it supplies 23% of the national oil needs so it makes many tankers in there. The existence of Pertamina oil refinery and the activity ships in Dumai port impact potential collision that occurred on the tanker is big enough. The collision occurring on a tanker can cause oil spills in the sea. In this final project will be analyzed the frequency and modelling of oil spill dispersion. The analysis of the ship's collision frequency is done by using IWRAP Software which is validated by manual calculation based on IWRAP Theory. IWRAP is a modelling device used to perform risk assessments, especially collisions and grounding. The results of the frequency will depend on the type of vessel that exists including the length, width and amount of which the method used is based on the formula formulated by Fujii. The results of calculations performed with IWRAP Software for crossing collision scenario, head-on collision, and overtaking collision are 0.014646302, 0.42579188 and 0.105138. Based on the result of ship collision analysis, the result of validation error from crossing collision, head-on collision, and overtaking collision is 1.24%, 1.81% and 1.51%. In addition, analysis of consequences is done by modelling dispersion of oil spill using GNOME software. In the simulation it was found that at constant wind speed 7 m/s , 3 m³ the oil will reach the coast and 1,653 m³ of oil will float in the waters while in simulation with wind speed varies as much as 30 m³ oil will reach the beach and 1,615 m³ of oil will float in waters. The total cost of the oil spill fund is 646 billion rupiahs. From the results of the research can be a consideration for the selection of appropriate mitigation measures when the oil spill occurs in the area.

Keyword: Ship Collision, Consequence of ship collision, head-on collision, crossing collision, overtaking collision, IWRAP Theory, Oil Spill, GNOME

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena atas segala limpahan rahmat, taufik serta hidayah-Nya maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal dan Pemodelan Persebaran Tumpahan Minyak di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai”**. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan dan motivasi dari berbagai pihak dari awal pengerjaan hingga akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Maka dari itu , dengan setulus hati penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya yaitu Sodo Wibowo dan Rusmiati yang selalu memberikan doa , perhatian, motivasi, materi dan kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini
2. Riska Puspitasari, Yudhitia Eka Prasetya,dan Ergino Arkhan Junior yang merupakan keluarga dari penulis dimana telah mendukung sebagai penghibur dan selalu memberikan motivasi kepada penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Saudara sepupu, keponakan, dan semua keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis selama ini.
4. Dr.Eng.Dhimas Widhi H, S.T, M.Sc selaku dosen pembimbing 1 , atas bimbingan, pengarahan, dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan tugas akhir Tugas Akhir ini.
5. A.A.Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D selaku Kepala Lab RAMS.
6. Prof. Dr. I Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. selaku dosen RAMS yang telah memberikan banyak nasihat, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Dr. Eng. M Badruz Zaman,S.T.,M.T selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan
8. Ir. Agoes Santoso selaku dosen wali. atas segala motivasi dan bantuan yang telah diberikan selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ini.
9. Member Laboratorium RAMS yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
10. Teman-teman Mercusuar'14 yang selalu memberi semangat dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir.
11. Perhimpunan Mahasiswa Tulungagung ITS, yang membantu dalam memberikan arahan-arahan mengenai ruang lingkup kampus.
12. Wakidut Family yang selalu memberikan support dan menemani selama perkuliahan di Surabaya
13. Jambret Family yang selalu memberikan support dan menemani selama perkuliahan di Surabaya
14. Scientwist yang selalu memberikan support dan menemani selama perkuliahan di Surabaya

15. Kepada rekan – rekan dan serta semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu yang telah bersedia menemani saya untuk berdiskusi dan bertukar ide, gagasan dan pemikiran selama pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat kepada para pembaca , bangsa dan negara.

Surabaya, 6 Juli 2018

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penulisan.....	3
1.5 Manfaat Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pelabuhan Dumai.....	5
2.2 Tubrukan Kapal.....	7
2.3 Metode Perhitungan Frekuensi Tubrukan.....	8
2.3.1 Samson Model.....	8
2.3.2 Crash Model.....	9
2.3.3 Iwrap Model.....	9
2.3.4 Metode Perhitungan Manual.....	10
2.4 Minyak Bumi dan Tumpahan Minyak.....	13
2.5 Penanggulangan Bencana Tumpahan Minyak.....	15
2.6 Karakteristik Kecelakaan Kapal.....	18
2.7 Metode Perhitungan Tumpahan Minyak.....	19
2.8 <i>Software</i> untuk Pemodelan Persebaran Minyak.....	20
2.9 Perhitungan Biaya Tumpahan Minyak.....	24
BAB III METODOLOGI TUGAS AKHIR.....	27

3.1.	Perumusan Masalah.....	28
3.2.	Studi Literatur.....	28
3.3.	Pengumpulan Data.....	28
3.4.	Analisis Skenario Tubrukan Kapal.....	29
3.4.1	Analisis Perhitungan Frekuensi dengan <i>Software</i> IWRAP.....	29
3.4.2	Perhitungan Manual.....	32
3.5.	Analisis Konsekuensi	32
3.6.	Kesimpulan dan Saran	33
BAB IV	ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Pengolahan Data.....	35
4.2	Pembuatan <i>Leg</i>	36
4.3	Perhitungan Frekuensi Kapal pada IWRAP	37
4.4	Validasi Perhitungan.....	43
4.4.1	Perhitungan Manual skenario <i>Head-on Collision</i>	44
4.4.2	Perhitungan skenario <i>Overtaking Collision</i>	46
4.4.3	Perhitungan skenario <i>Crossing Collision</i>	48
4.5	Analisis Konsekuensi	51
4.5.1	Pemodelan Tumpahan Minyak Menggunakan <i>Software</i> GNOME ..	51
4.5.2	Analisis Hasil Pemodelan Persebaran Tumpahan Minyak	53
4.5.3	Dasar Hukum Kasus Tumpahan Minyak.....	57
4.5.4	Analisis Biaya Kasus Tumpahan Minyak.....	59
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pelabuhan Dumai	1
Gambar 1. 2 Kunjungan Kapal Tanker ke Pelabuhan Dumai	2
Gambar 2. 1 Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai	5
Gambar 2. 2 Pelabuhan Dumai	6
Gambar 2. 3 Grafik Kapal yang Masuk Pelabuhan Dumai	7
Gambar 2. 4 <i>Crossing Collision</i>	7
Gambar 2. 5 <i>Overtaking Collision</i>	8
Gambar 2. 6 <i>Head-on Collision</i>	8
Gambar 2. 7 Ilustrasi dari terbentuknya <i>Diameter Collision, D_{ij}</i>	13
Gambar 2. 8 Ilustrasi jalur kapal yang bersinggungan dan membentuk sudut θ	13
Gambar 2. 9 Tumpahan Minyak di Laut (Office of Response	15
Gambar 2. 10 Penggunaan <i>Booms</i> untuk Membatasi Tumpahan Minyak	16
Gambar 2. 11 <i>In-situ Burning</i> pada Tumpahan Minyak di Laut	17
Gambar 2. 12 Proses Penanggulangan dengan <i>Dispersan</i>	18
Gambar 2. 13 Ilustrasi Metode Lagrangian	19
Gambar 2. 14 Ilustrasi Metode Eularian	20
Gambar 2. 15 Proses dari tumpahan minyak	20
Gambar 2. 16 Simulasi <i>Software PISCES II</i>	23
Gambar 2. 17 Tampilan pada <i>Software GNOME</i>	24
Gambar 3. 1 <i>Leg</i> yang digunakan untuk simulasi	29
Gambar 3. 2 Data <i>cluster</i> kapal yang akan diinput ke <i>Software IWRAP</i>	30
Gambar 3. 3 Tampilan <i>menu General</i> pada <i>Software IWRAP</i>	30
Gambar 3. 4 Tampilan <i>menu Distribution</i> pada <i>Software IWRAP</i>	31
Gambar 3. 5 Tampilan <i>menu causation factor</i> pada <i>Software IWRAP</i>	31
Gambar 3. 6. Tampilan <i>Leg Editor</i> menu <i>Traffic</i> pada <i>IWRAP</i>	32

Gambar 4. 1 Pengelompokan jenis kapal yang dilakukan.....	35
Gambar 4. 2 <i>Density Plot</i> pada website <i>Marine Traffic</i>	36
Gambar 4. 3. Model <i>Leg</i> yang digunakan untuk analisis frekuensi.....	37
Gambar 4. 4 Toolbar untuk membuat <i>Leg</i>	38
Gambar 4. 5 <i>Leg</i> yang dibuat untuk menghitung besarnya frekuensi tubrukan	38
Gambar 4. 6 <i>Leg Editor</i> bagian <i>menu General</i>	39
Gambar 4. 7 <i>Leg Editor</i> bagian menu <i>Distribution</i>	39
Gambar 4. 8 Proses pemasukan data <i>cluster</i> kapal yang dilakukan	40
Gambar 4. 9 Proses pemasukan data <i>cluster</i> kecepatan kapal.....	41
Gambar 4. 10 Pilihan <i>Action</i> pada <i>Menu Bar</i>	41
Gambar 4. 11 Hasil Perhitungan Frekuensi Tubrukan dengan IWRAP.....	41
Gambar 4. 12 Hasil Perhitungan <i>Head-On</i>	42
Gambar 4. 13 Hasil Perhitungan <i>Overtaking</i>	42
Gambar 4. 14 Hasil Perhitungan <i>Crossing Collision</i>	43
Gambar 4. 15 Hasil Perhitungan Total Frekuensi Tubrukan	43
Gambar 4. 16 Lintasan untuk Skenario <i>Head-on Collision</i>	44
Gambar 4. 17 Lintasan Perhitungan <i>Overtaking Collision</i>	46
Gambar 4. 18 Posisi dimana Skenario <i>Crossing Collision</i>	48
Gambar 4. 19 Posisi dimana pemodelan tumpahan minyak akan dilakukan.....	52
Gambar 4. 20 Pemilihan Peta	52
Gambar 4. 21 Persebaran Simulasi Tumpahan Minyak dengan kecepatan angin konstan ;	54
Gambar 4. 22 Perbandingan simulasi kecepatan angin konstan.....	54
Gambar 4. 23 Arah kecepatan angin	55
Gambar 4. 24 Persebaran Simulasi Tumpahan Minyak dengan kecepatan angin beragam; (a) kondisi awal, (b) setelah 6 jam, (c), setelah 12 jam, dan (d) setelah 24 jam	56
Gambar 4. 25 Perbandingan simulasi pada kecepatan angin beragam	57

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Nilai <i>Causation factor</i>	40
Tabel 4. 2 Dimensi Kapal dan Alur skenario <i>Head-on Collision</i>	44
Tabel 4. 3 Dimensi Kapal dan Alur skenario <i>Overtaking Collision</i>	46
Tabel 4. 4 Dimensi Kapal dan Alur skenario <i>Crossing Collision</i>	48
Tabel 4. 5 Hasil Validasi Skenario <i>Head-on Collision</i>	50
Tabel 4. 6 Hasil Validasi Skenario <i>Head-on Collision</i>	50
Tabel 4. 7 Hasil Validasi Skenario <i>Crossing Collision</i>	50
Tabel 4. 8 Spesifikasi Kapal dan Jenis muatan	53
Tabel 4. 9 Spesifikasi muatan tumpahan minyak.....	59

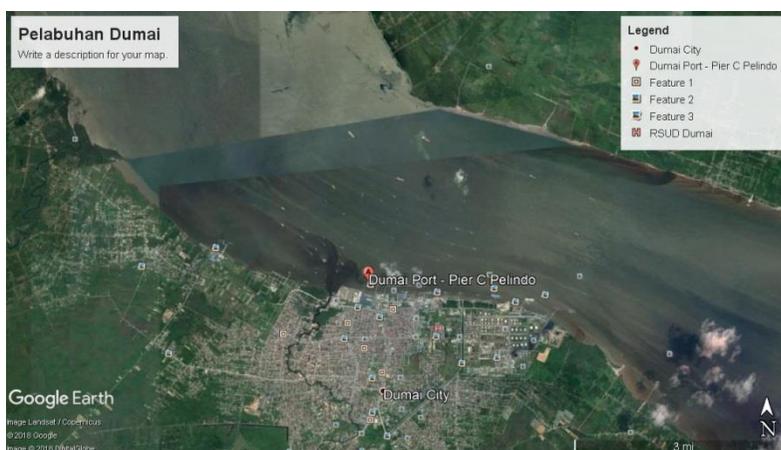
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan Dumai merupakan salah satu pelabuhan utama di Provinsi Riau. Pelabuhan Dumai mempunyai letak geografis yang menguntungkan karena merupakan pelabuhan alam yang dilindungi oleh beberapa Pulau antara lain Pulau Rupat, Pulau Payung dan Pulau Rambang sehingga mempunyai perairan yang cukup dalam dan tenang dari terpaan ombak serta iklim yang cukup menunjang sepanjang tahun. Untuk Hidrografi, sepanjang dermaga pelabuhan tidak terdapat endapan lumpur, dikarenakan pelabuhan adalah pelabuhan alam dengan kedalaman 8-12 MLWS dan untuk pasang surut pada pasang tertinggi rata-rata 28 Dm dan pasang terendah 7 Dm. Untuk arus memiliki kecepatan 3- 4 mil/jam.

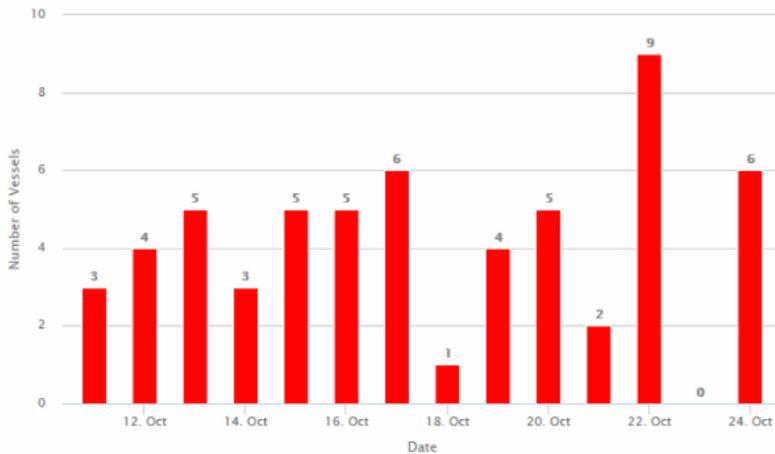


Gambar 1. 1 Pelabuhan Dumai

Sumber : *Google Earth*

Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai memiliki tingkat kepadatan kapal yang tinggi. Dengan banyaknya kapal yang beroperasi di wilayah tersebut dan berbagai aktivitas kapal seperti *anchoring*, *deadship*, dan lain sebagainya menimbulkan hambatan tersendiri bagi kapal yang akan keluar atau masuk Pelabuhan Dumai yang dapat menimbulkan terjadinya peluang tubrukan kapal. Peluang tubrukan kapal tersebut dapat terjadi ketika beberapa kapal dalam keadaan *head-on situation* (berhadapan), *crossing situation* (bersimpangan), maupun *overtaking situation* (mendahului). Di Dumai juga terdapat kilang minyak milik Pertamina yaitu kilang Pertamina RU II yang dibagi menjadi 2 kilang yaitu kilang Tujuh Putri dan kilang Sei Pakning *Refinery Unit II* merupakan unit operasi pengolahan Pertamina terbesar di Pulau Sumatera dengan memasok 23% kebutuhan minyak nasional. Dengan adanya hal tersebut maka aktivitas pengangkutan minyak pada Pelabuhan Dumai

cukup tinggi sehingga frekuensi kapal tanker yang berada pada Pelabuhan Dumai cukup banyak.



Gambar 1. 2 Kunjungan Kapal Tanker ke Pelabuhan Dumai

Sumber : Rudy Sangian, Forum Diskusi Jasa Logistik

Berbeda dengan tipe kapal lain kapal tanker mengangkut minyak sebagai muatan utama. Risiko dari tingginya lalu lintas kapal dapat menimbulkan adanya tubrukan antara kapal lain dengan kapal tanker. Tubrukan yang terjadi dapat menimbulkan konsekuensi berupa tumpahan minyak dari muatan kapal ke laut. Tumpahan minyak yang terjadi memiliki dampak yang buruk ke lingkungan, terutama saat tumpahan minyak tersebut menyebar hingga ke area konservasi dari suatu daerah. Akibatnya dapat menimbulkan kerusakan ekosistem yang ada pada area konservasi tersebut.

Maka dari itu diperlukan adanya analisis mengenai frekuensi tubrukan kapal yang terjadi dan melakukan pemodelan persebaran tumpahan minyak yang terjadi. Pada tugas akhir ini tidak akan membahas kerusakan yang ditimbulkan dari tumpahan minyak tersebut pada area konservasi ataupun area disekitar lokasi tumpahan minyak melainkan hanya pada jalur penyebaran tumpahan minyak yang terjadi. Diharapkan tugas akhir ini dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan tubrukan kapal yang terjadi serta dapat memperkirakan besarnya persebaran tumpahan minyak bila terjadi tubrukan pada kapal di laut, sehingga dapat mempertimbangkan tindakan apa yang harus dilakukan untuk menanggulangi masalah tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini memiliki perumusan masalah sebagai berikut :

- Bagaimana potensi terjadinya tubrukan pada kondisi *head-on situation*, *overtaking situation*, dan *crossing situation* di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai?
- Bagaimana pemodelan tumpahan minyak yang terjadi akibat tubrukan pada kapal tanker ?

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini diberikan batasan masalah sebagai berikut :

- Tugas akhir dilakukan pada Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai.
- Tumpahan minyak yang terjadi diasumsikan dari muatan kapal tanker.
- Data oceanografi yang dibutuhkan adalah kecepatan angin
- Kejadian kebocoran diasumsikan kejadian tunggal.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan dari proses tugas akhir ini adalah untuk menjawab pertanyaan dari perumusan masalah diatas. Berikut tujuan dari tugas akhir ini :

- Untuk menentukan frekuensi terjadinya tubrukan pada kondisi *head-on situation*, *over-taking situation*, dan *crossing situation* di Alur Pelayaran sekitar Pelabuhan Dumai.
- Untuk menentukan pemodelan tumpahan minyak yang terjadi akibat tubrukan pada kapal.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat yang diperoleh dalam penulisan tugas akhir ini antara lain:

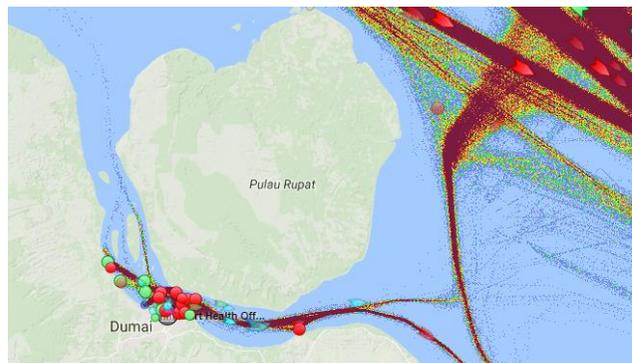
- Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai bagaimana proses tubrukan kapal terjadi.
- Menambah pengetahuan tentang industri perkapalan khususnya lalu lintas kapal yang berada pada Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai.
- Memberikan pengetahuan mengenai *Software* IWRAP sebagai perhitungan frekuensi tubrukan dan *GNOME* sebagai simulasi persebaran tumpahan minyak yang terjadi.
- Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan tanggap darurat bila terjadi tumpahan minyak akibat tubrukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

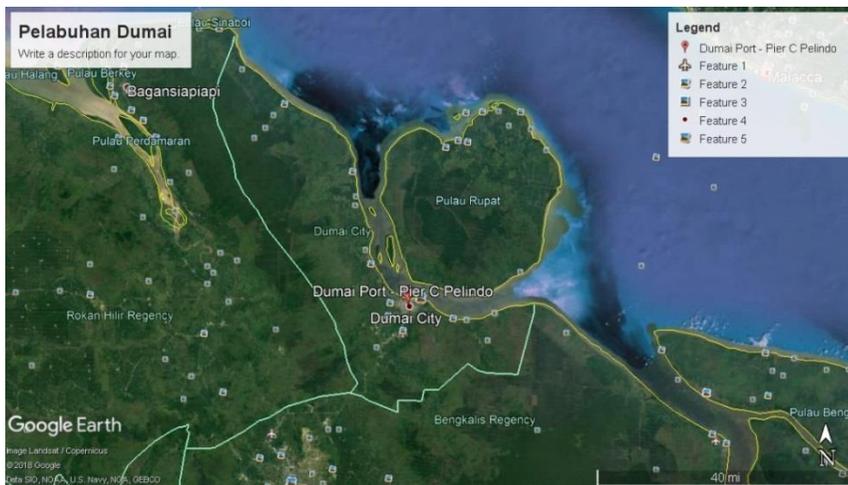
2.1 Pelabuhan Dumai

Dalam sejarahnya Pelabuhan Dumai pada mulanya merupakan tempat persinggahan para nelayan kemudian berkembang menjadi perkampungan untuk bercocok tanam. Pada masa penjajahan Jepang di Indonesia, Dumai dimanfaatkan Jepang untuk pendaratan dan tempat berdomisilinya para Romusha guna melanjutkan pencaharian sumber-sumber minyak di Riau yang sebelumnya pada tahun 1924 telah dirintis oleh Perusahaan *Chevron Corporation* dari Amerika Serikat. Setelah SOCAL (*Standard Oil Company California*) menemukan sumber-sumber minyak di Riau, konsekuensinya menuntut keberadaan fasilitas pelabuhan di Dumai untuk menunjang dalam kegiatan eksploitasi di Dumai Perusahaan melakukan ekspor perdananya pada tanggal 15 Juli 1958 dengan kapal S.S RUNNER. Dari tahun ke tahun kegiatan Pelabuhan Dumai semakin berkembang yang tadinya pelabuhan ini hanya disinggahi kapal-kapal dagang berukuran kecil. Hal tersebut terjadi setelah Pertamina membangun kilang minyak Putri Tujuh tuntutan pengembangan Pelabuhan Dumai mulai dirasakan sehingga sekarang pelabuhan ini disinggahi kapal berbagai jenis dan ukuran sampai dengan kapal raksasa super tanker.



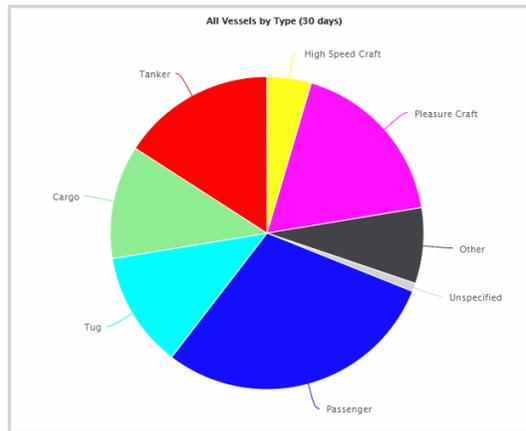
Gambar 2. 1 Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai
Sumber : *Marine Traffic*

Pelabuhan Dumai berkembang semakin pesat sehingga menjadi pelabuhan internasional khususnya untuk kegiatan ekspor CPO dan turunannya karena didukung oleh *hinterland* yang terbentang hampir ke seluruh daratan Provinsi Riau hingga ke perbatasan Provinsi Sumatera Utara, Sumatera Barat dan Jambi, tumbuh dengan perkebunan kelapa sawit, karet dan lain-lain serta industri pariwisata yang menuntut Pelabuhan Dumai menjadi gerbang utama perekonomian daerah Provinsi Riau.



Gambar 2. 2 Pelabuhan Dumai
Sumber : *Google Earth*

Pelabuhan Dumai mempunyai letak geografis yang menguntungkan karena merupakan pelabuhan alam yang dilindungi oleh beberapa Pulau antara lain Pulau Rupat , Pulau Payung dan Pulau Rampang sehingga mempunyai perairan yang cukup dalam dan tenang dari terpaan ombak serta iklim yang cukup menunjang sepanjang tahun. Hal tersebut menunjang kegiatan ekspor khususnya CPO di Pelabuhan Dumai meningkat. Dengan adanya sumber kelapa sawit yang melimpah menjadikan Pelabuhan Dumai menjadi salah satu Pelabuhan yang mengadakan ekspor terbesar di Indonesia. Di Dumai juga terdapat kilang minyak milik Pertamina sehingga kegiatan pengangkutan minyak di Pelabuhan Dumai cukup tinggi. Pada gambar 2.3 terlihat jenis kapal yang masuk ke Pelabuhan Dumai. Dari gambar terlihat jenis kapal yang sering masuk Pelabuhan Dumai dominan pada kapal penumpang, kapal cargo, kapal tugboat, kapal tanker, dan sebagian sedikit Pelabuhan Dumai disinggahi oleh *high craft speed* dan jenis kapal lain. Banyaknya kapal yang masuk di Pelabuhan Dumai mengindikasikan bahwa Pelabuhan Dumai ramai dikunjungi oleh berbagai kapal sehingga banyak aktivitas yang berlangsung disana.



Gambar 2. 3 Grafik Kapal yang Masuk Pelabuhan Dumai
Sumber : *Marine Traffic*

2.2 Tubrukan Kapal

Tubrukan kapal adalah benturan atau tumbukan antara dua buah kapal yang bergerak dan dapat menimbulkan bahaya keselamatan nyawa manusia yang ada didalam kapal (*injuries fatalities*), kerusakan lingkungan (*pollutions*), dan kerugian akibat kerusakan muatan yang diangkut kapal.

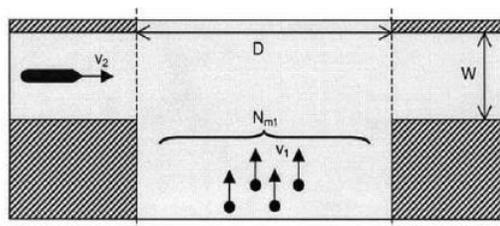
Tubrukan kapal dapat dibedakan menjadi 2 tipe :

- Tubrukan yang terjadi di sepanjang rute *segmen*, terjadi pada alur yang sama.
- Tubrukan yang terjadi saat 2 alur kapal saling membentuk *crossing*, *merging* , atau berpotongan satu sama lain.

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. Berikut merupakan jenis tubrukan yang dapat terjadi pada kapal:

a. *Crossing* (melintasi kapal lain atau bersimpangan)

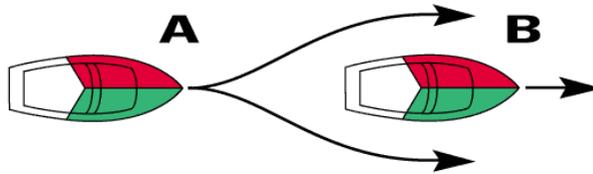
Crossing Collision merupakan tubrukan yang terjadi ketika dua atau lebih kapal bertemu pada sebuah persimpangan pada waktu yang sama.



Gambar 2. 4 *Crossing Collision*
Sumber : (Kristiansen, 2013)

b. Overtaking Collision

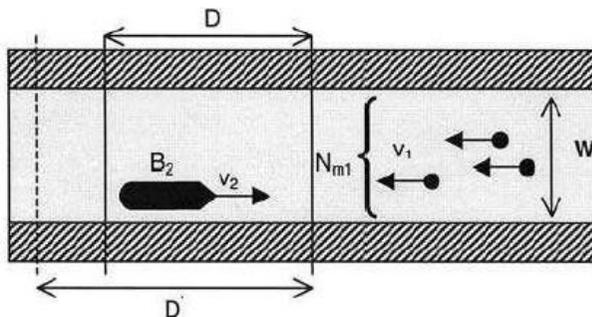
Overtaking Collisions merupakan tubrukan kapal yang terjadi dimana kapal berjalan pada arah yang sama namun dalam kecepatan berbeda.



Gambar 2. 5 *Overtaking Collision*
Sumber : (Kristiansen, 2013)

c. Head-on Collisions (tubrukan antar haluan kapal)

Head-on Collisions merupakan tubrukan kapal yang terjadi dimana tubrukan terjadi ketika dua kapal mendekat, posisi saling berhadapan dalam arah yang berlawanan.



Gambar 2. 6 *Head-on Collision*
Sumber : (Kristiansen, 2013)

d. Drifting Collision

Drifting collision merupakan tubrukan kapal yang terjadi saat sebuah kapal mengalami kegagalan sistem penggerak sehingga kapal mengapung diatas air kemudian terjadi penyimpangan alur dan menabrak objek tertentu pada lokasi dimana kapal mengalami kerusakan. Penyimpangan alur terjadi dikarenakan arus air laut dan angin.

2.3 Metode Perhitungan Frekuensi Tubrukan

2.3.1 Samson Model

Safety Assessment Models for Shipping and Offshore in the North Sea atau yang biasa disebut dengan SAMSON merupakan metode perhitungan *risk assessment* yang dipublikasikan oleh *Maritime Research Institute Netherlands* atau MARIN. SAMSON memiliki beberapa macam jenis kecelakaan yang mana salah satu diantaranya adalah yaitu *contact drift model* dan *contact ram model*.

SAMSON model mengasumsikan kapal berlayar sepanjang garis diantara *waypoint* satu ke *waypoint* lain yang disebut *link*. Ketika kegagalan motor penggerak terjadi kapal diasumsikan hanyut mengikuti arah angin. Oleh karena itu, tidak semua kapal akan hanyut dan menabrak objek meski kapal tidak mampu untuk diperbaiki dalam waktu tertentu.

2.3.2 Crash Model

Dalam perhitungan frekuensi tubrukan kapal dapat menggunakan model dari DNV yaitu CRASH (*Computerised Risk Assessment of Shipping Hazards*). Model ini mengasumsikan bahwa besarnya frekuensi ditentukan oleh banyaknya kapal yang melewati *platform*. Frekuensi tubrukan dihitung untuk setiap Alur Pelayaran yang melewati objek adalah sebagai berikut (Spouge, 1999)

$$FCP = N \times Fd \times P1 \times P2 \times P3 \quad (2.1)$$

Dimana :

- FCP = frekuensi tubrukan kapal dengan objek
- N = jumlah kapal yang melewati Alur Pelayaran
- Fd = proporsi kapal yang melewati Alur Pelayaran dan menuju *platform*
- P = peluang kapal mengalami kegagalan dalam berlayar di alurnya
- P2 = peluang kapal gagal dalam *watchkeeping*
- P3 = peluang objek gagal dalam memberikan alert pada kapal yang berlayar untuk mencegah tubrukan

2.3.3 Iwrap Model

Dalam tugas akhir ini untuk penentuan frekuensi tubrukan yang terjadi menggunakan *Software* IWRAP. IWRAP merupakan perangkat permodelan yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko khususnya tubrukan dan *grounding*, dimana hasil dari frekuensi akan tergantung dari jenis kapal yang ada meliputi panjang, lebar dan jumlah. Hal lain yang dapat mempengaruhi adalah alur serta geometri number dari alur yang dibuat berdasarkan analisis tubrukan yang ada. Perhitungan frekuensi tubrukan atau *grounding* didasarkan pada formula yang telah dirumuskan oleh Fujii. Berikut merupakan perumusan dari frekuensi tubrukan kapal :

$$\Lambda = Pc \times Ng \quad (2.2)$$

Dimana

- N_G : *Geometric Number*
- P_c : *Causation factor*

Dalam tugas akhir ini menggunakan *causation factor* yang ditentukan secara *default* oleh *Software* IWRAP, dikarenakan keterbatasan data yang dimiliki oleh penulis.

2.3.4 Metode Perhitungan Manual

a. Head-on dan Overtaking Collision

Dalam tugas akhir tugas akhir dalam perhitungan manual akan menggunakan IWRAP *Theory* dengan menggunakan 3 skenario tubrukan yaitu *Head-on collision*, *Overtaking Collision* dan *Crossing Collision*. Pada skenario *Head-on Collision* dan *Overtaking Collision* tubrukan kapal terjadi pada segmen atau alur yang sama. Jadi tubrukan kapal terjadi saat 2 kapal melewati suatu alur yang sama dimana pada *Head-on Collision* terjadi ketika kedua kapal memiliki arah yang berlawanan dengan posisi kapal saling berhadapan sedangkan pada *Overtaking Collision* terjadi ketika kedua kapal melewati alur yang sama dengan arah yang sama namun kedua kapal memiliki kecepatan yang berbeda. Dalam perhitungan *Head-on collision* dan *Overtaking Collision* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

- L_w , yaitu panjang alur lintasan kapal. Panjang alur lintasan kapal tergantung sesuai alur yang dibuat berdasarkan alur sebenarnya kapal akan lewat. Untuk panjang alur ini akan ditentukan sesuai analisis yang akan dilakukan dimana pada alur tersebut akan terjadi tubrukan kapal sesuai skenario yang ada.
- Q_i dan Q_j merupakan jumlah kapal yang akan melewati alur yang telah dibuat. Q_i dan Q_j mengidentifikasi besarnya jumlah kapal yang melewati alur sesuai arah yang ada. Selain itu kecepatan kapal pada alur sesuai arah yang ada akan dinotasikan sebagai V_i dan V_j . V_i dan V_j dimana besarnya ditentukan sesuai analisis yang dilakukan.
- $f_i(y)$ dan $f_j(y)$ merupakan distribusi peluang geometrika. $f_i(y)$ dan $f_j(y)$ terjadi sesuai lalu lintas lateral yang tersebar pada alur yang dibuat, dimana persebaran lalu lintas kapal didefinisikan terdistribusi secara distribusi normal. Pada distribusi normal kapal akan cenderung melewati bagian tengah dari alur dimana saat kapal melewati bagian dari kanan alur akan dinyatakan bernilai positif sedangkan kapal yang melewati bagian kiri dari alur akan bernilai negatif.

Dalam perhitungan manual menggunakan IWRAP *Theory* diperlukan perhitungan mengenai *geometric number* dimana untuk skenario tubrukan *Head-on collision* dan *Overtaking Collision* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$N_G^{\text{head-on}} = L_w \sum_{i,j} P_{G I,j}^{\text{head-on}} \frac{V_{ij}}{V_i V_j} (Q_i Q_j) \quad (2.3)$$

$$N_G^{\text{Overtaking}} = L_w \sum_{i,j} P_{G I,j}^{\text{hOvertaking}} \frac{V_{ij}}{V_i V_j} (Q_i Q_j) \quad (2.4)$$

Dimana :

L_w : panjang alur yang dilewati kapal
 $P_{G I,j}^{\text{head-on}}$: peluang kedua kapal mengalami tubrukan pada saat kapal saling berhadapan

- $P_{G I,j}^{\text{head-on}}$: peluang kedua kapal mengalami tubrukan pada saat salah satu kapal mendahului kapal yang lain
 Q : banyaknya kapal yang melewati alur
 V_{ij} : kecepatan relatif kedua kapal
 Dimana $V_{ij \text{ Overtaking}} = V_i - V_j$ sedangkan $V_{ij \text{ Head-on}} = V_i + V_j$ ($V_{ij} > 0$)

Dalam perhitungan mengenai *geometric number* dibutuhkan melakukan perhitungan Pg . Berikut merupakan perhitungan Pg menurut *IWRAP Theory* :

$$Pg = \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \quad (2.5)$$

$$\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j \quad (2.6)$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2} \quad (2.7)$$

$$B_{ij} = \left(\frac{B_i + B_j}{2}\right) \quad (2.8)$$

Dimana :

- Φ : menandakan bahwa perhitungan dilakukan dengan distribusi normal
 μ_{ij} : mean dari alur yang dibuat
 σ_{ij} : standar deviasi dari alur
 B_{ij} : rata-rata lebar dari kedua kapal

Dalam perhitungan Pg untuk skenario tubrukan *Head-on collision* dan *Overtaking Collision* memiliki perhitungan yang sama seperti perhitungan 2.5. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai dari frekuensi dari skenario tubrukan *Head-on collision* dan *Overtaking Collision* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda_{col}^{\text{Head-on}} = N_G^{\text{Head-on}} \times P_c^{\text{Head-on}} \quad (2.9)$$

$$\lambda_{col}^{\text{Overtaking}} = N_G^{\text{Overtaking}} \times P_c^{\text{Overtaking}} \quad (2.10)$$

Dimana :

- λ_{col} : frekuensi terjadinya tubrukan
 N_G : *geometric number*
 P_c : *causation factor*

Dalam penentuan nilai *causation factor* telah dilakukan tugas akhir mengenai besarnya P_c . Besarnya nilai *causation factor* ditentukan sesuai dengan daerah perairan dimana tubrukan akan terjadi. Pada tugas akhir yang dilakukan pada Oil and Chemical Spill in Danish Water menyatakan nilai *causation factor* sebesar 3×10^{-4} dan nilai *causation factor* yang didasarkan pada tugas akhir oleh Fujii pada *Collision statistic in Japanese waters*, dengan estimasi $P_c = 4,9 \times 10^{-5}$. Pada tugas

akhir yang dilakukan dalam tugas akhir ini besarnya nilai *causation factor* akan ditentukan secara *default* sesuai *Software IWRAP* yaitu $1,1 \times 10^{-4}$ untuk *Head-on Collision* dan $1,3 \times 10^{-4}$ untuk *Overtaking Collision*.

b. Crossing Collision

Crossing Collision adalah tubrukan yang terjadi ketika dua atau lebih kapal bertemu pada sebuah persimpangan pada waktu yang sama. *Crossing Collision* terjadi ketika 2 alur kaosal membentuk sudut dimana akan terjadi tubrukan. Dalam perhitungan manual mengenai *Crossing Collision* dilakukan sesuai dengan *IWRAP Theory*. Berikut merupakan perumusan dari besarnya frekuensi tubrukan kapal skenario *Crossing Collision* :

$$\lambda_{col}^{Crossing} = N_G^{Crossing} \times P_c^{Crossing} \quad (2.11)$$

Dimana

λ_{col} : frekuensi terjadinya tubrukan

N_G : geometric number

P_c : *causation factor*

Perhitungan dalam skenario tubrukan *Crossing Collision* untuk mencari nilai besarnya $N_G^{Crossing}$ dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i Q_j}{v_i v_j} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \text{ untuk sudut sebesar } 10^\circ < [\theta] < 170^\circ \quad (2.12)$$

Dimana

Q : banyaknya kapal yang melewati alur masing-masing

D_{ij} : *Diameter collision* dimana tubrukan terjadi

V_{ij} : Kecepatan relatif dari kedua kapal

θ : sudut yang terbentuk antar 2 alur kapal

Diameter collision merupakan daerah yang terbentuk dimana skenario *Crossing Collision* akan terjadi. Dari gambar 2.7 menunjukkan terbentuknya *Diameter collision* dimana diameter terbentuk dari beberapa kapal yang memiliki alur yang berbeda. Besarnya sudut yang dibentuk alur sangat berpengaruh terhadap hasil perhitungan.

Besarnya kecepatan relatif dalam *Crossing Collision* memiliki perbedaan dengan skenario tubrukan yang ada. Berikut merupakan perumusan dari kecepatan relatif dalam skenario *Crossing Collision*.

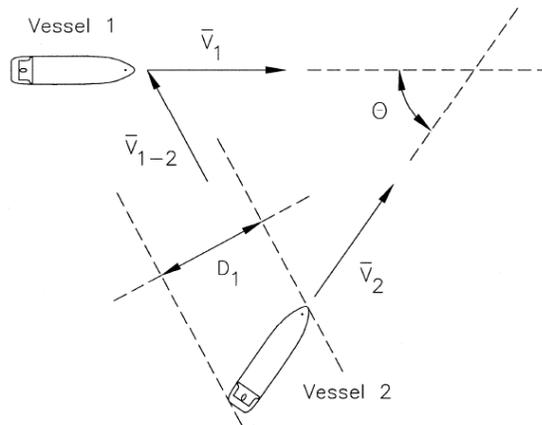
$$V_{ij} = \sqrt{(V_i)^2 + (V_j)^2 - 2 \cdot V_i \cdot V_j \cdot \cos \theta} \quad (2.13)$$

Dimana :

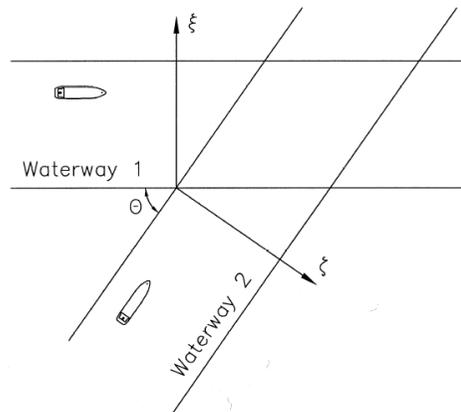
V_i : kecepatan relatif kapal yang melewati alur i

V_j : kecepatan relatif kapal yang melewati alur j

θ : sudut yang terbentuk dari 2 alur kapal



Gambar 2. 7 Ilustrasi dari terbentuknya *Diameter Collision, D_{ij}*
 Sumber : (Hansen, 2007)



Gambar 2. 8 Ilustrasi jalur kapal yang bersinggungan dan membentuk sudut θ
 Sumber: (Hansen, 2007)

Gambar 2.8 merupakan ilustrasi terbentuknya sudut antara alur 2 kapal. Besarnya sudut sangat berpengaruh terhadap perhitungan. Sudut yang terbentuk terjadi dikarenakan adanya 2 alur yang bersimpangan.

2.4 Minyak Bumi dan Tumpahan Minyak

Minyak Bumi adalah hasil proses alami berupa hidrokarbon yang dalam kondisi tekanan dan temperatur atmosfer berupa fase cair atau padat, termasuk aspal, lilin mineral atau ozokerit, dan bitumen yang diperoleh dan proses penambangan,

tetapi tidak termasuk batubara atau endapan hidrokanbon lain yang berbentuk padat yang diperoleh dari kegiatan yang tidak berkaitan dengan kegiatan usaha minyak dan gas bumi (ESDM, 2001). Minyak bumi di Indonesia merupakan sumber pendapatan negara serta merupakan hal yang sangat dibutuhkan masyarakat dalam kegiatan sehari-hari misalnya penggunaan gas untuk memasak, bahan bakar untuk kendaraan dll. Lebih dari 50 % energi yang digunakan di Indonesia berasal dari minyak dan gas bumi (Tryono, 2016) dan setiap tahunnya menurut BPH Migas, Indonesia mengkonsumsi BBM sebesar 50 juta kiloliter baik untuk BBM subsidi maupun non subsidi (Risdiyanta, 2015).

Tumpahan minyak yang ada di lautan umumnya akan menyebar. Penyebaran tumpahan minyak akan tergantung dari karakteristik fisik ataupun kimia dari jenis minyak yang tumpah. Selain hal tersebut faktor alam juga dapat mempengaruhi persebaran tumpahan minyak seperti angin, ketinggian ombak dan ketinggian arus.

Dalam proses tumpahan minyak di laut terdapat beberapa proses yang terjadi pada minyak tersebut di laut yaitu proses penyebaran (*spreading*), proses sedimentasi (*sedimentation*), proses persebaran (*movement*), biogredasi (*biogredation*), penguapan (*evaporation*), dispersi (*dispersion*), oksidasi (*oxidation*), dan emulsifikasi (*emulsification*).

Berdasarkan (ITOPF, 2014-2015), karakteristik minyak utama yang mempengaruhi proses tumpahan minyak di laut adalah *Spesific Gravity* (perbandingan densitas fluida terhadap densitas fluida standar biasanya air laut pada suhu tertentu), karakteristik destilasi, viskositas (ketahanan terhadap aliran) dan titik tuang atau *Pour Point* (suhu terendah dimana minyak bisa mengalir. Selain hal tersebut kondisi oceanografi di daerah tumpahan minyak terjadi sangat berpengaruh terhadap persebaran tumpahan minyak.

Menurut *The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF)* dalam *Oil Tanker Spill Statistic 2015*, Untuk penyebab tumpahan minyak berkaitan dengan operasi kapal tanker sebagai sarana pengangkutan dan distribusi migas. Penyebab utama tumpahan minyak dibedakan menjadi penyebab dalam skala kecil dan penyebab dalam skala besar. Untuk penyebab tumpahan minyak dalam skala kecil dikarenakan oleh bongkar muat kapal (*Loading / Discharging*), pengisian bahan bakar minyak kapal (*Bunkering*), pengisian dan pengosongan tangki penyeimbang kapal (*Ballasting / de-ballasting*) dan pembersihan tangki muatan kapal (*Tank cleaning*). Sedangkan untuk penyebab utama tumpahan minyak dengan dampak skala tumpahan yang relatif besar dikarenakan oleh kecelakaan kapal baik tabrakan atau benturan (*Allisions/Collisions*), kandas (*Grounding*), kerusakan lambung kapal (*Hull Failure*), kerusakan peralatan (*Equipment Failure*), kebakaran dan ledakan (Ardi, 2017).



Gambar 2. 9 Tumpahan Minyak di Laut
 Sumber: (NOAA, Deepwater Horizon Oil SPill, 2018)

2.5 Penanggulangan Bencana Tumpahan Minyak

Dalam penanganan suatu bencana dibutuhkan suatu perencanaan yang tepat sehingga nantinya penanganan bencana tersebut dapat berjalan dengan lancar dan memiliki dampak yang besar. Penanggulangan suatu bencana digunakan agar nantinya setelah terjadi bencana dapat meminimalisir dampak yang terjadi. Berikut merupakan langkah-langkah penanggulangan bencana melalui prosedur dan penanganan yang secara umum digunakan menurut (BNPB, 2008) meliputi hal-hal berikut:

1. Pengenalan dan pengkajian bahaya
2. Pengenalan kerentanan
3. Analisis kemungkinan dampak bencana
4. Pilihan tindakan penanggulangan bencana
5. Mekanisme penanggulangan dampak bencana
6. Alokasi tugas dan peran instansi

Berikut merupakan opsi pembersihan tumpahan minyak yang sering digunakan :

a. Pembersihan secara Alami

Pembersihan secara alami merupakan opsi dari penyisihan minyak yang bisa disebut pilihan non-aksi yaitu dengan membiarkan tumpahan minyak terdegradasi secara alami. Pembersihan ini merupakan jenis yang cukup efektif dan

ramah lingkungan bila dilakukan di daerah yang sensitive dan terpencil, namun pembersihan dengan cara ini sangat tidak efektif bila massa minyak yang tumpah dalam skala besar. Proses pembersihan alami antara lain :

- Evaporasi (penguapan)
- Fotooksidasi (terjadi ketika oksigen dengan adanya sinar matahari bereaksi pada komponen minyak)
- Biogredasi (dilakukan oleh mikroorganisme)

b. *Booming dan Skimming*

Metode ini merupakan metode yang sering dipakai dalam langkah awal penanggulangan tumpahan minyak. *Booms* merupakan alat yang digunakan untuk membatasi agar tumpahan minyak tidak tersebar lebih luas, sedangkan *skimmer* merupakan alat penghisap yang biasanya digunakan bersamaan dengan *booms*. *Skimmer* digunakan untuk menghisap dan memisahkan tumpahan minyak dipermukaan laut dengan kandungan air, lalu ditampung dalam *floating storage*.



Gambar 2. 10 Penggunaan *Booms* untuk Membatasi Tumpahan Minyak (NOAA, General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation, 2012)

Dalam penggunaan *booms* harus mengetahui kondisi lingkungan dimana *booms* akan dipasang. Selain itu dalam pemasangan *booms* juga harus mempertimbangkan ketahanan bahan *booms* yang harus digunakan, penyimpanan *floating storage oil*, serta kontaminan dari minyak yang tumpah sehingga penanganan dapat dilakukan sesuai kondisi yang ada. Meskipun merupakan jenis metode yang sangat ideal namun metode *Booming dan Skimming* sangat bergantung pada angin, arus dan gelombang laut.

c. *In-situ Burning*

In-situ Burning merupakan metode pembakaran minyak yang mengambang permukaan di laut. Pembakaran akan mendapatkan hasil maksimal bila kondisi dari tumpahan minyak terkonsentrasi di suatu area sehingga pembakaran dapat dilakukan di area yang terdampak saja. Metode ini efektif dilakukan untuk tumpahan minyak yang relatif besar. Penggunaan metode ini harus dilakukan dengan pertimbangan yang matang. Pertimbangan dilakukan untuk menghindari dampak yang lebih buruk, apakah api dari pembakaran akan menjalar pada daerah yang berpotensi bahaya, apakah asap hasil pembakaran dapat menimbulkan kerusakan lingkungan dan ekosistem yang ada disekitar area pembakaran. Pertimbangan dalam pemilihan metode ini akan efektif bila memperkirakan risiko yang ditimbulkan dengan memperkirakan apakah metode ini cocok digunakan atau dapat berdampak lebih buruk (Ardi, 2017).



Gambar 2. 11 *In-situ Burning* pada Tumpahan Minyak di Laut

Sumber : (Response & ASTM International Committee F20 on Hazardous Subs, 2018))

d. *Dispersan*

Metode ini bertujuan untuk memecah tumpahan minyak yang pekat menjadi tetesan kecil minyak yang banyak dimana tetesan minyak ini dapat diencerkan oleh persebaran air laut dan terdegradasi secara alami dengan bantuan mikroorganisme serta mengurangi kemungkinan terperangkapnya hewan ke dalam tumpahan. Namun penggunaan dari *dispersan* dipertanyakan oleh beberapa ahli dikarenakan komposisi kimianya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tingkat racun *dispersan* lebih rendah daripada minyak, dan minyak yang terdispersi terurai lebih cepat daripada yang tidak terdispersi. Apabila digunakan dengan benar, *dispersan* modern berisiko rendah terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Diharapkan penggunaan *dispersan* dapat dibuat dengan bahan kimia yang ramah

lingkungan sehingga efeknya selain dapat mendispersi tumpahan minyak juga tidak akan merusak lingkungan.



Gambar 2. 12 Proses Penanggulangan dengan *Dispersan* (NOAA, Deepwater Horizon Oil SPill, 2018)

e. *Sorbent*

Metode ini dilakukan dengan mekanisme absorpsi (penempelan) lapisan minyak dengan lapisan *sorbent* dan adsorpsi dimana minyak akan diserap oleh *sorbent*. *Sorbent* digunakan agar minyak dapat terserap oleh *sorbent* sehingga minyak yang awalnya cair berubah menjadi padat sehingga akan mudah untuk dikumpulkan dan dibuang. *Sorbent* yang digunakan harus memiliki sifat *hidrofobik*, *oleofobik*, mudah untuk disebar di permukaan minyak, mudah diambil kembali dan dapat digunakan kembali. Beberapa jenis *sorbent* yang digunakan antara lain organik alami (kapas, jerami, rumput kering), sintesis (serat nilon), dan anorganik (lempung, pasir).

2.6 Karakteristik Kecelakaan Kapal

Kecelakaan kapal saat ini terjadi cukup besar. Hal tersebut dikarenakan banyaknya masyarakat yang menggunakan transportasi kapal laut untuk pergi ke suatu tempat. Selain itu proses ekspor dan impor barang yang dilakukan oleh Indonesia sering menggunakan kapal karena memiliki efisiensi dari segi biaya dan tempat bila dibandingkan dengan transportasi lain. Berdasarkan Undang undang Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2008 tentang Pelayaran Pasal 245 menyatakan bahwa:

Kecelakaan kapal merupakan kejadian yang dialami oleh kapal yang dapat mengancam keselamatan kapal dan/atau jiwa manusia berupa kapal tenggelam, kapal terbakar, kapal tubrukan dan kapal kandas. Untuk faktor penyebab kecelakaan dibagi menjadi 3 yaitu (Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), 2009):

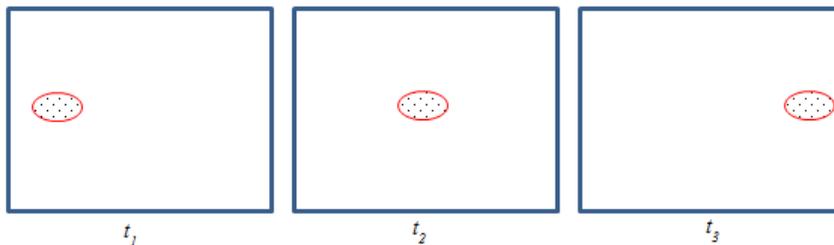
1. Faktor manusia, contohnya seperti kurangnya pemahaman para awak kapal akan rambu-rambu yang ada pada rute perjalanan, kelalaian petugas pelabuhan dalam melakukan pengawasan terhadap kapal-kapal yang berlayar ataupun kelalaian awak kapal dalam melakukan *maintenance* pada permesinan yang ada di kapal.
2. Faktor teknis, seperti teknis pembuatan kapal yang tidak sesuai dengan standarisasi yang telah ditetapkan sehingga kapal tidak layak untuk digunakan; *maintenance* yang dilakukan oleh para *crew* kapal yang tidak terjadwal, sehingga menyebabkan kapal tidak dalam kondisi yang baik saat digunakan; faktor teknis ketika membawa barang-barang yang berbahaya, karena tidak adanya standar teknis pengangkutan bahan berbahaya yang jelas, bisa mengakibatkan meledak dan terbakarnya muatan kapal beserta kapalnya.
3. Faktor alam, hal ini dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca, faktor alam berupa gelombang tinggi, badai yang besar, arus yang kuat, atau kabut yang menghalangi pandangan kapal. Untuk Alur Pelayaran yang baik, kondisi arus dan gelombangnya harus cukup tenang dan dalam perencanaannya diasumsikan bahwa kapal yang terbesar yang dapat melewati alur tersebut sehingga dapat dipastikan alur yang ada dapat dilewati oleh kapal lain yang lebih kecil. Selain itu diperlukan pertimbangan mengenai kedalaman dan karakteristik meteorologi dan oceanografis dari alur.

2.7 Metode Perhitungan Tumpahan Minyak

Dalam menganalisis tumpahan minyak terdapat dua pendekatan yang digunakan yaitu :

1. Metode Lagrangian

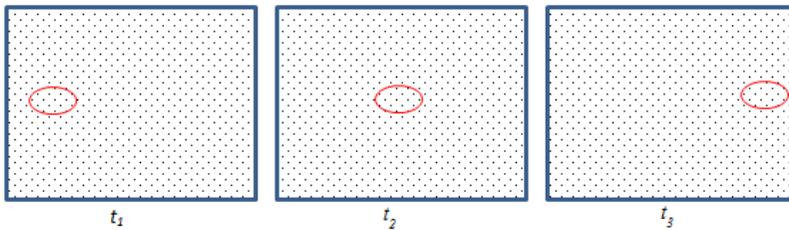
Metode *Lagrangian* menggunakan cara mengikuti masing-masing partikel fluida ketika mereka bergerak dan menentukan bagaimana sifat-sifat fluida yang berkaitan dengan perubahan kedudukan partikel ini sebagai fungsi dari waktu. Artinya, partikel fluida "dipantau" atau diidentifikasi, dan sifat-sifatnya ditentukan selagi bergerak.



Gambar 2. 13 Ilustrasi Metode Lagrangian
Sumber : Metode Lagrangian dan Eulerian pada Fluida

2. Metode Eularian

Metode *Eularian* menggunakan konsep medan yaitu fluida sebagai fungsi dari koordinat ruang. dalam hal ini, gerakan fluida diberikan dengan menggambarkan secara lengkap sifat-sifat yang diperlukan (tekanan, kerapatan, kecepatan, dll) sebagai fungsi dari ruang dan waktu. dari metode ini, kita memperoleh informasi mengenai aliran tersebut tentang apa yang terjadi pada titik-titik yang tetap berada didalam ruang ketika fluida mengalir melewati titik-titik tersebut.

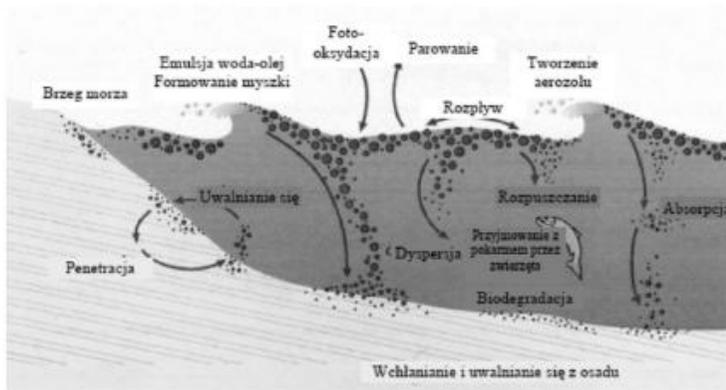


Gambar 2. 14 Ilustrasi Metode Eularian
Sumber : Metode Lagrangian dan Eularian pada Fluida

2.8 Software untuk Pemodelan Persebaran Minyak

1. Software PISCES II

PISCES II merupakan simulator yang dibuat untuk mempersiapkan aksi penyelamatan pada kasus tumpahan minyak. Program ini menggunakan pendekatan terhadap kondisi lingkungan, didasarkan pada model matematis dari tumpahan minyak yang berkaitan dengan kondisi geografis, fenomena alam. Simulator PISCES II digunakan untuk memprediksi perilaku dari tumpahan minyak selama berada di permukaan laut, menganalisis proses tersebut dengan mempertimbangkan minyak, air laut, dan udara.



Gambar 2. 15 Proses dari tumpahan minyak
Sumber : (Lazuga, 2012)

Model dari simulasi mengindikasikan efek persebaran dari tumpahan minyak tersebut yaitu *advection*, penyebaran permukaan, penguapan, pelarutan, emulsifikasi, difusi turbulen, interaksi partikel minyak dengan garis pantai, sedimentasi dan variasi temporal viskositas minyak, densitas dan tegangan permukaan.

Berikut merupakan permodelan dari PISCES II :

a. Spreading Component

Berikut merupakan perhitungan dari persebaran dari komponen minyak:

$$A = 2270 \left(\frac{\Delta p}{p_0} \right) V^{\frac{2}{3}} + 40 \left(\frac{\Delta p}{p_0} V U_w \right)^{\frac{1}{3}} t \quad (2.14)$$

Dimana A adalah area lapisan minyak (m^2), V adalah total volume minyak (barrel), U_w adalah kecepatan angin (knot) dan t adalah waktu (Fay, 1971).

b. Evaporation Component

$$N = \frac{K_a P}{R T} \quad (2.15)$$

Dimana N adalah molar dari flux (mol/s), K_a adalah koefisien transfer (m/s), R adalah koefisien gas konstan ($8.314 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{mol}\cdot\text{K})$), T adalah suhu lingkungan (K) (Stiver, 2013)

c. Model untuk penyebaran Komponen (Dispersion)

Model ini dibuat berdasarkan tipe dari minyak, gelombang, dan fraksi permukaan laut per satuan waktu, selanjutnya yang lain diperkirakan secara empiris

$$Q_d = c(0) \cdot F_{wc} D_{ba}^{0.57} \cdot d^{0.7} \quad (2.16)$$

Dimana F_{wc} adalah fraksi permukaan laut yang dilindungi oleh gelembung putih per rata-rata periode gelombang, D_{ba} adalah rata-rata energy per tiap permukaan (Jm^{-2})

2. Software Mike 21

Mike 21 merupakan perangkat lunak pemodelan 2D dan 3D dinamika perairan pesisir maupun perairan lepas, baik pemodelan dari segi fisik kimia maupun proses biologis di daerah tersebut. Perangkat lunak Mike 21 merupakan bagian dari produk perangkat lunak yang dikembangkan oleh DHI Group. Model menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah barang tiruan yang lebih kecil dengan bentuk (rupa) persis seperti yang ditiru. Jadi dapat dikatakan pemodelan adalah suatu usaha untuk membuat tiruan (replika) dari suatu sistem yang nyata dengan memanfaatkan suatu media untuk mempresentasikannya.

Model matematika yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = hS \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial hu}{\partial \tau} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial hvu}{\partial y} = fvh - gh \frac{\partial n}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial \rho a}{\partial x} - \frac{gh^2 \partial p}{2\rho_0 \partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \tau_{sxx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{sxy}}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial}{\partial x} (hTxx) + \frac{\partial}{\partial y} (hTxy) + hUsS \right) \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial \tau} + \frac{\partial hvu}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = -fuh - gh \frac{\partial n}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial \rho a}{\partial y} - \frac{gh^2 \partial p}{2\rho_0 \partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \tau_{syy}}{\partial y} + \left(\frac{\partial}{\partial x} (hTxy) + \frac{\partial}{\partial y} (hTyy) + hvsS \right) \right) \quad (2.19)$$

$$hu \int_{-d}^n u dz, hv = \int_{-d}^n u dz \quad (2.20)$$

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial u}{\partial x}, T_{xy} = A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), T_{yy} = 2A \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.21)$$

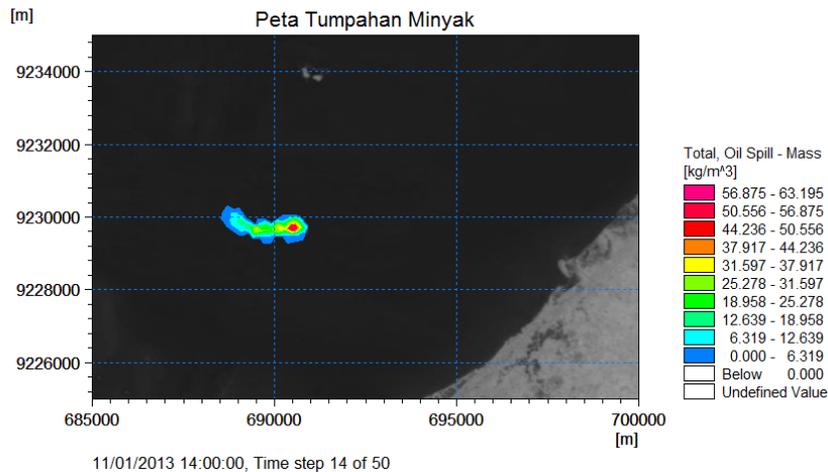
Dimana:

t	: Waktu (s)
x, y dan z	: Koordinat kartesian (m)
η	: Ketinggian muka air (m)
h	: Kedalaman laut saat itu (m)
$h = \eta + d$: Total kedalaman laut (m)
u, v dan w	: Komponen kecepatan pada arah x, y dan z (m/s)
g	: Percepatan gravitasi (m/s ²)
ρ	: Densitas air (kg/m ³)
sxx, sxy, syx, syy	: Komponen radiasi tensor tegangan
vt	: Turbulensi vertikal atau viskositas eddy (m ² /s)
pa	: Tekanan atmosfer (kg/m/s ²)
ρ_0	: Referensi densitas air (kg/m ³)
S	: Besarnya debit fluida berdasarkan titik sumber (m ³ /s)
(us, vs)	: Velositas dimana air mampu terbebas di lingkungan sekitar (m/s)
Tij	: Tekanan lateral termasuk friksi kekentalan dan perbedaan adveksi (m ² /s)
A	: Viskositas Eddy horizontal
i^- dan j^-	: Konstanta dengan garis atas mengindikasikan nilai rata-rata

$$f = 2\Omega \sin\phi \quad (2.22)$$

Dimana :

f : Parameter coriolis (s^{-1})
 Ω : rata-rata sudut revousi bumi
 Φ : lintang geografis



Gambar 2. 16 Simulasi *Software* PISCES II
 Sumber : (Ardi, 2017)

3. *Software* GNOME

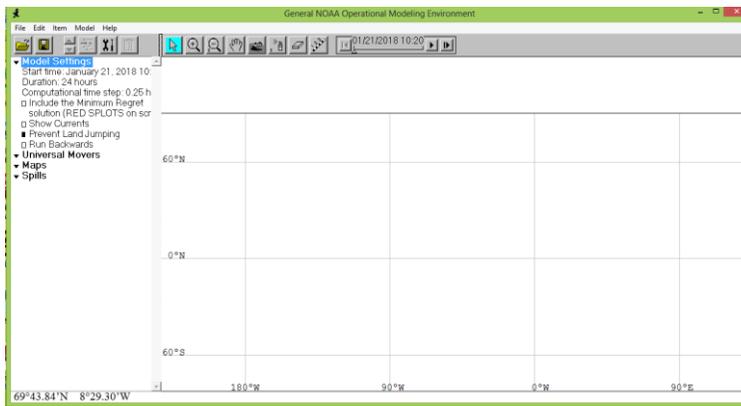
Model sebaran tumpahan minyak merupakan suatu model yang menganalisis persebaran sebaran tumpahan minyak di laut menurut kondisi lingkungan oseanografi di wilayah sekitar tumpahan minyak. GNOME (*The General NOAA Operational Modelling Environment*) adalah model lintasan tumpahan minyak yang dikembangkan oleh divisi respon darurat dari NOAA. GNOME digunakan untuk mengetahui jalur tumpahan minyak yang terjadi yang dapat digunakan untuk setiap region di dunia dengan menetapkan kondisi lautan dan kecepatan angin. GNOME dikembangkan oleh *Hazardous Materials Response Division (HAZMAT) of the National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Response and Restoration (NOAA OR&R)*. HAZMAT menggunakan model ini selama tumpahan minyak untuk memperkirakan “*best guess*” dari sebaran tumpahan minyak yang diasosiasikan dengan ketidakpastian (*uncertainty*) sebaran tumpahan minyak.

GNOME memberikan lima fungsi utama yaitu:

- Mengestimasi sebaran tumpahan minyak oleh proses yang melibatkan angin, kondisi cuaca, pola sirkulasi, dan tumpahan minyak.
- Memprediksi hasil sebaran asli dan hasil sebaran ketidakpastian yang dikendalikan oleh observasi dari angin dan persebaran massa air.

- Menggunakan algoritma cuaca untuk membuat prediksi yang sederhana mengenai pengaruh cuaca terhadap minyak yang tumpah.
- Dapat dengan cepat menambahkan dan memproses serta menyimpan informasi baru.
- Menyediakan output dengan format *geo-referenced* yang dapat digunakan untuk inputan dari *Software GIS*.

Model dari GNOME menggunakan pendekatan *Lagrangian* pada permukaan, dan pendekatan *Eulerian* digunakan untuk simulasi persebaran dengan kecepatan tertentu.



Gambar 2. 17 Tampilan pada *Software GNOME*

Gambar 2.17 menunjukkan gambar tampilan *Software GNOME*. Pada tugas akhir ini penulis akan menggunakan *Software GNOME* sebagai simulasi pemodelan tumpahan minyak. Simulasi yang dilakukan adalah selama 24 jam dengan *time step* 0,25 jam.

2.9 Perhitungan Biaya Tumpahan Minyak

Analisis biaya dilakukan untuk memperkirakan biaya yang dikeluarkan dalam penanggulangan kasus tumpahan minyak. Biaya yang dikeluarkan akibat tumpahan minyak meliputi biaya untuk restorasi kerusakan lingkungan, biaya kerugian sosial-ekonomi, dan biaya *clean-up* (pembersihan).

a. Kerusakan Lingkungan

Dampak dari tumpahan minyak dapat menyebabkan kerusakan lingkungan khususnya bagi organisme yang ada di laut. Air laut yang terkena tumpahan minyak akan berdampak pada beberapa ekosistem yang ada di area tempat tumpahan yang terjadi. Menurut (Liu & W.Wirtz, 2009) untuk kerusakan lingkungan yang terjadi dapat dihitung menggunakan perumusan berikut :

$$L = \sum_{t=0}^b (1 - f(t)) \left(\frac{1}{1 + d} \right) \quad (2.23)$$

Dimana :

L = area dimana kerusakan lingkungan terjadi

$f(t)$ = potensi habitat yang terkena dampak

b = tahun dimana kerusakan lingkungan dapat pulih kembali

d = *discount rate* tahunan (0,03 direkomendasikan oleh NOAA)

Nilai total kerugian dari habitat/populasi yang terkena dampak, V , dapat dihitung dengan :

$$\sum_{t=1}^n V = \sum_{t=0}^n Mx Qx L \quad (2.24)$$

Dimana :

Q = jumlah total unit sumber daya yang terkena dampak

M = nilai ekonomi per unit sumber daya

b. Kerugian Sosial- Ekonomi

Pencemaran yang diakibatkan oleh tumpahan minyak akan berdampak kehidupan masyarakat. Beberapa masyarakat yang terkena dampak secara tidak langsung adalah masyarakat yang bekerja sebagai nelayan, serta para pemilik hotel yang berada di area tersebut sehingga hal tersebut dapat berdampak pada kondisi ekonomi dan sosial.

Menurut (Liu & W.Wirtz, 2009) dampak dari kerugian ekonomi-sosial dapat dihitung dengan :

$$EL = \sum_{t=1}^n yr \sum_{t=0}^p (1 - f(t)) \left(\frac{1}{1 + d} \right)^t \quad (2.25)$$

Dimana

EL = Kerugian Ekonomi

yr = Pendapatan Tahunan pada sektor ekonomi

$f(t)$ = Presentase relatif dari sektor yang terkena dampak pada tahun t

d = *Discount rate* tahunan

c. Biaya Pembersihan (*clean-up*)

Biaya dari *clean-up* dipengaruhi oleh tipe tumpahan minyak, volume tumpahan minyak, dan area dimana tumpahan minyak terjadi.

Menurut (Liu & W.Wirtz, 2009) biaya *clean-up* dapat diperkirakan dengan rumusan berikut :

$$RC = \sum_{j=1}^n upj x duj \quad (2.26)$$

Dimana :

RC = biaya pembersihan (*clean-up rate*)

upj = biaya kapal dan crew yang digunakan

duj = durasi penggunaan kapal

Dalam perhitungan biaya yang dilakukan dalam tugas akhir ini akan mengacu pada perhitungan yang dilakukan (Liu & W.Wirtz, 2009) mengenai estimasi biaya total tumpahan minyak yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Ln (TC) = 0,4667 x Ln(t) + 13,894 \quad (2.27)$$

Dimana :

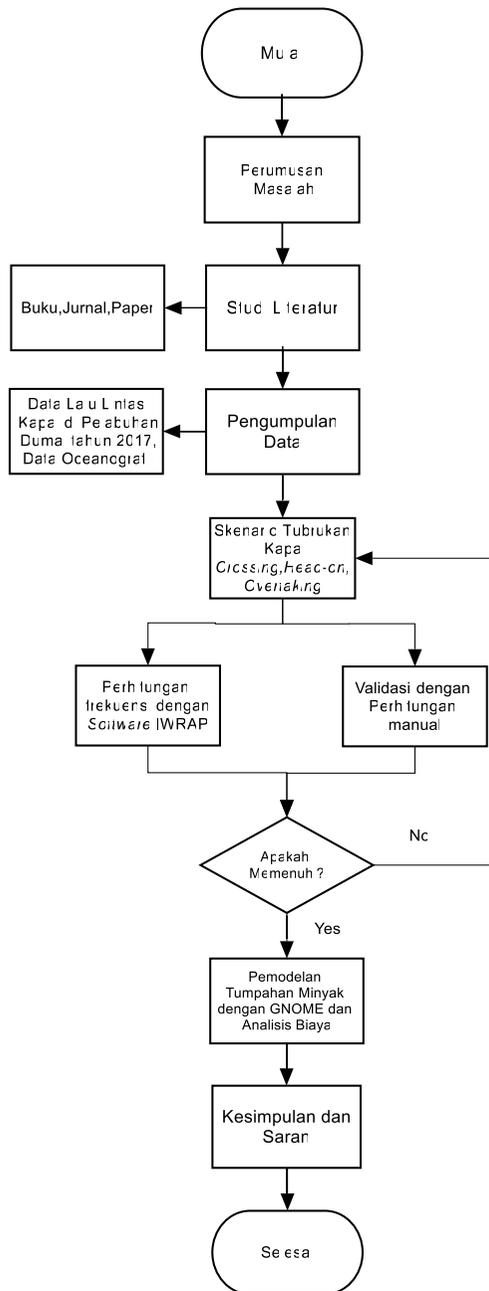
TC = biaya total (*total cost*) dalam euro

t = besaran tumpahahan minyak dalam ton

Persamaan 2.27 merupakan persamaan yang didapatkan dari hasil simulasi 72 skenario tumpahan minyak yang terjadi di Perairan Jerman Utara. Perhitungan total biaya merupakan hasil penjumlahan dari tiga biaya yaitu biaya kerusakan lingkungan, kerugian sosial-ekonomi, dan biaya pembersihan (*clean-up*).

BAB III METODOLOGI TUGAS AKHIR

Berikut adalah FlowChart Diagram metodologi yang digunakan:



3.1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan yang akan dibahas. Perumusan masalah merupakan langkah awal dalam pengerjaan tugas akhir yang menjadi bagian penting yang melatarbelakangi permasalahan dimana nantinya permasalahan akan diselesaikan sebagai tujuan dilakukan tugas akhir ini. Pengidentifikasian permasalahan dilakukan dengan mencari informasi yang dapat berasal dari berita-berita baru, pengalaman yang pernah dialami di lapangan, dan dari sumber-sumber terkait lainnya. Dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai analisis frekuensi tubrukan kapal yang terjadi di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai dan melakukan pemodelan persebaran tumpahan minyak. dimana dalam tugas akhir ini akan mengacu pada tiga jenis tubrukan yaitu *Overtaking*, *Head-on*, dan *Crossing Collision*.

3.2. Studi Literatur

Pada tugas akhir dilakukan studi literatur untuk mempelajari teori-teori yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari berbagai sumber antara lain buku, jurnal, tugas akhir, dan paper. Dalam tugas akhir ini studi literatur yang dilakukan mengacu pada tubrukan pada kapal, perhitungan frekuensi dengan *Software* IWRAP dimana perhitungan akan divalidasi dengan perhitungan manual berdasarkan *IWRAP Theory*, serta pemodelan persebaran tumpahan minyak yang terjadi dengan *Software* GNOME. Berikut merupakan beberapa referensi yang digunakan untuk studi literatur :

- a. Artikel dan jurnal tentang *Ship Collision (Overtaking, Head-on dan Crossing)* dan tumpahan minyak.
- b. *General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation. Office of Response and Restoration. Emergency Response Division.(2012)*
- c. *Basic Modelling Principle Prediction of Collision Grounding Frequency. IWRAP MK II. (Hansen, 2007)*

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan berbagai informasi yang mendukung tugas akhir ini. Berikut merupakan data yang akan digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini :

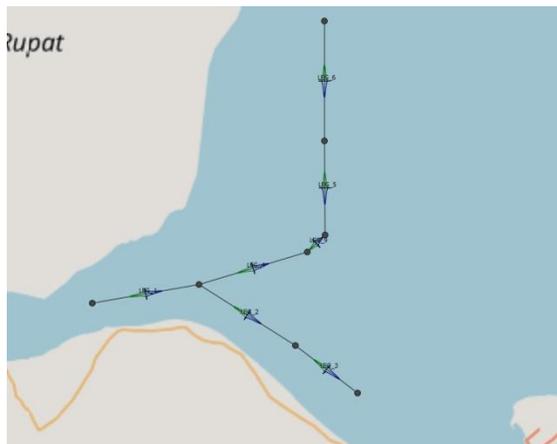
1. Data kedatangan kapal di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai yang didapatkan dari Kantor Kementerian Perhubungan Distrik Navigasi Kelas 1 Dumai (*Daily Journal VTS Sub Centre Dumai*). Data kedatangan yang didapatkan adalah data dari tahun 2017 dimulai dari Januari 2017- Desember 2017. Data ini berisikan informasi antara lain nama kapal, MMSI, rute kedatangan kapal, lebar, dan panjang. Nantinya data ini akan diolah dengan mencari jenis dari masing-masing kapal yang masuk sehingga akan diperoleh data yang dapat digunakan untuk proses penginputan di *Software* IWRAP dan proses validasi menggunakan hitungan manual.
2. Data *density plot* . Pada tugas akhir ini untuk peta *density plot* menggunakan peta dari website *marine traffic* dikarenakan adanya keterbatasan data yang didapatkan.
3. Data oceanografi meliputi kecepatan angin di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai pada tahun 2017. Data ini nantinya akan digunakan untuk proses pemodelan tumpahan minyak yang terjadi dengan *Software* GNOME.

3.4. Analisis Skenario Tubrukan Kapal

Dalam pengerjaan tugas akhir ini diperlukan mengenai analisis skenario tubrukan yang terjadi sangat diperlukan. Analisis skenario tubrukan kapal dibagi menjadi 3 skenario tubrukan yaitu *Overtaking*, *Head-on*, dan *Crossing Collision*. Berikut merupakan analisis yang akan dilakukan:

3.4.1 Analisis Perhitungan Frekuensi dengan *Software IWRAP*

Pada proses perhitungan frekuensi menggunakan *Software IWRAP* diperlukan pembuatan *Leg* yang nantinya akan digunakan sebagai alur terjadinya tubrukan kapal. Pembuatan *Leg* yang dilakukan dengan melihat density plot yang dilihat pada website *Marine Traffic*. Sebenarnya density plot dapat didapat dari data lalu lintas kapal dari data AIS namun dikarenakan adanya keterbatasan data maka tugas akhir dalam tugas akhir ini menggunakan density plot yang ada pada *Marine Traffic*.



Gambar 3. 1 *Leg* yang digunakan untuk simulasi

Dari gambar 3.1 dapat dilihat *Leg* yang dibuat terdiri dari 7 *Leg*. Dari 7 *Leg* ini nantinya kan digunakan untuk melakukan perhitungan frekuensi tubrukan dengan *IWRAP*.

Dalam perhitungan frekuensi nantinya akan dibutuhkan data *cluster* kapal. Data *cluster* kapal digunakan untuk mengetahui persebaran kapal yang melewati *Leg* tersebut.

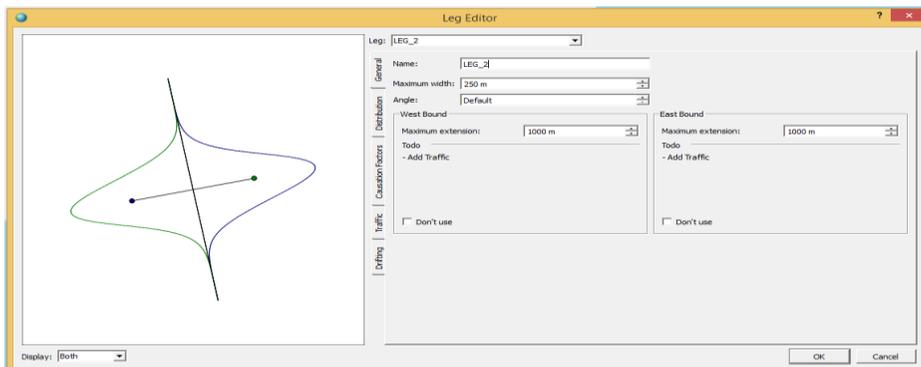
Gambar 3.2 merupakan gambar data *cluster* data kapal yang akan digunakan dalam proses perhitungan frekuensi pada *Software IWRAP*. Data *cluster* kapal dibagi berupa jenis kapal dan panjang kapal.

Frequency	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier
0-25	0	0	0	0	0	0	0
25-50	6	0	3	0	3	0	0
50-75	0	25	28	0	0	155	0
75-100	23	320	89	136	32	213	12
100-125	0	244	165	35	112	231	23
125-150	0	159	226	0	83	76	10
150-175	9	155	72	3	26	18	25
175-200	42	225	143	0	38	16	114
200-225	9	0	0	3	15	3	9
225-250	175	62	6	6	5	0	33
250-275	41	0	0	0	12	0	3
275-300	0	0	0	5	6	0	154
300-325	15	0	6	0	15	0	0
325-350	284	3	0	0	3	3	0
350-375	0	0	0	0	12	0	0
375-400	0	0	0	0	12	0	0

Gambar 3. 2 Data *cluster* kapal yang akan diinput ke *Software IWRAP*

Dalam *Software IWRAP* terdapat beberapa pilihan *menu* pada *tab editor* yang dapat dipilih dan diganti disesuaikan dengan analisis yang dilakukan. Berikut merupakan pilihan *menu* yang ada pada *Software IWRAP* :

- General*, *menu* ini memiliki beberapa fungsi antara lain melakukan perubahan nama pada *Leg* yang dibuat, menentukan besarnya lebar dari *Leg* yang dibuat, menentukan angle dari *Leg* dan menentukan *maximum extension* dari *Leg* yang telah dibuat.

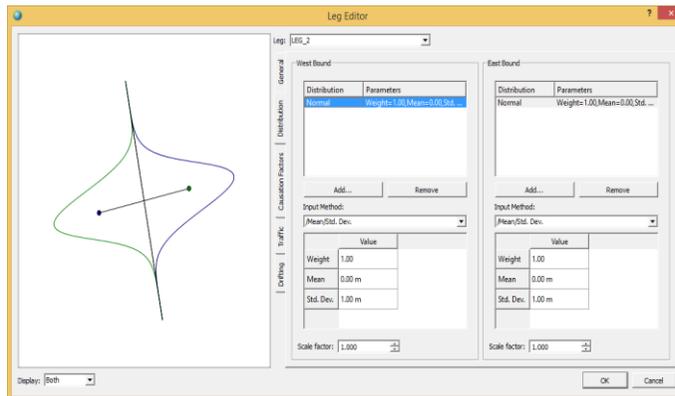


Gambar 3. 3 Tampilan *menu General* pada *Software IWRAP*

Gambar 3.3 menunjukkan tampilan *menu General* dimana pada *menu* ini akan ditentukan *maximum width* yang digunakan. Pada tugas akhir ini penulis mengubah nilai *maximum width* sebesar 200 m menyesuaikan dengan lebar alur pada Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai.

- Distribution*, dalam *tab* ini pengguna akan diberikan pilihan untuk menentukan jenis distribusi apa yang akan digunakan. Terdapat 2 pilihan distribusi yaitu distribusi normal dan distribusi *uniform*. Selain itu dalam pemilihan distribusi normal akan

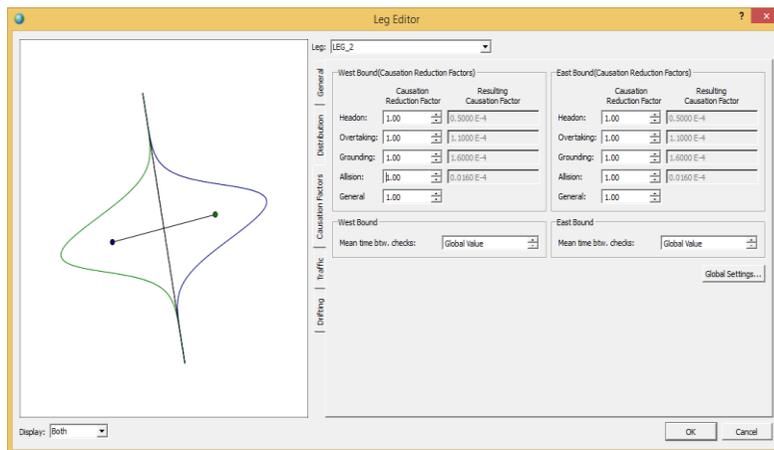
dilakukan penentuan *weight*, mean dan standar deviasi sesuai analisis yang akan dikerjakan..



Gambar 3. 4 Tampilan *menu Distribution* pada *Software IWRAP*

Gambar 3.4 merupakan tampilan *menu Distribusi* pada *Leg editor*. Pada tugas akhir ini akan digunakan distribusi normal. Untuk mean penulis memilih 0 dan untuk *standard dev* penulis menuliskan 100 untuk kedua sisi distribusi

c. *Causation factor*, besarnya *causation factor* tergantung dari daerah pelayaran tempat akan dilakukan analisis.



Gambar 3. 5 Tampilan *menu causation factor* pada *Software IWRAP*

Pada Gambar 3.5 menunjukkan tampilan dari *menu causation factor* dalam *tab editor*. Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan nilai *causation factor* yang ditentukan oleh *Software IWRAP*. Hal tersebut dikarenakan adanya keterbatasan data mengenai *causation factor* yang ada pada daerah perairan yang dianalisis oleh penulis.

- d. *Traffic*, pada tab *traffic* ini pengguna dapat melakukan perubahan *input data* seperti perubahan banyaknya *traffic* kapal melalui *traffic editor*, melakukan penyesuaian kecepatan yang disesuaikan dengan data penulis, dan lain sebagainya.



Gambar 3. 6. Tampilan *Leg Editor* menu *Traffic* pada IWRAP

- e. *Drifting*, pada tab editor tersebut digunakan untuk menambahkan parameter perhitungan apabila terdapat analisis *drifting* yang dilakukan. Penulis tidak menggunakan opsi *drifting* karena tidak menjadi jenis skenario yang dianalisis oleh penulis.

3.4.2 Perhitungan Manual

Perhitungan manual akan dilakukan berdasarkan IWRAP *Theory* sesuai dengan skenario tubrukan yang telah dibuat. Untuk panjang dan lebar yang digunakan dalam perhitungan manual adalah panjang dan lebar yang didapat dari kapal yang sering melewati alur yang dibuat, dimana hal tersebut dilakukan agar hasil dari perhitungan yang dilakukan dapat menginterpretasikan dengan keadaan sebenarnya di lapangan.

3.5. Analisis Konsekuensi

Analisis konsekuensi akan dilakukan dengan melakukan analisis tumpahan minyak yang terjadi dengan menggunakan *Software GNOME*. Dengan menggunakan *Software GNOME* akan didapatkan jalur persebaran minyak yang terjadi akibat tubrukan pada kapal. Dalam proses analisis frekuensi yang dilakukan dibutuhkan data oceanografi meliputi kecepatan angin di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai pada tahun 2017.

Dalam *Software GNOME* nantinya akan dilakukan pemodelan persebaran minyak dengan pengolahan data yaitu :

1. Mencari peta dimana simulasi akan dibuat. Untuk peta simulasi menggunakan *GNOME* dapat diunduh pada website resmi NOAA. Peta yang didapatkan akan digunakan sebagai *base map* dalam simulasi menggunakan *Software GNOME*.
2. Untuk data arah, kecepatan angin menggunakan data yang diambil dari website resmi NOAA. Data arah angin nantinya akan digunakan sebagai inputan untuk *Software*

GNOME. Untuk data lain selain angin dapat memakai data *diffusion factor*, dimana pada tugas akhir ini nilai *diffusion factor* mengambil angka *default* dari *Software GNOME*.

3. Menentukan titik dimana tumpahan minyak akan dibuat dilanjutkan menentukan jenis muatan yang digunakan.
4. *Running* akan dilakukan dengan waktu selama 24 jam dengan tiap time step 0,25 jam

Analisis biaya dilakukan dengan menggunakan perumusan yang dilakukan oleh (Liu & W.Wirtz, 2009), dimana data tumpahan minyak yang digunakan sebesar 2.500 m^3 .

3.6. Kesimpulan dan Saran

Proses terakhir adalah pembuatan kesimpulan dari keseluruhan proses yang dilakukan beserta hasil yang didapatkan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Kemudian akan diberikan saran-saran mengenai penelitian yang telah dilakukan dengan harapan akan ada pengembangan ide dari tugas akhir yang dilakukan saat ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Dalam pengerjaan tugas akhir ini pengolahan data yang dilakukan berupa pengelompokan data kedatangan kapal yang diperoleh dari Kantor Distrik Navigasi Kelas 1 Dumai. Pengelompokan yang dilakukan berdasarkan jenis, panjang, dan lebar kapal. Pengelompokan tersebut dilakukan agar memudahkan dalam penginputan data ke dalam *Software* IWRAP.

Untuk melakukan analisis frekuensi tubrukan kapal di Area Pelabuhan Dumai, dalam proses pengerjaan penulis menggunakan *Software* IWRAP untuk menghitung besarnya frekuensi tubrukan yang terjadi. Pada *Software* IWRAP akan dibuat *Leg* yang nantinya akan dianalisis dengan skenario yang dibuat. Dalam proses pembuatan model tubrukan yang terjadi dibutuhkan data sebagai berikut :

- a. Data kedatangan kapal di Pelabuhan Dumai tahun 2017 yang diperoleh yang diperoleh dari Kantor Distrik Navigasi Kelas 1 Dumai dengan jumlah data sebesar 11.476 kapal dengan berbagai tipe, panjang, dan lebar kapal.
- b. Data *density plot* yang akan digunakan sebagai acuan pembuatan alur.
- c. Data Oceanografi berupa kecepatan angin yang akan digunakan sebagai inputan dalam pemodelan persebaran tumpahan minyak dengan *Software* GNOME.

	Crude Oil	Oil Product Tanker	Chemical Tanker	Gas Tanker	Container	General Cargo	Bulk Carrier	Ro-Ro Cargo	Passenger	Fast Ferry	Support Ship	Fishing Ship	Pleasure Boat	Other Ship
0-25														
25-50														
50-75														
75-100														
100-125														
125-150														
150-175														
175-200														
200-225														
225-250														
250-275														
275-300														
300-325														
325-350														
350-375														
375-400														

Gambar 4. 1 Pengelompokan jenis kapal yang dilakukan

Gambar 4.1 menunjukkan pengelompokan data sesuai format yang ada pada *Software* IWRAP. Pengelompokan dilakukan agar nantinya memudahkan proses perhitungan manual dan perhitungan dengan *Software* IWRAP memiliki kesamaan data, sehingga perbedaan jumlah data dapat dihindari.

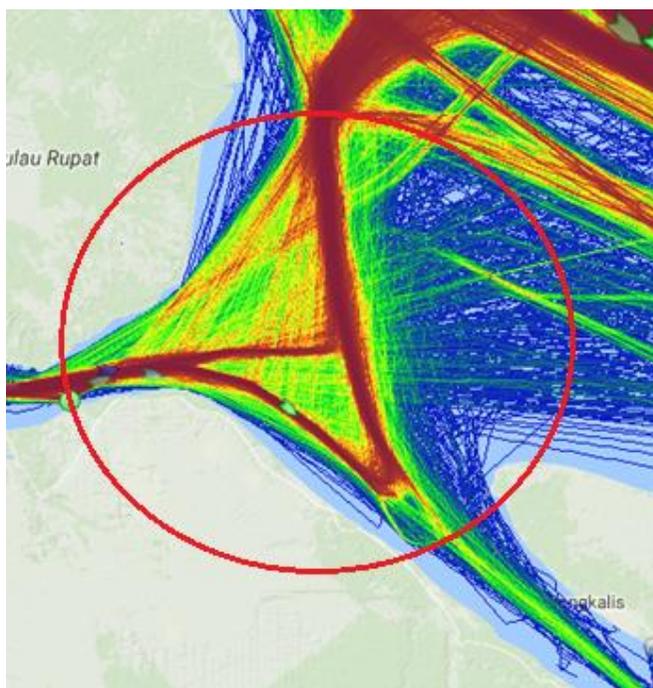
Analisis frekuensi menggunakan *Software* IWRAP dilakukan penulis dengan menentukan skenario yang dibuat sebelumnya di masing-masing *Leg* yang dibuat. Dalam menentukan *Leg* digunakan data dari *Marine Traffic* berupa density plot agar mengetahui titik dimana kapal sering melintas di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai. Selain menggunakan data *Marine Traffic* untuk menentukan density plot dapat dilakukan dengan data dari AIS berupa data berformat .NMEA yang nantinya diolah ke .csv agar dapat dimasukkan dalam *Software* IWRAP. Namun dalam pengerjaan tugas

akhir ini terdapat keterbatasan data dari AIS sehingga menggunakan data *density plot* yang ada pada website *Marine Traffic*.

4.2 Pembuatan *Leg*

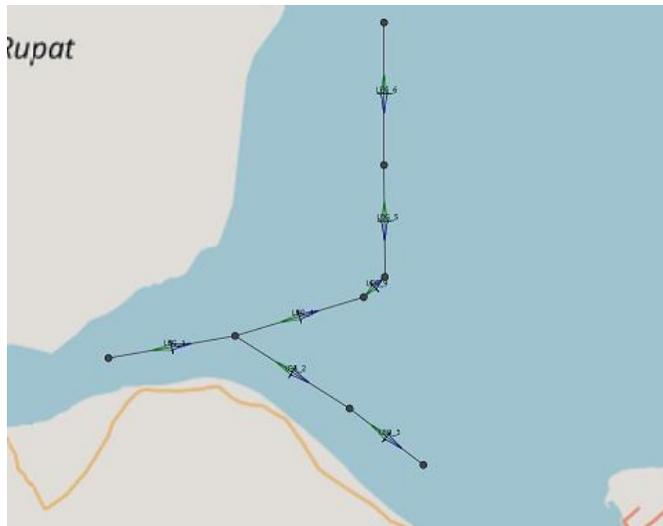
Leg merupakan jalur dimana nantinya skenario akan dibuat. Dalam *Leg* nanti akan dibuat skenario tubrukan sesuai dengan analisis yang dikehendaki. Dalam pengerjaan tugas akhir ini akan dibuat sebanyak 7 *Leg* yang akan digunakan untuk perhitungan frekuensi tubrukan kapal berupa *head-on situation*, *over-taking situation*, dan *crossing situation* di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai. Berikut merupakan rincian *Leg* yang telah dibuat :

1. *Leg* 1 memiliki panjang 9.926 meter.
2. *Leg* 2 memiliki panjang 10.437 meter dimana memiliki sudut sebesar 121° dengan *Leg* 1.
3. *Leg* 3 memiliki panjang 7.161 meter dimana membentuk sudut sebesar 179° dengan *Leg* 2.
4. *Leg* 4 memiliki panjang 12.045 meter dimana membentuk sudut sebesar 74° dengan *Leg* 2.
5. *Leg* 5 memiliki panjang 9.809 meter dimana membentuk sudut sebesar 127.5° dengan *Leg* 4.
6. *Leg* 6 memiliki panjang 10.940 meter dimana membentuk sudut sebesar 0° dengan *Leg* 5.
7. *Leg* 9 memiliki panjang 2.256 meter.



Gambar 4. 2 *Density Plot* pada website *Marine Traffic*

Gambar 4.2 menunjukkan density plot yang ada pada *Marine Traffic*. *Density Plot* tersebut nantinya akan digunakan sebagai acuan pembuatan *Leg* yang akan digunakan untuk perhitungan frekuensi. Daerah yang diberi lingkaran merah merupakan area dimana *Leg* akan dibuat.



Gambar 4. 3. Model *Leg* yang digunakan untuk analisis frekuensi

Gambar 4.3 merupakan model *Leg* yang digunakan penulis dalam melakukan analisis frekuensi tubrukan kapal. Pada analisis ini, penulis menggunakan 3 jenis skenario yaitu *head-on collision*, *Overtaking Collision*, dan *Crossing Collision*.

Dalam melakukan analisis terhadap 3 skenario tersebut, diperlukan data kecepatan kapal. Untuk data kecepatan kapal yang masuk ke Pelabuhan Dumai, penulis menggunakan referensi dari publikasi *loss prevention bulletin* yang disusun oleh Asosiasi Pelaut Jepang terhadap kapal pada saat berada di area alur pelabuhan. Pada artikel tersebut ditentukan bahwa kapal pada jarak 4L memasuki pelabuhan tujuan bergerak dengan kecepatan 6,6 knots dan 3,3 knots.

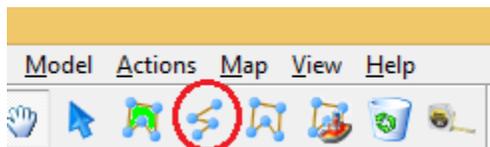
4.3 Perhitungan Frekuensi Kapal pada IWRAP

IWRAP merupakan perangkat permodelan yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko, dimana estimasi dari frekuensi tubrukan dan *grounding* didasarkan pada informasi lalu lintas pelayaran dan *route geometry*. Pada tugas akhir ini proses perhitungan frekuensi dengan IWRAP akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Membuka *Software IWRAP* terlebih dahulu. Selanjutnya memilih area pada peta di IWRAP tempat dimana akan dibuat perhitungan frekuensi tubrukan.
2. Membuat *Leg*. *Leg* sendiri merupakan lintasan yang digunakan dimana tubrukan akan terjadi. Pembuatan *Leg* pada IWRAP dapat dilakukan dengan mengklik *Toolbar Leg Tool*.

Gambar 4.4 merupakan toolbar *Leg Tool* yang digunakan dalam pembuatan *Leg*. Dalam pembuatan *Leg* dapat dilakukan dengan menggabungkan beberapa *waypoint* . Pada

analisis yang dilakukan penulis menggunakan 3 jenis skenario yaitu *Head-on collision*, *Overtaking Collision*, dan *Crossing Collision*



Gambar 4. 4 Toolbar untuk membuat *Leg*

Pembuatan *Leg* dengan menggabungkan beberapa *waypoint* sesuai skenario yang akan dibuat.

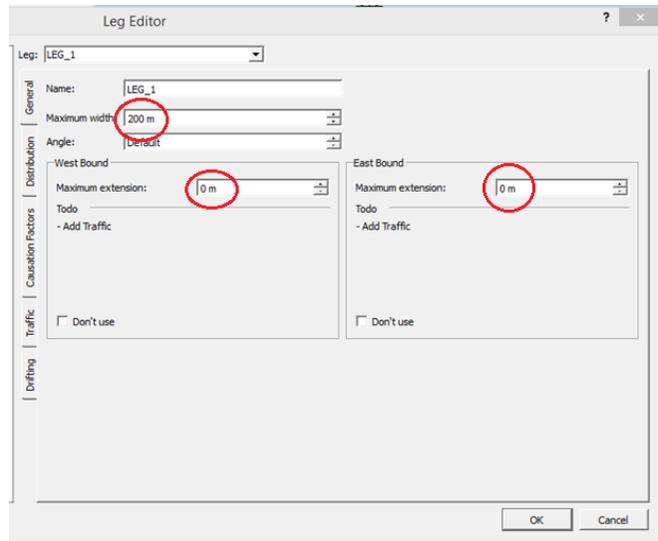


Gambar 4. 5 *Leg* yang dibuat untuk menghitung besarnya frekuensi tubrukan

Gambar 4.5 merupakan model *Leg* yang digunakan penulis dalam melakukan analisis frekuensi tubrukan kapal. Untuk *Leg* yang digunakan seperti yang telah dibahas dalam sub bab 4.2 jumlah *Leg* yang dibuat adalah 7 *Leg*.

3. Setelah *Leg* terbentuk ,klik 2 kali pada *Leg* tersebut sampai muncul *Leg* editor. Pada *Leg* editor nanti akan ada beberapa pilihan yang telah dijelaskan pada sub bab 3.4.1
 - Pada general isikan *maximum width* sebesar 200 meter. Alasan dipilih 200 m dikarenakan lebar Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai sebesar 200 m sedangkan untuk *maximum extension* isikan angka 0.

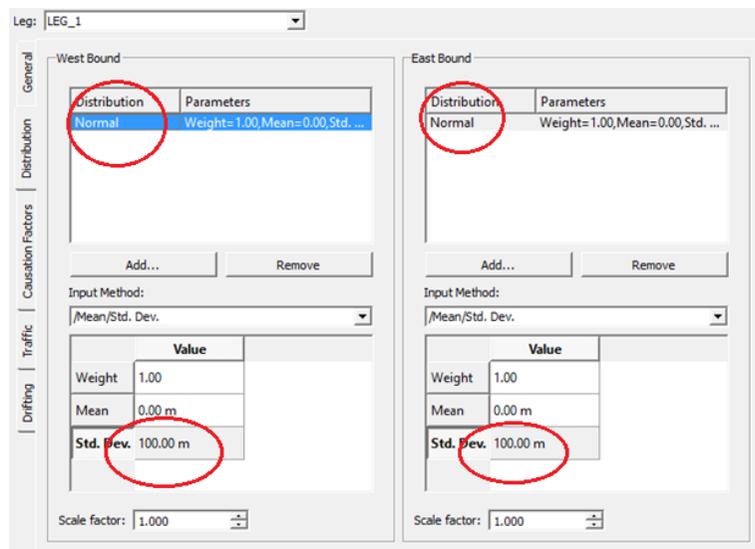
Gambar 4.6 merupakan *menu general* pada *Leg* editor. Untuk pengisian *maximum width* tergantung dari lebar alur pelayaran yang dibuat. Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan 200 m sebagai lebar Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai.



Gambar 4. 6 Leg Editor bagian menu General

- Pada distribusi pilih distribusi normal setelah itu isikan besarnya standar deviasi 100 m. Alasan dipilihnya 100 m dikarenakan lebar Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai seperti yang telah diketahui sebelumnya sebesar 200 m sehingga besarnya standar deviasi adalah setengah dari besarnya lebar alur yang dibuat, dalam tugas akhir ini adalah 100 m

Selanjutnya untuk tipe distribusi yang dipilih pilih distribusi normal.



Gambar 4. 7 Leg Editor bagian menu Distribution.

Gambar 4.7 merupakan menu distribution pada Leg editor. Untuk pengisian jenis distribusi pilih distribusi normal. Dikarenakan untuk tugas akhir sebelumnya yang telah

dilakukan serta rekomendasi dari *IWRAP Theory* untuk tipe distribusi pilih distribusi normal. Untuk standar deviasi seperti yang telah disebutkan sebelumnya isikan 100 meter.

- Pada menu *causation factor* pada tugas akhir ini menggunakan *causation factor default* dari sistem *Software IWRAP* sendiri yaitu sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Nilai *Causation factor*

Condition	Causation factor
<i>Head-on Collisions</i>	$1,3 \times 10^{-4}$
<i>Overtaking Collisions</i>	1.1×10^{-4}
<i>Crossing Collision</i>	1.3×10^{-4}
Collisions in bend	1.3×10^{-4}
Collisions in merging	1.3×10^{-4}

Tabel 4.1 merupakan nilai *Causation factor* yang ada pada sistem *IWRAP*. Nilai *causation factor* sendiri dipengaruhi oleh letak perairan yang digunakan untuk analisis. Namun dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat keterbatasan data mengenai data *causation factor* yang ada di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai sehingga menggunakan nilai *causation factor* yang telah ada di pada *Software IWRAP*.

- Selanjutnya pada menu *traffic* di *westbound* klik edit dan *paste data cluster* kapal yang telah dibuat, lakukan hal yang sama pada *eastbound* juga.

Frequency	Grude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier
0-25	0	0	0	0	0	0	0
25-50	6	0	3	0	3	0	0
50-75	0	25	28	0	0	155	0
75-100	23	320	89	136	32	213	12
100-125	0	244	165	35	112	231	23
125-150	0	159	226	0	83	76	10
150-175	9	155	72	3	26	18	25
175-200	42	225	143	0	38	16	114
200-225	9	0	0	3	15	3	9
225-250	175	62	6	6	5	0	33
250-275	41	0	0	0	12	0	3
275-300	0	0	0	5	6	0	154
300-325	15	0	6	0	15	0	0
325-350	284	3	0	0	3	3	0
350-375	0	0	0	0	12	0	0
375-400	0	0	0	0	12	0	0

Gambar 4. 8 Proses pemasukan data *cluster* kapal yang dilakukan

Gambar 4.8 merupakan menu *traffic* yang ada pada *Leg editor*. Untuk proses penginputan data pastikan bahwa format data *cluster* kapal yang dibuat telah sesuai

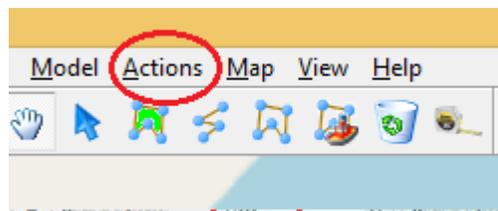
dengan format yang dimiliki oleh *Software* IWRAP sehingga tidak akan terjadi kesalahan saat perhitungan frekuensi nantinya.



Gambar 4. 9 Proses memasukkan data *cluster* kecepatan kapal

Gambar 4.9 merupakan menu *traffic* yang ada pada *Leg* editor. Sama seperti penginputan *cluster* kapal, dapat dilakukan juga penginputan kecepatan rata-rata kapal yang akan masuk atau keluar *Leg*. Jika pada penginputan *cluster* jenis kapal menggunakan *frequency* pada penginputan kecepatan kita pilih *average speed* seperti gambar diatas.

- Setelah itu klik Ok. Lakukan hal yang sama pada masing-masing *Leg* yang dibuat sehingga masing-masing *Leg* memiliki nilai distribusi.
4. Setelah semua *Leg* telah diisi dengan nilai distribusi yang ada kemudian pilih *Action* pada *Menu bar*.



Gambar 4. 10 Pilihan *Action* pada *Menu Bar*

Gambar 4.10 merupakan *menu bar Actions*. Setelah semua *Leg* dipastikan telah diisi dengan nilai distribusi yang ada dilakukan proses *running* dengan *Start Job*.

Overtaking	306.5	Years between i...
HeadOn	48.93	Years between i...
Crossing	313	Years between i...
Merging	205.5	Years between i...
Bend	205.5	Years between i...
Area	---	Years between i...
Total Collisions	27.3	Years between i...

Gambar 4. 11 Hasil Perhitungan Frekuensi Tubrukan dengan IWRAP.

Gambar 4.11 merupakan hasil dari *running* yang telah dilakukan. Dalam gambar diatas berarti 1 kecelakaan akan terjadi setelah 306,5 tahun , untuk *Head-on* berarti 1 kecelakaan akan terjadi saat 48,93 tahun, selanjutnya untuk *Crossing* berarti 1

kecelakaan akan terjadi saat 313 tahun dan total keseluruhan *collision* yang terjadi yaitu 1 kecelakaan akan terjadi saat 27,3 tahun.

5. Pilih *Show ship-ship result table* untuk mengetahui besarnya masing-masing jenis *collision* yang terjadi.

Item	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Pleasure boat	Other ship	Sum
Crude oil tanker	0.015488	0.022091	0.012768	0.0027772	0.0033243	0.0087218	0.0084582	0.0018794	0.0029029	0.00012142	0.0029198	0.00010896		0.0018728	0.0831714
Oil products tanker	0.022091	0.027798	0.0161291	0.0033979	0.0070461	0.0159868	0.0119797	0.0029246	0.0015154	0.00015053	0.0029427	0.000130787		0.00222901	0.199479
Chemical tanker	0.012768	0.0161291	0.0094571	0.0019962	0.00414895	0.00624784	0.0067733	0.00134026	0.00181865	8.80123e-05	0.00178094	8.18242e-05		0.0013142	0.0639225
Gas tanker	0.0027772	0.0033979	0.0019962	0.00040364	0.000951746	0.00126475	0.00146106	0.000275473	0.000361139	1.78864e-05	0.000342739	1.63776e-05		0.000271287	0.0134439
Container ship	0.0033243	0.0070461	0.00414895	0.000951746	0.0146825	0.00302563	0.0030899	0.000555199	0.00078987	3.57139e-05	0.00078854	3.62447e-05		0.00058698	0.0272887
General cargo ship	0.0087218	0.0159868	0.00624784	0.00126475	0.00269583	0.00382216	0.00426811	0.00033853	0.00106658	3.33094e-05	0.00102112	5.19923e-05		0.00084998	0.0417482
Bulk carrier	0.0084582	0.0119797	0.0067733	0.00146106	0.002099	0.00462811	0.0040471	0.00092964	0.00145389	6.50809e-05	0.00133391	6.05381e-05		0.00080241	0.0423897
Ro-Ro cargo ship	0.0018794	0.0029029	0.00134026	0.000275473	0.00053339	0.00083363	0.000972964	0.000181663	0.00034377	1.16043e-05	0.00029284	1.07335e-05		0.000183857	0.00097042
Passenger ship	0.0029029	0.0035154	0.00181865	0.00078987	0.000787997	0.00106658	0.00145389	0.000245377	0.00021192	1.52483e-05	0.000264672	1.17275e-05		0.000229112	0.0123773
Fast ferry	0.00012142	0.00015053	8.80123e-05	1.78864e-05	3.57139e-05	5.33094e-05	6.50809e-05	1.16043e-05	1.52483e-05	7.28836e-07	1.44432e-05	7.41905e-07		1.21742e-05	0.000587893
Support ship	0.0029198	0.0029427	0.00178094	0.000342739	0.00078854	0.00102112	0.00133391	0.00023034	0.000264672	1.44432e-05	0.00025813	1.31361e-05		0.00023611	0.0117511
Fishing ship	0.00010896	0.000130787	8.18242e-05	1.63776e-05	3.62447e-05	5.19923e-05	6.05381e-05	1.07335e-05	1.17275e-05	7.41905e-07	1.31361e-05	9.62898e-07		1.13139e-05	0.00033355
Pleasure boat															
Other ship	0.0018728	0.00222901	0.0013142	0.000271287	0.00058698	0.00084998	0.00080241	0.00183857	0.000229112	1.21742e-05	0.00023611	1.13139e-05		0.00017283	0.0089835
Sum	0.0831714	0.199479	0.0639225	0.0134439	0.0272887	0.0417482	0.0423897	0.0097042	0.0123773	0.000587893	0.0117511	0.00033355		0.0089835	0.429641

Gambar 4. 12 Hasil Perhitungan *Head-On*

Gambar 4.12 merupakan hasil dari perhitungan frekuensi untuk *Head-on Situation*. Dalam gambar diatas kita dapat melihat frekuensi tubrukan yang terbesar terjadi antara kapal tanker. Hal tersebut dikarenakan jumlah dari kapal tanker mendominasi dari data kapal yang masuk ataupun keluar pada Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai.

Item	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Pleasure boat	Other ship	Sum
Crude oil tanker	0.0014672	0.0008621	9.17746e-05	0.00047328	0.00737177	0.00737177	8.12472e-05	0.0015127	0.00228026	0.000151985	0.0021823	1.48244e-05		2.25629e-05	0.002249
Oil products tanker	0.00097992	0.00019355	0.0001468	0.00011794	0.0004621	0.0010123	0.000210307	0.00271551	0.00014872	0.0003971	3.52819e-05			4.69015e-05	0.0016004
Chemical tanker	0.00013712	0.000151802	0.000149919	0.000838562	0.0050107	0.00438951	0.00162362	0.0013059	0.00018789	0.000138018	0.00178334	2.6361e-05		3.35959e-05	0.0021052
Gas tanker	7.34261e-05	2.49999e-05	3.98743e-06	2.02856e-05	0.00096603	0.00093807	3.80279e-06	0.000202023	0.000259805	2.04819e-05	0.00023782	7.86377e-07		1.26386e-06	0.000261891
Container ship	0.000979709	0.00019721	1.92071e-05	0.0001153	8.67935e-05	0.00191914	2.18173e-05	2.78172e-05	1.64837e-06	1.32939e-05	6.19944e-05	4.0123e-06		5.92393e-06	0.0011332
General cargo ship	0.00074738	0.00023863	2.98878e-05	0.00073369	0.00043433	0.00026237	3.09884e-05	4.18229e-05	2.63229e-06	3.09781e-05	8.27344e-05	6.09446e-06		7.94777e-06	0.00241318
Bulk carrier	0.00185206	0.00107021	0.00012712	0.000582079	0.00032277	0.00466906	0.00112668	0.00097204	0.0012874	9.73789e-05	0.00012687	1.79731e-05		2.58067e-05	0.0156713
Ro-Ro cargo ship	0.000123178	7.39994e-05	7.62789e-06	4.31255e-05	0.00164437	7.01965e-05	7.96644e-06	1.01626e-05	5.81826e-07	6.83061e-06	2.17184e-05	1.43842e-06		1.94767e-06	0.000571711
Passenger ship	0.000339841	0.0002225	1.29679e-05	7.25069e-05	0.000235078	0.000114865	1.3566e-05	1.69311e-05	1.03789e-06	9.81031e-06	3.22276e-05	2.46935e-06		2.604e-06	0.00099598
Fast ferry										2.70209e-10					2.70209e-10
Support ship	0.00020995	7.05303e-05	7.75266e-06	4.32254e-05	0.000207147	6.63635e-05	7.78997e-06	1.06179e-05	7.24733e-07	8.24546e-06	1.87657e-05	1.56662e-06		1.77339e-06	0.000630488
Fishing ship	2.48599e-05	9.04851e-06	9.75839e-07	5.18179e-06	4.07245e-05	4.78934e-05	1.00781e-06	9.50269e-06	9.34762e-06	1.09996e-06	1.21543e-05	1.69775e-07		1.66884e-07	0.00016223
Pleasure boat															
Other ship	0.000480333	0.000212196	2.26156e-05	0.000118431	0.00072336	0.000874387	2.30176e-05	0.000181014	0.000388016	1.90674e-05	0.00034251	3.77217e-06		4.39246e-06	0.00310675
Sum	0.012605	0.00642248	0.00069307	0.0019959	0.011793	0.010286	0.00061917	0.0063378	0.0081473	0.000710281	0.0089736	0.00014771		0.000154887	0.105138

Gambar 4. 13 Hasil Perhitungan *Overtaking*

Gambar 4.13 merupakan hasil dari perhitungan frekuensi untuk *Overtaking Situation*. Dalam gambar diatas kita dapat melihat frekuensi tubrukan yang terbesar terjadi antara kapal tanker dengan kapal Cargo.

Gambar 4.14 merupakan hasil dari perhitungan frekuensi untuk *Crossing Situation*. Dalam gambar diatas kita dapat melihat frekuensi tubrukan yang terbesar terjadi antara kapal tanker dengan kapal Cargo dan antara kapal tanker dengan kapal tanker. Proses perhitungan frekuensi untuk *Crossing Situation* dipengaruhi oleh sudut yang dibentuk lintasan sehingga besarnya sudut yang dibuat dalam pembuatan *Leg* akan berpengaruh terhadap hasil dari perhitungan.

Item	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Pleasure boat	Other ship	Sum
Crude oil tanker	0.0001862	0.00040419	0.00029877	6.3741e-05	8.71134e-05	0.00013623	0.00023837	2.5844e-05	1.7756e-05	1.3142e-06	1.879e-05	3.6339e-06		3.7328e-05	0.00180744
Oil products tanker	0.00042075	0.00090966	0.00049009	0.00012011	0.00019367	0.00026462	0.00045219	5.1035e-05	3.8647e-05	2.8474e-06	3.6271e-05	6.2948e-06		6.88041e-05	0.00330462
Chemical tanker	0.00055192	0.00017062	0.00046379	7.64867e-05	0.00012434	0.000169	0.00028273	3.3044e-05	2.2011e-05	1.8827e-06	2.3478e-05	3.7945e-06		4.3619e-05	0.00203352
Gas tanker	0.00014368	0.00014719	9.27234e-05	1.9416e-05	3.1956e-05	4.3086e-05	7.48407e-05	8.4505e-06	5.6072e-06	4.81667e-07	5.9489e-06	9.4650e-07		1.1032e-05	0.00050206
Container ship	0.000271881	0.00038346	0.000182741	3.8495e-05	5.88612e-05	8.32071e-05	0.000145681	1.60274e-05	1.07775e-05	8.9342e-07	1.16435e-05	1.94823e-06		2.2117e-05	0.00113333
General cargo ship	0.000252882	0.000459204	0.000343875	7.17134e-05	0.000115093	0.000156733	0.00027845	3.05654e-05	1.87716e-05	1.68336e-06	2.09497e-05	3.4444e-06		4.0094e-05	0.00215479
Bulk carrier	0.00027897	0.000298747	0.000190402	4.04336e-05	6.38281e-05	8.80451e-05	0.000149713	1.69632e-05	1.16623e-05	8.84464e-07	1.28745e-05	2.1489e-06		2.34004e-05	0.00117714
Ro-Ro cargo ship	0.00034e-05	0.4748e-05	6.02996e-05	1.26847e-05	2.00279e-05	2.76942e-05	4.80591e-05	5.32227e-06	3.48021e-06	2.87993e-07	3.78228e-06	6.52689e-07		7.26591e-06	0.00037308
Passenger ship	0.000144405	0.000152189	8.75888e-05	2.04871e-05	3.28085e-05	4.50641e-05	7.79988e-05	8.58797e-06	5.34668e-06	4.82746e-07	5.80749e-06	1.08402e-06		1.16744e-05	0.00060351
Fast ferry	7.74297e-06	0.0792e-06	5.09121e-06	1.884e-06	1.68341e-06	2.30444e-06	4.1062e-06	4.47975e-07	2.8226e-07	2.46697e-08	3.18622e-07	5.14394e-08		6.05354e-07	3.1804e-05
Support ship	0.000172248	0.000177287	0.000118117	2.31777e-05	3.78127e-05	5.07841e-05	9.10182e-05	9.8229e-06	6.22964e-06	5.44006e-07	6.57378e-06	1.08831e-06		1.3079e-05	0.00070132
Fishing ship	1.01108e-05	1.06201e-05	6.67301e-06	1.37012e-06	2.35201e-06	3.08549e-06	5.57808e-06	6.30671e-07	4.31003e-07	3.47388e-08	4.31916e-07	5.34008e-08		7.63627e-07	4.3235e-05
Pleasure boat															
Other ship	0.86485e-05	0.00010166	6.37285e-05	1.32783e-05	2.20344e-05	2.95118e-05	5.18843e-05	5.8348e-06	3.8388e-06	3.3014e-07	4.03404e-06	6.24022e-07		7.50896e-06	0.000403009
Sum	0.0005267	0.0007628	0.0023048	0.00052039	0.00082923	0.00109895	0.0019009	0.00021204	0.0001408	1.21085e-05	0.000151962	2.57817e-05		0.000287996	0.0148296

Gambar 4. 14 Hasil Perhitungan *Crossing Collision*

Item	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Pleasure boat	Other ship	Sum
Crude oil tanker	0.0186961	0.0248822	0.0140678	0.0030457	0.0113542	0.0166802	0.0094808	0.0034804	0.0028077	0.00281076	0.00482672	0.00013288		0.0004319	0.114866
Oil products tanker	0.0282792	0.0311105	0.0180404	0.0044689	0.0158833	0.0217748	0.0134767	0.00461427	0.00604	0.000178056	0.00095748	0.000184872		0.00023241	0.168178
Chemical tanker	0.0178678	0.0196953	0.0108759	0.00309311	0.00964817	0.0132895	0.0079586	0.00277946	0.00356039	0.000232639	0.00031761	0.000119543		0.00140766	0.0942358
Gas tanker	0.00344964	0.00394223	0.00230913	0.000496935	0.00178755	0.00238128	0.00172105	0.000518642	0.000645875	4.02493e-05	0.00021499	1.99655e-05		0.000309757	0.0181153
Container ship	0.00689543	0.00038359	0.00479326	0.0011018	0.00198888	0.00311442	0.00443226	0.000647179	0.000839707	5.25951e-05	0.00083085	4.40386e-05		0.000680033	0.0324989
General cargo ship	0.0112438	0.0127228	0.00741783	0.00167339	0.00377913	0.00465488	0.00339034	0.00091774	0.00115334	9.06957e-05	0.00118773	6.81732e-05		0.00088289	0.0515462
Bulk carrier	0.0113742	0.0138136	0.00759225	0.00219282	0.0066946	0.00966966	0.0052532	0.00198627	0.00281707	0.000166899	0.0027828	8.51741e-05		0.00109244	0.0055324
Ro-Ro cargo ship	0.00233033	0.00210949	0.00155869	0.000362733	0.000799881	0.00101101	0.0015183	0.000215446	0.00026342	1.96475e-05	0.000267861	1.40889e-05		0.000218869	0.010109
Passenger ship	0.00378777	0.00039912	0.00218056	0.00050904	0.00117788	0.00135644	0.00175547	0.000382641	0.000306774	2.71179e-05	0.00021279	1.72791e-05		0.00027228	0.0158469
Fast ferry	0.000147925	0.000177864	0.000105851	2.13984e-05	4.20044e-05	6.16955e-05	7.88089e-05	1.231e-05	1.64959e-05	8.22096e-07	1.38891e-05	8.91688e-07		1.41822e-05	0.00069619
Support ship	0.00341111	0.0038123	0.00210532	0.000461739	0.00108482	0.00126883	0.00146519	0.00027704	0.000290713	2.47106e-05	0.000300111	1.78865e-05		0.000247827	0.0147877
Fishing ship	0.000164393	0.000170628	0.000105643	2.34545e-05	4.81273e-05	0.000109344	7.72101e-05	2.21572e-05	2.24306e-05	1.84938e-06	2.66685e-05	1.29048e-06		1.16681e-05	0.00020959
Pleasure boat															
Other ship	0.00266727	0.00278251	0.0015463	0.000433334	0.0019359	0.00182751	0.00117541	0.000386793	0.00045166	3.24773e-05	0.00047903	1.69195e-05		0.000204257	0.0134154
Sum	0.11403	0.12689	0.073096	0.0188217	0.0357199	0.071796	0.027986	0.0162211	0.0216993	0.0014894	0.021398	0.00077387		0.0101088	0.58976

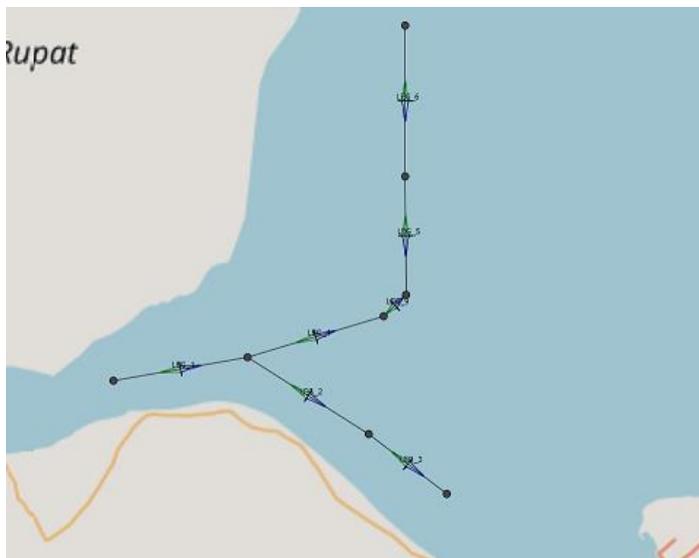
Gambar 4. 15 Hasil Perhitungan Total Frekuensi Tubrukan

Gambar 4.15 merupakan hasil dari perhitungan total frekuensi yang terjadi. Dari gambar diatas kita dapat melihat frekuensi tubrukan yang terbesar terjadi antara kapal tanker dengan kapal tanker, selanjutnya diikuti tubrukan yang terjadi antara kapal tanker dengan kapal cargo.

4.4 Validasi Perhitungan

Dalam tugas akhir ini dilakukan validasi perhitungan antara hasil perhitungan manual dengan hasil dari perhitungan menggunakan *Software IWRAP*. Validasi dilakukan pada masing-masing skenario yang dilakukan.

Gambar 4.16 menunjukkan lintasan yang digunakan untuk melakukan perhitungan manual tubrukan kapal skenario *Head-on Collision*. Pada perhitungan *Head-on Collision* akan dilakukan pada masing-masing *Leg* yang ada. Pada perhitungan frekuensi skenario *Head-on Collision* dipengaruhi oleh besarnya lebar yang digunakan, sehingga penentuan besarnya lebar kapal yang digunakan dalam perhitungan sangat berpengaruh terhadap hasil dari perhitungan.



Gambar 4. 16 Lintasan untuk Skenario *Head-on Collision*

4.4.1 Perhitungan Manual skenario *Head-on Collision*

Head-on Collision merupakan tubrukan yang terjadi yang dalam satu alur dimana kapal akan bertubrukan dengan posisi saling berhadapan Perhitungan manual dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai frekuensi tubrukan kapal yang nantinya hasil dari perhitungan manual berdasarkan *IWRAP Theory* akan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan *Software IWRAP*.

Berikut merupakan contoh perhitungan manual yang dilakukan untuk skenario *Head-on Collision*:

Tabel 4. 2 Dimensi Kapal dan Alur skenario *Head-on Collision*

Dimensi Utama Kapal	
Nama Kapal <i>i</i>	: HELEN 118
Nama Kapal <i>j</i>	: MT THERESA GALAXY
Panjang Kapal <i>i</i>	: 64 m
Panjang Kapal <i>j</i>	: 48 m
Lebar Kapal <i>i</i>	: 10 m
Lebar Kapal <i>j</i>	: 8 m
Q_i	: 106
Q_j	: 18
Data Alur dan Distribusi	
Panjang Alur	: 9.926 m
Mean <i>i</i> (μ_i)	: 0
Mean <i>j</i> (μ_j)	: 0
Standar Deviasi <i>i</i>	: 100 m
Standar Deviasi <i>j</i>	: 100 m

1. Perhitungan Kecepatan Relatif Kapal (V_{ij})

$$\begin{aligned}
 V_i &= 6,6 \quad \text{Knots} \\
 V_i &= 3,395 \quad \text{m/s} \\
 V_j &= 3,3 \quad \text{Knots} \\
 V_j &= 1,6977 \quad \text{m/s} \\
 V_{ij\text{Head-on}} &= V_i + V_j \\
 &= 3,395 + 1,6977 \quad \text{m/s} \\
 &= 5,0927 \quad \text{m/s}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Lebar Rata-rata Kapal (B_{ij})

$$\begin{aligned}
 B_{ij\text{Head-on}} &= \left(\frac{B_i + B_j}{2} \right) \text{ m} \\
 &= \left(\frac{10 + 8}{2} \right) \text{ m} \\
 &= 9 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Collision Probability (P_g)

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{ij}) &= \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2} \\
 (\sigma_{ij}) &= 141.4213562 \\
 P_g &= \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \\
 P_g &= 0,12728
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Geometric Number ($N_G^{\text{head-on}}$)

$$\begin{aligned}
 N_G^{\text{head-on}} &= L_W \sum_{i,j} P_{G_{ij}}^{\text{head-on}} \frac{V_{ij}}{V_i V_j} (Q_i Q_j) \\
 N_G^{\text{head-on}} &= 0,06848
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan Frekuensi (λ)

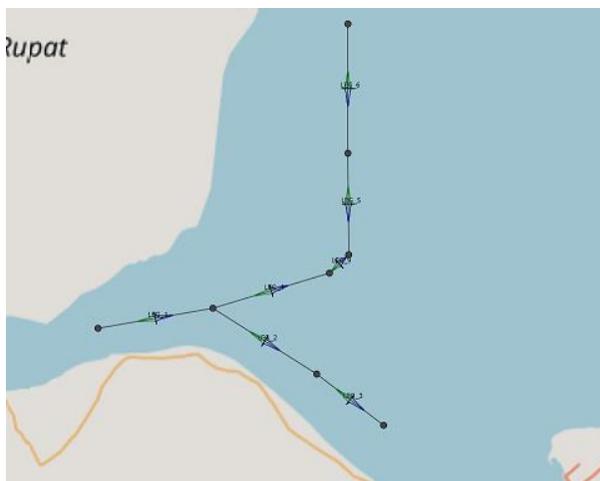
$$\begin{aligned}
 P_c &: 1.3 \times 10^{-4} \\
 \lambda_{\text{Head-on}} &= P_c \times N_G \\
 \lambda_{\text{Head-on}} &= 8.90177\text{E-}06
 \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan akan dilakukan perhitungan sesuai *cluster* dari panjang dan jenis kapal yaitu pada tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan sebanyak 74 serta akan dilakukan perhitungan pada tiap *Leg* yang telah dibuat.

4.4.2 Perhitungan skenario *Overtaking Collision*

Overtaking Collision terjadi ketika terdapat perbedaan kecepatan antar kapal yang melewati alur yang sama. Pada tugas akhir ini dilakukan perhitungan *Overtaking Collision* pada masing-masing *Leg* yang telah dibuat pada pada *Software IWRAP*. Selanjutnya membandingkan dan menghitung nilai *error* yang terjadi antara perhitungan manual dan hasil dari *IWRAP*.

Gambar 4.17 menunjukkan lintasan yang akan digunakan untuk perhitungan tubrukan skenario *Overtaking Collision*. Sama halnya dengan *Head-on Collision* pada *Overtaking Collision* akan dilakukan perhitungan pada masing-masing *Leg*.



Gambar 4. 17 Lintasan Perhitungan *Overtaking Collision*

Berikut merupakan proses dari perhitungan manual yang dilakukan :

Tabel 4. 3 Dimensi Kapal dan Alur skenario *Overtaking Collision*

Dimensi Utama Kapal	
Nama Kapal <i>i</i>	: GLOBAL ACE
Nama Kapal <i>j</i>	: MT SEA GULL 351
Panjang Kapal <i>i</i> :	: 164 m
Panjang Kapal <i>j</i>	: 82 m
Lebar Kapal <i>i</i>	: 24 m
Lebar Kapal <i>j</i>	: 18 m
<i>Q_i</i>	: 36
<i>Q_j</i>	: 568
Data Alur dan Distribusi	
Panjang Alur	: 9.926 m
<i>Mean i</i> (μ_i)	: 0
<i>Mean j</i> (μ_j)	: 0
Standar Deviasi <i>i</i>	: 100
Standar Deviasi <i>j</i>	: 100

1. Perhitungan Kecepatan Relatif Kapal (V_{ij})

$$\begin{aligned}
 V_i &= 6 \quad \text{Knots} \\
 V_i &= 3,08677 \quad \text{m/s} \\
 V_j &= 3,3 \quad \text{Knots} \\
 V_j &= 1,6977 \quad \text{m/s} \\
 V_{ij \text{Overtaking}} &= V_i + V_j \\
 &= 3,08677 - 1,6977 \text{ m/s} \\
 &= 1,389 \quad \text{m/s}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Lebar Rata-rata Kapal (B_{ij})

$$\begin{aligned}
 B_{ij \text{Overtaking}} &= \left(\frac{B_i + B_j}{2} \right) \text{ m} \\
 &= \left(\frac{10 + 18}{2} \right) \text{ m} \\
 &= 21 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Collision Probability (P_g)

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{ij}) &= \sqrt{(\sigma_i)^2 + (\sigma_j)^2} \\
 (\sigma_{ij}) &= 141,4213562 \\
 P_g &= \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \\
 P_g &= 0,29698
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Geometric Number ($N_G^{\text{Overtaking}}$)

$$\begin{aligned}
 N_G^{\text{Overtaking}} &= L_W \sum_{i,j} P_{G_{i,j}}^{\text{Overtaking}} \cdot \frac{V_{ij}}{V_i V_j} (Q_i Q_j) \\
 N_G^{\text{Overtaking}} &= 0,51369
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan Frekuensi Tubrukan (λ)

$$P_c : 1.1 \times 10^{-4}$$

$$\Lambda_{\text{Overtaking}} = P_c \times N_G$$

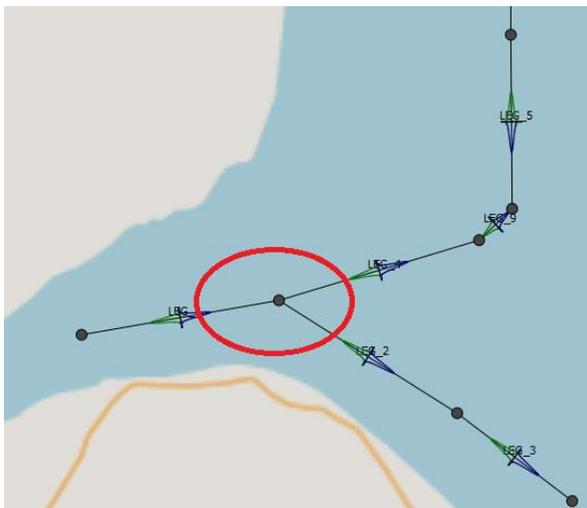
$$\Lambda_{\text{Overtaking}} = 5.65061\text{E-}04$$

Sesuai jenis kapal yang ada akan dilakukan perhitungan frekuensi terjadinya *Overtaking Collision* sesuai *cluster* panjang yang telah dilakukan yaitu sebanyak 74 dilanjutkan dengan melakukan perhitungan sebanyak *Leg* yang telah dibuat.

4.4.3 Perhitungan skenario *Crossing Collision*

Crossing Collision terjadi ketika terdapat suatu kapal memiliki alur dengan kapal lain saling bersinggungan dan membentuk suatu sudut sehingga dapat terjadi tubrukan.

Gambar 4.18 menunjukkan posisi dimana akan dilakukan perhitungan manual mengenai tubrukan kapal dengan skenario *Crossing Collision*. Pada gambar tersebut terdapat 3 sudut yang dibentuk oleh lintasan. Dalam perhitungan manual skenario *Crossing Collision* akan digunakan 3 sudut yaitu 74° , 121° , dan 165°



Gambar 4. 18 Posisi dimana Skenario *Crossing Collision*

Berikut merupakan proses dari perhitungan manual yang dilakukan :

Tabel 4. 4 Dimensi Kapal dan Alur skenario *Crossing Collision*

Dimensi Utama Kapal	
Nama Kapal <i>i</i>	: HELEN 118
Nama Kapal <i>j</i>	: MT THERESA GALAXY
Panjang Kapal <i>i</i>	: 64 m
Panjang Kapal <i>j</i>	: 48 m
Lebar Kapal <i>i</i>	: 10 m
Lebar Kapal <i>j</i>	: 8 m
Q_i	: 106
Q_j	: 18
Data Alur dan Distribusi	
Panjang Alur	: 9.926 m
Mean <i>i</i> (μ_i)	: 0
Mean <i>j</i> (μ_j)	: 0
Standar Deviasi <i>i</i>	: 100
Standar Deviasi <i>j</i>	: 100

1. Perhitungan Kecepatan Relatif Kapal (V_{ij})

$$V_i = 6,6 \quad \text{Knots}$$

$$V_i = 3,395 \quad \text{m/s}$$

$$V_j = 3,3 \quad \text{Knots}$$

$$V_j = 1,6977 \quad \text{m/s}$$

$$\cos\theta = -0.515$$

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

$$V_{ij} = 4.510857223 \text{ m/s}$$

2. Perhitungan Collision Diameter (D_{ij})

$$\sin\theta = 0.8571673$$

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

$$D_{ij} = 60.13824215 \text{ m}$$

3. Perhitungan Geometric Number (N_G^{Crossing})

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

$$N_G^{\text{crossing}} = 0.003834091$$

4. Perhitungan Frekuensi Tubrukan (λ)

$$P_c : 1.3 \times 10^{-4}$$

$$\Lambda_{\text{Crossing}} = P_c \times N_G$$

$$\Lambda_{\text{Crossing}} = 4.98432\text{E-}08$$

Perhitungan manual pada skenario tubrukan *Crossing Collision* akan dilakukan sebanyak 74 kali sesuai dengan *cluster* kapal yang ada. Selanjutnya dilakukan perhitungan lain dengan mengganti sudut skenario *Crossing Collision* dimana dalam tugas akhir ini menggunakan 3 sudut yaitu 121° , 165° , dan 74°

4.4.4 Validasi Perhitungan Frekuensi Tubrukan Kapal

Validasi perhitungan dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara hasil perhitungan dengan perhitungan manual berdasarkan *IWRAP Theory* dengan perhitungan menggunakan *Software IWRAP*.

Berikut merupakan hasil dari validasi perhitungan yang dilakukan :

Dari Tabel 4.5 dapat diketahui terdapat *error* sebesar 1,15% antara perhitungan manual dengan perhitungan dengan *IWRAP*. Hal tersebut berarti sebesar 98,85 % terdapat kecocokan antara perhitungan manual dengan perhitungan dengan *Software IWRAP*.

Tabel 4. 5 Hasil Validasi Skenario *Head-on Collision*

Validasi Perhitungan Skenario Overtaking	
IWRAP	Manual
0.105138	0.10392816
Selisih =	0.00120984
<i>Error</i> =	1.15%

Tabel 4. 6 Hasil Validasi Skenario *Head-on Collision*

Validasi Perhitungan Skenario Head-on	
IWRAP	Manual
0.429641	0.421869998
Selisih =	0.007771002
<i>Error</i> =	1.81%

Dari Tabel 4.6 dapat diketahui antara perhitungan manual dengan perhitungan dengan IWRAP memiliki *error* sebesar 1.81%

Tabel 4. 7 Hasil Validasi Skenario *Crossing Collision*

Validasi Perhitungan Skenario Crossing	
IWRAP	Manual
0.0148296	0.014646302
Selisih =	0.000183298
<i>Error</i> =	1.24%

Tabel 4.7 menunjukkan perbandingan antara hasil perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan *Software* IWRAP. Pada tabel diatas terlihat *error* yang dihasilkan adalah sebesar 1,24 %. *Error* memiliki nilai yang kecil sehingga mengartikan bahwa terdapat kecocokan sebesar 98.76 % antara perhitungan manual dengan hasil *Software* IWRAP.

Berdasarkan hasil validasi diatas dari ketiga skenario yang ada masih memiliki nilai *error*. Berikut merupakan alasan masih terdapat *error* pada perhitungan yang dilakukan :

1. Pada skenario tubrukan *Overtaking Collision* dan *Head-on Collision* pada perhitungan terdapat variabel lebar. Dimana pada *Software* IWRAP lebar kapal

- ditentukan secara *default* oleh sistem sehingga tidak diketahui secara pasti berapa lebar yang digunakan dalam perhitungan. Untuk lebar yang digunakan dalam perhitungan manual merupakan lebar kapal yang sering melewati alur sehingga kemungkinan tubrukan kapal paling mendekati keadaan di lapangan.
2. Untuk skenario tubrukan *Crossing Collision* terdapat variabel panjang dan lebar. Pada panjang kapal dalam *Software IWRAP* hanya diketahui *range* panjang yang ada serta untuk lebar ditentukan secara *default* oleh sistem sehingga tidak diketahui pasti berapa angka yang digunakan dalam perhitungan. Dalam perhitungan *Crossing Collision* juga terdapat variabel sudut, dimana besarnya sudut juga dapat mempengaruhi hasil dari perhitungan sehingga dibutuhkan ketepatan dalam pengambilan sudut.
 3. Dalam perhitungan manual terdapat keterbatasan dikarenakan dilakukan oleh manusia yang kemungkinan masih memiliki kesalahan, sehingga adanya *Software IWRAP* sangat membantu khususnya dalam pengolahan data yang banyak.

4.5 Analisis Konsekuensi

Analisis konsekuensi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsekuensi yang terjadi akibat tubrukan. Setelah mengetahui besarnya persebaran tumpahan minyak diharapkan nantinya dapat digunakan sebagai langkah awal dalam melakukan penanganan jika terjadi kecelakaan kapal pada daerah tersebut.

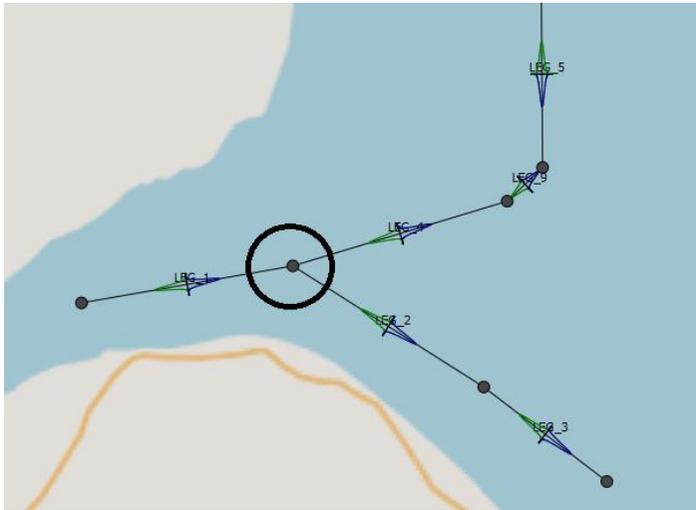
4.5.1 Pemodelan Tumpahan Minyak Menggunakan *Software* GNOME

Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan *Software* GNOME untuk melakukan pemodelan tumpahan minyak yang terjadi. Dalam pemodelan akan dijelaskan mengenai persebaran tumpahan minyak di atas permukaan laut yang disebabkan oleh beberapa faktor. Berikut merupakan tahapan dalam melakukan pemodelan:

1. Pemilihan titik tumpahan minyak

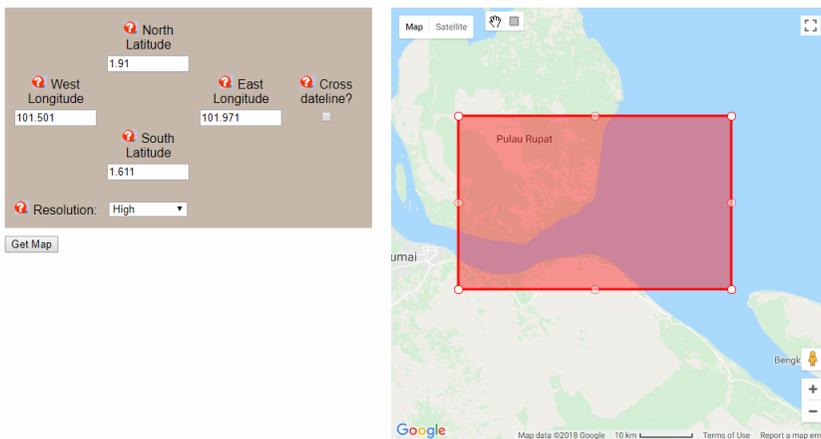
Pemilihan tempat yang digunakan dalam pemodelan konsekuensi menggunakan GNOME dilakukan pada daerah yang memiliki frekuensi tubrukan terbesar dimana kemungkinan terjadinya konsekuensi ada. (Liu, Pedersen, Zhu, & Zhang, 2018) menuliskan bahwa kerusakan struktur akibat tubrukan akan dialami pada *Side Collision* (*Crossing*) dibandingkan dengan *Bow Collision* (*Head-on*). Sehingga kemungkinan terjadi tumpahan minyak akan terjadi pada kondisi skenario tubrukan *Crossing*. Berikut merupakan peta dimana pemodelan persebaran tumpahan minyak akan dilakukan.

Gambar 4.19 menunjukkan dimana pemodelan tumpahan minyak akan dilakukan. Posisi tersebut dipilih dikarenakan pada titik *waypoint* yang terbentuk oleh *Leg 1*, *Leg 2*, dan *Leg 3* memiliki nilai frekuensi *Crossing Collision* terbesar, serta pada *Leg 1* memiliki nilai frekuensi terbesar untuk kedua skenario tubrukan yang lain yaitu *Overtaking Collision* dan *Head-on Collision*. Pada *Crossing Collision* kemungkinan kerusakan yang terjadi akan besar sehingga dapat memiliki dampak terbesar dari ketiga skenario yang dibuat, hal tersebut merupakan alasan mengapa penulis memilih posisi tersebut sebagai tempat dimana pemodelan konsekuensi akan dilakukan.



Gambar 4. 19 Posisi dimana pemodelan tumpahan minyak akan dilakukan

Dalam *Software* GNOME untuk inputan data peta telah disediakan dalam situs resmi NOAA, sehingga untuk memilih peta diharuskan mengetahui koordinat tempat dilakukan simulasi kemudian menandai daerah pada peta dan dapat diunduh secara otomatis dan gratis.



Gambar 4. 20 Pemilihan Peta

Gambar 4.20 menunjukkan gambar pemilihan peta dalam website resmi NOAA. Dalam gambar tersebut dapat dilihat bahwa diperlukan penentuan lokasi dimana pemodelan dilakukan dengan membuat kotak pada daerah yang diinginkan. Setelah itu klik *get map* untuk mendapatkan peta yang diinginkan. Untuk format peta yang diunduh berupa *.bna* yang selanjutnya akan digunakan untuk inputan peta pada *Software* GNOME.

2. Menentukan variabel yang akan digunakan dalam input pemodelan GNOME.

a. Memilih jenis kapal dan muatan

Kapal yang akan digunakan merupakan kapal product oil tanker. Hal tersebut dipilih karena jumlah kapal yang paling banyak melewati titik dimana pemodelan konsekuensi akan dilakukan adalah kapal tersebut.

Tabel 4. 8 Spesifikasi Kapal dan Jenis muatan

Spesifikasi kapal dan jenis muatan:	
Jenis	: Product Oil Tanker
Kapasitas	: 15000 m ³
Jenis bahan bakar	: Solar (Diesel Oil)
Massa Jenis	: 815-870 kg/m ³ (15°)
Viskositas (40°)	: 5,0 mm ² /sec
Water content	: 500 mg/kg
Volume tumpahan minyak	: 2500 m ³

(PT.Pertamina Persero, 2007)

b. Mencari data kecepatan angin

Untuk data kecepatan angin didapat secara online dari situs data online Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan situs resmi NOAA.

3. Melakukan pemodelan persebaran tumpahan minyak menggunakan GNOME.

Setelah semua data yang akan dimasukkan sebagai inputan didapatkan maka akan dilakukan pemodelan tumpahan minyak menggunakan *Software* GNOME. Berikut proses pembuatan model tumpahan minyak menggunakan *Software* GNOME :

- Pembuatan peta dimana lokasi simulasi akan dilakukan.
- Penginputan data angin dan *diffusion factor*.
- Pemilihan jenis minyak yang akan di simulasi serta penentuan titik lokasi tumpahan minyak.
- Running*

4.5.2 Analisis Hasil Pemodelan Persebaran Tumpahan Minyak

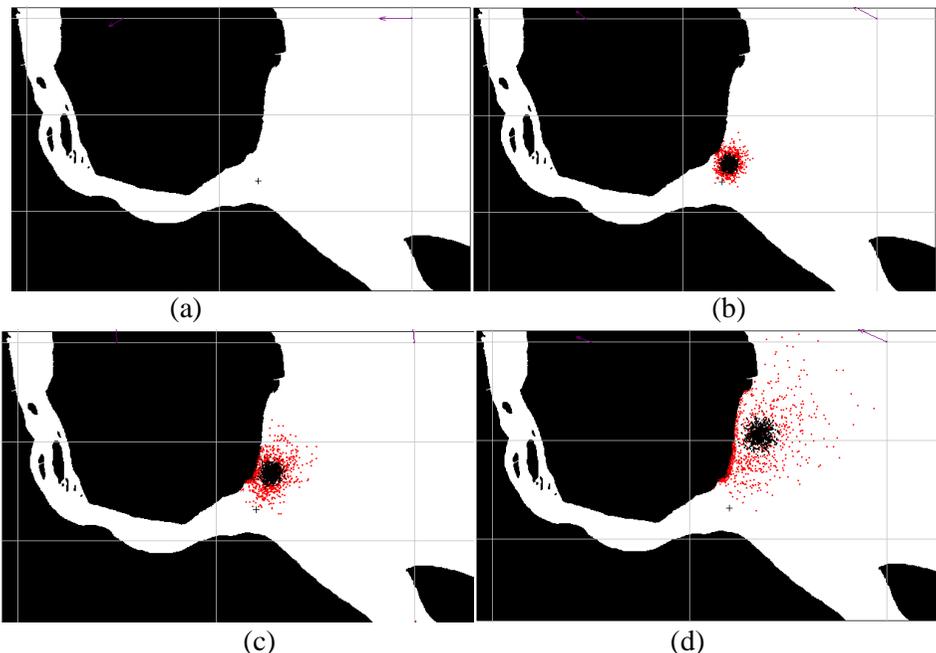
Simulasi pemodelan dilakukan agar mengetahui bagaimana persebaran tumpahan minyak yang terjadi dengan tambahan beberapa faktor yaitu kecepatan angin dan *diffusion factor*. Dalam tugas akhir ini penulis melakukan beberapa simulasi yaitu :

1. Simulasi Persebaran Tumpahan Minyak dengan Kecepatan Angin Konstan

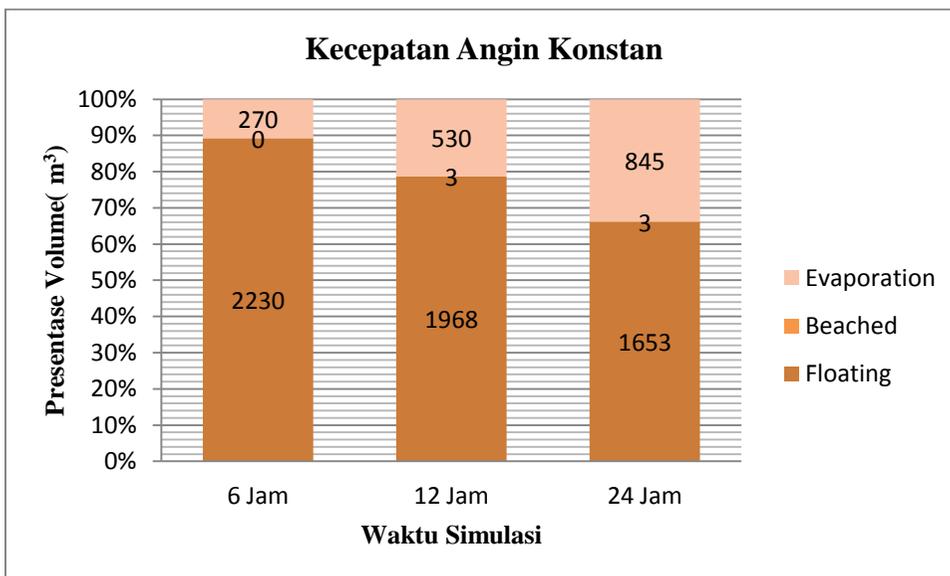
Dalam tipe simulasi ini variabel kecepatan angin dibuat konstan yaitu 7 m/s yang artinya tidak ada perubahan kecepatan angin selama *time step* yang telah ditentukan.

Gambar 4.21 menunjukkan persebaran tumpahan minyak yang terjadi. Pada gambar tersebut terlihat dari posisi awal tumpahan minyak berada di titik yang telah ditentukan sebelumnya kemudian setelah di *running* dengan 3 batasan waktu yaitu 6 jam, 12 jam dan 24 jam. Pada gambar tersebut terlihat minyak bergerak cenderung menuju ke arah angin pada simulasi yaitu SSW. Dalam simulasi yang dilakukan untuk

kecepatan angin dibuat konstan sebesar 7 m/s dengan arah SSW. Dalam simulasi jumlah tumpahan minyak awal adalah sebesar 2500 m³ dimana setelah dilakukan simulasi konsentrasi tumpahan minyak berkurang.



Gambar 4. 21 Persebaran Simulasi Tumpahan Minyak dengan kecepatan angin konstan ;
 (a) kondisi awal, (b) setelah 6 jam, (c), setelah 12 jam, dan (d) setelah 24 jam



Gambar 4. 22 Perbandingan simulasi kecepatan angin konstan

Pada gambar 4.22 merupakan perbandingan jumlah tumpahan minyak dengan 3 kondisi yaitu :

a. Floating

Menunjukkan jumlah minyak yang masih mengambang di permukaan laut. Dalam simulasi ini jumlah minyak yang masih mengambang adalah sebanyak 2230 m³ (89,2 % dari jumlah massa total) di interval 6 jam, sebanyak 1968 m³ (78.7 % dari jumlah massa total) , sebanyak 1653 m³ (66.1 % dari jumlah massa total) yang terjadi setelah rentang waktu 24 jam. Dari data tersebut cenderung minyak yang mengapung mengalami pengurangan jumlah.

b. Beached

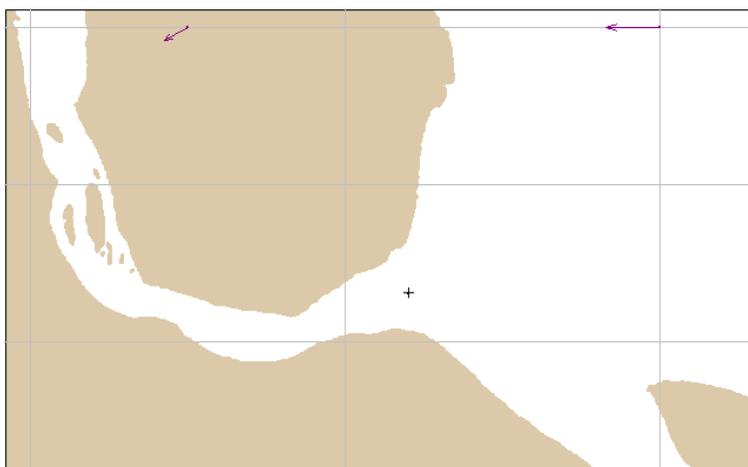
Menunjukkan jumlah minyak yang menuju pantai. Dalam simulasi ini jumlah minyak yang menuju ke pantai adalah sebesar 3 m³ (0,1 % dari total volume awal) yaitu hanya terjadi setelah interval 24 jam sedangkan pada interval 6 jam dan 12 jam tumpahan minyak belum sampai ke permukaan pantai.

c. Evaporated and Dispersed

Menunjukkan jumlah minyak yang terevaporasi dan terdispersi. Dalam simulasi ini jumlah minyak yang terevaporasi dan terdispersi sebanyak 270 m³ (10,8 % dari jumlah massa total) di interval 6 jam, sebanyak 530 m³ (21.2 % dari jumlah massa total) , sebanyak 845 m³ (33.8 % dari jumlah massa total) yang terjadi setelah rentang waktu 24 jam. Dari data tersebut jumlah minyak yang terdispersi dan terevaporasi cenderung meningkat.

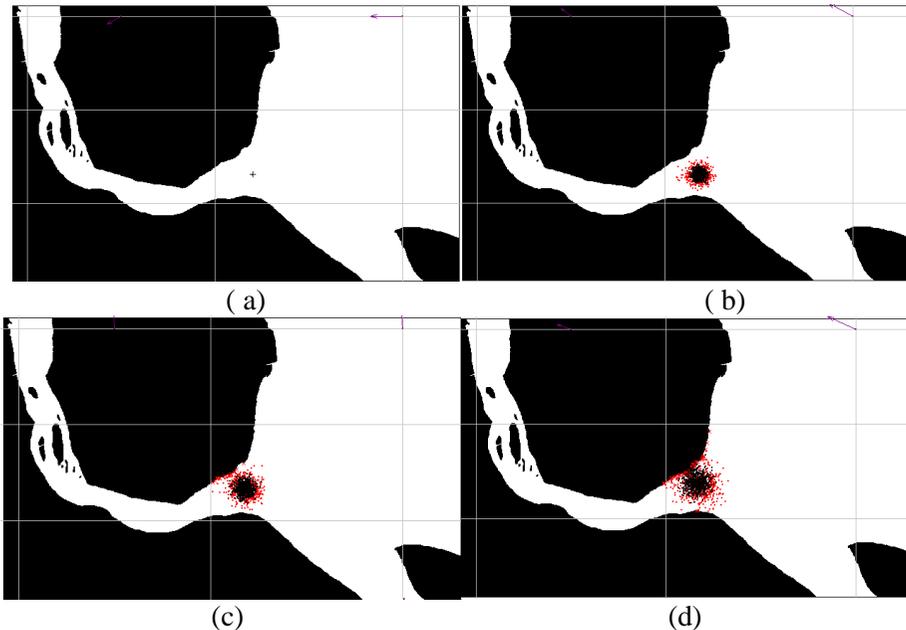
2. Simulasi Persebaran Minyak dengan Kecepatan Angin Beragam

Dalam tipe simulasi ini data variabel angin diambil dari situs remi NOAA. Data arah angin diambil dari daerah yang telah ditandai mirip seperti saat melakukan pengambilan peta sebagai *base map* simulasi.



Gambar 4. 23 Arah kecepatan angin

Gambar 4.23 menunjukkan arah angin yang diperoleh dari website resmi NOAA. Data arah angin ini telah memiliki kecepatan serta arah dengan waktu yang telah ditentukan secara default oleh sistem.



Gambar 4. 24 Persebaran Simulasi Tumpahan Minyak dengan kecepatan angin beragam; (a) kondisi awal, (b) setelah 6 jam, (c), setelah 12 jam, dan (d) setelah 24 jam

Gambar 4.24 menunjukkan perbedaan persebaran minyak dari titik awal posisi tumpahan. Dalam gambar tersebut terlihat tumpahan minyak terlihat menyebar jika dibandingkan dengan posisi awal. Proses penyebaran tersebut disebabkan oleh adanya arah angin yang beragam sehingga selama waktu *running* 24 jam arah angin berubah-ubah. Berikut hasil dari pemodelan dilihat dari 3 kondisi :

Gambar 4.25 menunjukkan perbandingan volume tumpahan minyak dalam 3 kondisi yaitu :

a. Floating

Menunjukkan jumlah minyak yang masih mengambang di permukaan laut. Dalam simulasi ini jumlah minyak yang masih mengambang adalah sebanyak 2230 m^3 (89,2 % dari jumlah massa total) di interval 6 jam, sebanyak 1970 m^3 (78.8 % dari jumlah massa total), sebanyak 1615 m^3 (64.6 % dari jumlah massa total) yang terjadi setelah rentang waktu 24 jam. Dari data tersebut cenderung minyak yang mengapung mengalami pengurangan jumlah. Hal tersebut dikarenakan angin mempengaruhi persebaran dari tumpahan minyak tersebut.

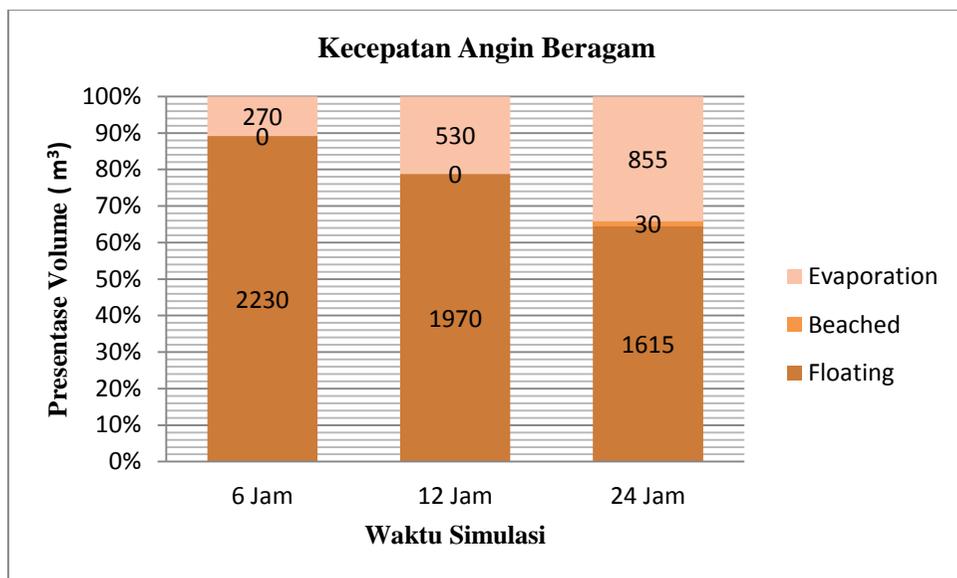
b. Beached

Menunjukkan jumlah minyak yang menuju pantai. Dalam simulasi ini jumlah minyak yang menuju ke pantai adalah sebesar 30 m^3 (1,1 % dari total volume awal)

yaitu hanya terjadi setelah interval 24 jam sedangkan pada interval 6 jam dan 12 jam tumpahan minyak belum sampai ke permukaan pantai.

c. *Evaporated and Dispersed*

Menunjukkan jumlah minyak yang terevaporasi dan terdispersi. Dalam simulasi ini jumlah minyak yang terevaporasi dan terdispersi sebanyak 270 m^3 (10,8 % dari jumlah massa total) di interval 6 jam, sebanyak 530 m^3 (21,2 % dari jumlah massa total) , sebanyak 855 m^3 (34,2 % dari jumlah massa total) yang terjadi setelah rentang waktu 24 jam. Dari data tersebut jumlah minyak yang terdispersi dan terevaporasi cenderung meningkat. Hal tersebut terpengaruh karena *diffusion factor* dan sifat lingkungan yang lain.



Gambar 4. 25 Perbandingan simulasi pada kecepatan angin beragam

4.5.3 Dasar Hukum Kasus Tumpahan Minyak

Berdasarkan peraturan *International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage* (CLC) 1969 menyebutkan mengenai kompensasi maksimal yang diberikan dalam 3 kategori :

1. Untuk kapal dengan ukuran samapai dari 5.000 GT memiliki batas tanggung jawab hingga 3 juta SDR (sekitar 3,84 juta US\$)
2. Untuk kapal dengan ukuran antara 5.000-140.000 GT memiliki batas tanggung jawab hingga 3 juta SDR (sekitar 3,84 juta US\$) ditambah 420 SDR (sekitar 561 US\$) tiap pertambahan 1 GT
3. Kapal dengan ukuran diatas 140.000 GT memilki batas tanggung jawab sebesar 59,67 juta SDR (sekitar 76,5 juta US\$)

Berdasarkan peraturan tersebut pihak yang melakukan pencemaran berupa tumpahan minyak di laut mutlak harus membayar denda untuk kegiatan pembersihan

sesuai dengan ukuran kapal yang ada guna memperbaiki kerusakan lingkungan akibat tumpahan minyak tersebut.

Di Indonesia untuk kasus tumpahan minyak dalam langkah penanggulangan seperti yang diatur dalam (KLHK, 2009) dalam pasal 53 menyebutkan tentang penanggulangan pencemaran lingkungan hidup dilakukan dengan :

- Pemberian informasi peringatan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup kepada masyarakat
- Pengisolasian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup
- Penghentian sumber pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup

Selanjutnya dalam pasal 54 menyebutkan mengenai tindakan pemulihan lingkungan hidup dilakukan dengan tahapan :

- Penghentian sumber pencemaran dan unsur pencemar
- Remediasi
- Rehabilitasi
- Restorasi
- Cara lain yang sesuai dengan perkembangan teknologi.

Untuk penanggulangan mengenai tumpahan minyak diatur pada Penpres No.109 Tahun 2006 mengenai Penanggulangan Keadaan Darurat Bencana Tumpahan Minyak. Perpres ini disusun agar pemerintah dapat melakukan tindakan secara cepat, tepat dan terkoordinasi untuk mencegah, mengatasi, menanggulangi dan meminimalisir dampak akibat penyebaran tumpahan minyak di laut. Dalam (PenPres, 2006) pasal 11 menyebutkan bahwa :

“Setiap pemilik atau operator kapal, pimpinan tertinggi perusahaan minyak dan gas bumi atau penanggung jawab tertinggi kegiatan perusahaan minyak lepas pantai atau pimpinan atau penanggung jawab kegiatan lain, yang karena kegiatannya mengakibatkan terjadinya tumpahan minyak di laut, bertanggung jawab mutlak atas biaya:

- a. penanggulangan tumpahan minyak di laut;
- b. penanggulangan dampak lingkungan akibat tumpahan minyak di laut;
- c. kerugian masyarakat akibat tumpahan minyak di laut; dan
- d. kerusakan lingkungan akibat tumpahan minyak di laut.

Dari pernyataan diatas bahwa pihak yang telah disebutkan dalam pernyataan diatas wajib bertanggung jawab mutlak (*strict liability*) atas biaya penanggulangan, kerugian masyarakat dan kerusakan lingkungan.

Menurut (Haryani, 2005) jenis tuntutan ganti kerugian yang dapat diajukan dalam hal terjadi pencemaran di perairan Indonesia dan ZEE Indonesia akibat tumpahan minyak berdasarkan CLC 1969, Amandemen 1992 CLC 1969, dan peraturan perundang-undangan nasional, meliputi:

1. Biaya yang dikeluarkan untuk tindakan-tindakan pencegahan atau pengurangan pencemaran, seperti pemasangan *oil booms*, *oil dispersan*, *skimmer*;
2. Biaya operasi pembersihan minyak di laut dan pantai;
3. Biaya penimbunan minyak sisa yang terkumpul dan limbah minyak;

4. Biaya pembersihan atau penggantian atas kerusakan harta benda (seperti jaring ikan, kapal, dermaga);
5. Biaya survei lapangan;
6. Biaya penghitungan kerugian akibat pencemaran;
7. Banti kerugian kerusakan lingkungan; dan
8. Ganti kerugian sosial ekonomi sebagai akibat kontaminasi yang diderita oleh masyarakat yang bergantung secara langsung pada pendapatan dari hasil pantai atau kegiatan terkait di laut (seperti nelayan, dan petambak).

4.5.4 Analisis Biaya Kasus Tumpahan Minyak

Dalam simulasi yang telah dilakukan baik pada simulasi dengan kecepatan angin konstan dan kecepatan angin beragam didapatkan bahwa terdapat minyak yang masih terapung di laut bahkan ada yang mencapai di pantai. Tumpahan minyak yang terjadi mencapai wilayah Pulau Rupert dimana Pulau Rupert menjadikan tempat wisata sebagai salah satu pendapatan terbesar. Oleh karena itu adanya tumpahan minyak yang terjadi dapat mempengaruhi berbagai aspek mulai dari aspek sosial, ekonomi, hingga ekosistem yang ada.

Menurut (Sulistiyono, 2012) untuk kasus oil spill di perairan terbuka, konsentrasi minyak dibawah slick biasanya sangat rendah, dan maksimum akan berada dalam kisaran 0,1 ppm sehingga tidak menyebabkan kematian masal organisma terutama ikan-ikan akibat tumpahan minyak di perairan lepas pantai. Namun kebanyakan kasus tumpahan minyak terjadi di perairan pantai ataupun perairan dalam (inshore) yang dapat mengakibatkan banyak kematian massal. Kasus yang pernah terjadi di kecelakaan kapal tanker Amono Cadiz tahun 1978 di Perairan Inggris dan Perancis, populasi ikan-ikan dari jenis *Pleurenectes platessa* dan *Solea vulgaris* dilaporkan mengalami kematian massal.

Analisis biaya dilakukan untuk memperkirakan biaya yang akan dikeluarkan dalam penanggulangan kasus tumpahan minyak. Biaya yang dikeluarkan akibat tumpahan minyak meliputi biaya untuk restorasi kerusakan lingkungan, biaya kerugian sosial-ekonomi, dan biaya *clean-up* (pembersihan). Perhitungan total biaya dilakukan menurut (Liu & W.Wirtz, 2009) yaitu sesuai **Persamaan 2.27**.

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

Dalam perhitungan biaya dibutuhkan data yang digunakan sebagai variabel yang digunakan. Berikut merupakan data yang digunakan dalam perhitungan total biaya :

Tabel 4. 9 Spesifikasi muatan tumpahan minyak

Spesifikasi kapal dan jenis muatan:	
Jenis	: Product Oil Tanker
Kapasitas	: 15000 m ³
Jenis bahan bakar	: Solar (Diesel Oil)
Massa Jenis	: 850 kg/m ³
Viskositas (40°)	: 5,0 mm ² /sec
Water content	: 500 mg/kg
Volume tumpahan minyak	: 2500 m

Berikut merupakan perhitungan Total Biaya :

a. Perhitungan Tumpahan Minyak dalam (ton)

$$\begin{aligned} m &= \rho \times v \\ &= 850 \times 2500 \\ &= 2.125.000 \text{ kg} \\ &= 2.125 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Total Biaya

$$\begin{aligned} \ln(TC) &= 0,4667 \times \ln(t) + 13,894 \\ \ln(TC) &= 0,4667 \times \ln(2.125) + 13,894 \\ \ln(TC) &= 0,4667 \times 7,661527081 + 13,894 \\ \ln(TC) &= 3,575634689 + 13,894 \\ \ln(TC) &= 17,46963469 \\ (TC) &= e^{17,46963469} \\ (TC) &= 38.633.668 \text{ Euro} \\ (TC) &= 38,6 \text{ juta Euro} \\ (TC) &= 646.184.540.000 \text{ rupiah} * \end{aligned}$$

*Bila 1 euro = 16.740,53 rupiah

Dari hasil perhitungan didapatkan total biaya yang harus dikeluarkan sebanyak 646 milyar rupiah.

Menurut (Mauludiyah & Mukhtasor, 2009) Perhitungan yang merupakan perkiraan secara kasar karena instrumen penilaian yang digunakan adalah berdasarkan kondisi di perairan Jerman Utara. Meskipun perkiraan biaya tersebut masih merupakan perkiraan tingkat rendah, namun jika dilihat dari besarnya total biaya yang dihasilkan, maka sesungguhnya biaya atau ekonomi, baik jangka pendek maupun jangka panjang, adalah hal yang penting bagi pemerintah, masyarakat dan juga lingkungan. Diharapkan nantinya akan ada perhitungan ekonomi yang mempertimbangkan segala aspek yang ada sehingga menghasilkan data yang valid dan nantinya dapat digunakan sebagai acuan perhitungan mengenai total biaya yang dikeluarkan bila terjadi tumpahan minyak.

Kondisi minyak mencapai pantai harus segera ditangani secara serius. Hal tersebut dikarenakan adanya tumpahan minyak akan dapat menimbulkan kerusakan pada lingkungan yang tercemar. Kawasan pesisir merupakan kawasan yang sangat rentan ketika terjadi tumpahan minyak. Kawasan yang rentan dapat ditinjau dari beberapa factor seperti banyaknya tumpahan minyak yang mencapai pantai tersebut, lamanya minyak berada dipantai, karakteristik lingkungan fisik seperti tipe pantai dan sedimen, kondisi cuaca di daerah tersebut, efektivitas pembersihan minyak, karakteristik biologi dan ekonomi pantai.

Terdapat beberapa cara menangani minyak ketika terjadi tumpahan yaitu dengan menggunakan metode *booming skimming*, menggunakan cairan *dispersan*, menggunakan *sorbent*, serta melakukan pembakaran (*In-situ Burning*). Metode *booming skimming* merupakan metode yang dianjurkan dalam kasus tumpahan minyak dikarenakan adanya *booms* dapat membatasi daerah tercemar sehingga minyak tidak menyebar lebih luas lagi dan minyak kemudian akan disedot dengan *skimmer* dan

ditempatkan dalam *floating storage*. Penggunaan *dispersan* dalam simulasi yang dilakukan kurang dianjurkan dikarenakan melihat batimetri Pulau Rupa terdangkal pada laut yang dangkal sehingga masih berbahaya bagi organisme laut yang dapat dimanfaatkan oleh manusia serta penggunaan *dispersan* dinilai kurang efisien dalam segi waktu. Namun bila bahan yang digunakan *dispersan* tidak merusak lingkungan yang ada maka metode tersebut dapat dilakukan. Proses pembersihan dapat dilakukan dimulai dari tumpahan minyak yang akan mencapai pantai sehingga pencemaran pantai menjadi berkurang. Pembakaran minyak di laut adalah solusi terakhir dan memperhitungkan pada kondisi cuaca dan arah angin karena pembakaran minyak akan menghasilkan polusi udara berupa asap tebal. Dengan adanya langkah mitigasi yang dilakukan pada simulasi ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan pemilihan metode yang tepat dalam kasus tumpahan minyak yang sesuai sehingga dapat mengurangi dampak negatif dari mitigasi yang dilakukan. Dalam hal langkah *preventif* dapat dilakukan dengan pengaturan terhadap lalu lintas kapal tanker dan pelebaran alur yang ada sehingga tubrukan yang menyebabkan tumpahan minyak dapat diminimalisir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan penulis pada tugas akhir ini tentang Analisis Tubrukan Kapal dan Pemodelan Persebaran Tumpahan Minyak di Alur Pelayaran Pelabuhan Dumai, berikut merupakan kesimpulan yang telah dibuat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan :

1. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada skenario tubrukan *Overtaking Collision* dan *Head-on Collision* didapatkan besarnya frekuensi tubrukan dari *Software IWRAP* sebesar 0,105138 untuk skenario *Overtaking Collision* dan 0,425729188 untuk skenario *Head-on Collision*. Selanjutnya dilakukan perhitungan manual frekuensi tubrukan kapal berdasarkan *IWRAP Theory* didapatkan hasil sebesar 0,10392816 untuk skenario *Overtaking Collision* dan 0,421869998 untuk skenario *Head-on Collision*. Dari hasil tersebut dilakukan validasi dengan membandingkan hasil dari kedua perhitungan sehingga didapatkan hasil *error* untuk skenario tubrukan *Overtaking Collision* dan *Head-on Collision* berturut-turut sebesar 1,51 % dan 1,81 %. Adanya *error* yang terjadi antara perhitungan manual dan perhitungan dengan *Software IWRAP* dikarenakan perbedaan nilai lebar kapal. Lebar kapal pada *Software IWRAP* ditentukan secara *default* sehingga tidak diketahui pasti besarnya lebar kapal yang digunakan dalam perhitungan frekuensi tubrukan kapal.
2. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada skenario tubrukan *Crossing Collision* didapatkan besarnya frekuensi tubrukan kapal adalah 0,014742169. Selanjutnya hasil dari perhitungan manual berdasarkan *IWRAP Theory* besarnya frekuensi tubrukan kapal adalah 0,014646302. Dari hasil kedua perhitungan dilakukan validasi sehingga didapatkan hasil *error* sebesar 1,24 %. Hasil *error* yang terjadi dikarenakan dalam perhitungan frekuensi tubrukan skenario *Crossing Collision* tidak diketahui pasti besarnya panjang, sudut dan lebar yang digunakan dalam *Software IWRAP*. Dalam *Software IWRAP* hanya diketahui range panjang, tidak diketahui secara pasti besarnya sudut yang digunakan dan untuk lebar ditentukan secara *default* oleh sistem. Langkah mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi frekuensi tubrukan adalah dengan melakukan pengaturan lalu lintas pada kapal serta melakukan pelebaran alur pelayaran yang telah.
3. Berdasarkan hasil analisis didapatkan hasil bahwa minyak akan baru mencapai pantai dalam waktu 12 jam untuk simulasi dengan angin konstan dan 24 jam untuk simulasi dengan angin beragam. Setelah dilakukan simulasi selama 24 jam minyak yang mencapai pantai sebanyak 3 m³ untuk kecepatan konstan dan 30 m³ untuk kecepatan angin beragam. Banyaknya tumpahan minyak yang masih mengambang setelah 24 jam didapatkan sebesar 1.653 m³ untuk angin konstan dan 1.615 m³ untuk angin beragam. Besarnya perkiraan total biaya tumpahan minyak adalah 646 milyar. Pemilihan mitigasi yang dilakukan mempertimbangkan dengan kondisi lingkungan yang ada sehingga tumpahan minyak dapat teratasi tanpa merusak lingkungan.

5.2 Saran

Dari tugas akhir yang telah dilakukan oleh penulis mengenai analisis frekuensi tubrukan kapal dan pemodelan persebaran tumpahan minyak di area Pelabuhan Dumai, berikut merupakan beberapa saran yang dapat dilakukan untuk tugas akhir selanjutnya :

1. Dalam tugas akhir yang dilakukan penulis terdapat keterbatasan data mengenai data AIS dan data kedatangan kapal sehingga diharapkan untuk tugas akhir selanjutnya adanya data AIS sangat berguna untuk nantinya digunakan sebagai inputan dari *Software* IWRAP agar menghasilkan hasil yang lebih akurat dengan kondisi sebenarnya.
2. Dalam pemodelan tumpahan minyak penulis menggunakan *Software* GNOME untuk melakukan simulasi. Dalam pemodelan, *Software* GNOME memiliki keterbatasan yaitu hanya pengaruh angin yang dapat digunakan sebagai variabel yang memengaruhi persebaran minyak , sehingga diharapkan untuk tugas akhir selanjutnya dapat menggunakan *Software* lain yang dapat mempertimbangkan data oceanografi yang lain seperti ketinggian arus, dan kecepatan arus.
3. Perhitungan biaya totat yang digunakan hanya mempertimbangkan jumlah total tumpahan minyak sehingga diharapkan untuk tugas akhir selanjutnya dapat melakukan perhitungan dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang berpengaruh sehingga menghasilkan hasil yang lebih relevan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardi, M. M. (2017). *Pemodelan Pergerakan Tumpahan Minyak Pada Titik Rawan Kecelakaan Pelayaran (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- BNPB. (2008). *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 4 Tahun 2008 Tentang Pedoman Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana*. -: -.
- ESDM, K. (2001). *UU no.22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi*. Indonesia: Kementrian ESDM.
- Fay, J. (1971). *Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. Proceedings on Prevention and Control of Oil Spill*. Washington: American Petroleum Institute.
- Hansen, P. F. (2007). *Basic Modelling Principle Prediction of Collision Grounding Frequency*. Denmark: Technical University of Denmark.
- Haryani, E. B. (2005). *Pencemaran Minyak di Laut dan Tuntutan Kerugian. Makalh Pribadi Pengantar Falsafah Sains (PPS 702) IPB*.
- ITOPF, T. I. (2014-2015). *The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) Handbook*. London: The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF).
- KLHK. (2009). *UU No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Indonesia: KLHK.
- KNKT, K. N. (2008). *Laporan analisis Trend Kecelakaan Laut 2003*. Jakarta: Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT).
- Kristiansen, S. (2013). *Maritime Transportation Safety Management and Risk Analysis*. Martitime Transportation.
- Lazuga, K. (2012). Testing of an oil spill mathematical model contained in PISCES II simulator. *Scientific Journals of The Maritime University of Szczecin*, 105-109.
- Liu, B., Pedersen, P., Zhu, L., & Zhang, S. (2018). Review of Experiment and Calculation Procedure for ship Collision and Grounding damage . *ScienceDirect*, 105-121.
- Liu, X., & W.Wirtz, K. (2009). The Economy of Oil Spill : Direct and Indirect costs as a Function of Oil Spill Size. *Journal of Hazardous Materials*.
- Mauludiyah, & Mukhtasor. (2009). *Perhitungan Skala Biaya Kerugian akibat Tumpahan Minyak: Relevansinya untuk perairan Indonesia*. Senta.
- NOAA. (2012). *General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation*. Emergency Response Division.
- NOAA. (2018, 01 12). *Deepwater Horizon Oil SPill*. Retrieved 01 12, 2018, from Office of Response and Restoration NOAA:

- <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemicalspills/significant-incidents/deepwater-horizon-oi>
- PenPres. (2006). *Penpres No. 109 Tahun 2006 tentang Penanggulangan Keadaan Darurat Tumpahan Minyak di Laut*. Indonesia.
- PT.Pertamina Persero. (2007). *Marine Safety Data Sheet (MSDS) Solar-Diesel Fuel*. Jakarta: PT. PERTAMINA (PERSERO).
- Response, A. I., & ASTM International Committee F20 on Hazardous Subs. (2018). *In-Situ Burning Effectiveness*. ASTM Standardization International.
- Risdiyanta. (2015). Mengenal Kilang Minyak Bumi (Refinery) di Indonesia. *Forum Teknologi Vol 05 No.4 Tahun 2005*, 46.
- Sangian, R. (2018). Forum Diskusi Jasa Logistik.
- Spouge, J. (1999). *A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations*. DNV Technical.
- Stiver, W., & Mackay, D. (1984). Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. *Environment science Technology* 8 (11), 834–840.
- Sulistiyono. (2012). Dampak Tumpahan Minyak (Oil Spill) di Perairan Laut Pada Kegiatan Industri MIGAS dan Metode Penanggulangannya. *Forum Teknologi*.
- Tryono, F. Y. (2016). Peranan Geologi Dalam Sistem Hidrokarbon Serta Potensi dan Tantangan Eksplorasi MIGAS di Indonesia. *Forum Teknologi Vol. 06 No. 2*, 70.

LAMPIRAN

	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container	General cargo	Bulk carrier	Ro-Ro cargo	Passenger	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Other ship	Sum
Crude oil tanker	0.0186961	0.0248822	0.0140678	0.00350457	0.0113542	0.0166802	0.00946308	0.00348034	0.0052909	0.0002811	0.0049267	1.35E-04	0.0020432	0.114806
Oil products tanker	0.0292792	0.0331105	0.018404	0.00494689	0.0158853	0.0217749	0.0134767	0.00461437	0.00604	0.0003781	0.0059575	1.85E-04	0.0025224	0.156575
Chemical tanker	0.0178676	0.0196953	0.0108759	0.00309311	0.00964817	0.0132895	0.00795898	0.00277946	0.0035604	0.0002326	3.62E-03	1.20E-04	0.0014977	0.0942359
Gas tanker	0.00334964	0.00394223	0.00130913	0.000496395	0.00178755	0.0033613	0.00172105	0.00051064	0.0006459	4.02E-05	0.0006215	2.00E-05	0.0003098	0.0181153
Container ship	0.00669545	0.00823859	0.00479326	0.0011018	0.00198868	0.0031144	0.00342326	0.00064718	0.0008397	5.26E-05	0.0008509	4.60E-05	0.000668	0.0324599
General cargo ship	0.0112438	0.0127228	0.00741783	0.00167559	0.00377913	0.0046547	0.00559034	0.00099177	0.0011533	9.07E-05	0.0011877	6.82E-05	0.0009883	0.0515642
Bulk carrier	0.0113742	0.0138136	0.00759325	0.00219282	0.0066946	0.0096699	0.00525332	0.00198627	2.82E-03	0.0001669	2.79E-03	8.52E-05	0.0010924	0.0655524
Ro-Ro cargo ship	0.00233033	0.00270849	0.00155869	0.000362733	0.000799881	0.001011	0.00115183	0.00021355	2.62E-04	1.96E-05	2.67E-04	1.41E-05	0.0002109	0.0109109
Passenger ship	0.00378777	0.00383912	2.18E-03	0.000505904	0.00117768	0.0013564	1.76E-03	2.98E-04	3.07E-04	2.71E-05	3.21E-04	1.73E-05	0.0002722	0.0158459
Fast ferry	0.000147925	0.000177864	0.000105851	2.14E-05	4.20E-05	6.17E-05	7.88E-05	1.33E-05	1.65E-05	8.23E-07	1.57E-05	8.92E-07	1.42E-05	0.0006969
Support ship	0.00341111	0.0036123	2.11E-03	0.000461739	0.00108492	0.0012689	0.00166519	0.00027704	0.0002907	2.47E-05	3.00E-04	1.79E-05	0.0002678	0.0147877
Fishing ship	1.64E-04	1.71E-04	1.02E-04	2.55E-05	8.41E-05	1.09E-04	7.72E-05	2.22E-05	2.24E-05	1.95E-06	2.67E-05	1.29E-06	1.37E-05	0.000821
Other ship	0.00268727	0.00278251	0.0015463	0.000433334	0.00139959	0.0018275	0.00117541	0.00038678	0.0004532	3.25E-05	0.0004739	1.69E-05	0.0002063	0.0134154
Sum	0.111035	0.129696	0.0730596	0.0188217	0.0557199	0.0771798	0.0527906	0.0162211	0.0216993	0.0001469	0.0213598	0.0007274	0.0101068	0.589766

Gambar 1 Hasil Perhitungan Total Collision *Software* IWRAP

HEAD-ON	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container	General cargo	Bulk carrier	Ro-Ro cargo	Passenger	Fast ferry	Support	Fishing ship	Other ship	Sum
Crude oil tanker	0.0154868	0.0220918	0.0127968	0.00277772	0.00533243	0.0087218	0.0084568	0.0018378	0.0028903	0.0001214	0.002616	1.09E-04	0.0018729	0.0851114
Oil products tanker	0.0220918	0.0277395	0.0161291	0.00339579	0.00703461	0.0105868	0.0115979	0.0022975	0.0031515	0.0001505	0.0029463	1.31E-04	0.002229	0.109476
Chemical tanker	0.0127968	0.0161291	0.0094571	0.00199062	0.00414895	0.00624784	0.0067773	0.0013403	1.82E-03	8.90E-05	1.73E-03	8.18E-05	0.0013141	0.0639225
Gas tanker	0.00277772	0.00339579	0.00199062	0.000410364	0.000858746	0.00126475	0.0014611	0.0002755	0.0003611	1.79E-05	0.0003427	1.64E-05	0.0002713	0.0134439
Container ship	0.00533243	0.00703461	0.00414895	0.000858746	0.00166825	0.00260563	0.002899	0.0005554	0.0007879	3.57E-05	0.0007389	3.62E-05	0.000587	0.0272887
General cargo ship	0.0087218	0.0105868	0.00624784	0.00126475	0.00260563	0.00382216	0.0046261	0.0008337	0.0010666	5.33E-05	0.0010211	5.20E-05	0.0008464	0.0417482
Bulk carrier	0.00845682	0.0115979	0.00677733	0.00146106	0.002899	0.00462611	0.0045847	0.000973	1.45E-03	6.51E-05	1.35E-03	6.06E-05	0.0009803	0.0452897
Ro-Ro cargo ship	0.00183784	0.00229246	0.00134026	0.000275473	0.000553559	0.000833653	0.000973	0.0001816	2.45E-04	1.16E-05	2.29E-04	1.07E-05	0.0001839	0.0089704
Passenger ship	0.00289029	0.00315154	1.82E-03	0.000361139	0.000787897	0.00106658	1.45E-03	2.45E-04	2.81E-04	1.52E-05	2.65E-04	1.17E-05	0.0002291	0.0125773
Fast ferry	0.00012142	0.00015053	8.90E-05	1.79E-05	3.57E-05	5.33E-05	6.51E-05	1.16E-05	1.52E-05	7.29E-07	1.44E-05	7.41E-07	1.22E-05	0.0005879
Support ship	0.00261598	0.00294627	1.73E-03	0.000342739	0.000738854	0.00102112	1.35E-03	2.29E-04	2.65E-04	1.44E-05	2.56E-04	1.31E-05	0.0002236	0.0117511
Fishing ship	1.09E-04	1.31E-04	8.18E-05	1.64E-05	3.62E-05	5.20E-05	6.06E-05	1.07E-05	1.17E-05	7.41E-07	1.31E-05	9.63E-07	1.13E-05	0.0005354
Other ship	0.00187286	0.00222901	0.00131412	0.000271287	0.00058698	0.000846398	0.0009803	0.0001839	0.0002291	1.22E-05	0.0002236	1.13E-05	0.0001773	0.0089384
Sum	0.0851114	0.109476	0.0639225	0.0134439	0.0272887	0.0417482	0.0452897	0.0089704	0.0125773	0.0005879	0.0117511	0.0005354	0.0089384	0.429641

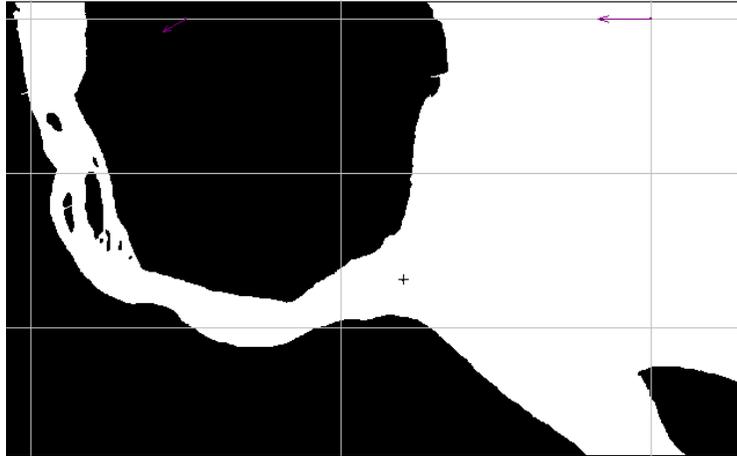
Gambar 2 Hasil Perhitungan *Head-on Collision Software IWRAP*

OVERTAKING	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container	General cargo	Bulk carrier	Ro-Ro cargo	Passenger	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Other ship	Sum
Crude oil tanker	0.00146772	0.000868621	9.18E-05	0.000473128	0.0055642	0.0073172	9.12E-05	0.0015127	0.0023803	0.000152	0.0021928	1.48E-05	2.26E-05	0.022049
Oil products tanker	0.00397992	0.00201955	0.00021468	0.00111794	0.0080462	0.0101123	0.0002156	0.0021021	0.0027155	0.000215	0.0028397	3.53E-05	4.69E-05	0.0336606
Chemical tanker	0.00310173	0.00151802	0.000160919	0.000838562	0.0050107	0.0063895	0.0001627	0.0013059	0.0016379	0.000136	0.0017833	2.64E-05	3.36E-05	0.0221052
Gas tanker	7.54E-05	3.44E-05	3.99E-06	2.03E-05	0.0008066	0.0009346	3.60E-06	0.000202	0.0002597	2.05E-05	0.0002538	7.86E-07	1.26E-06	0.0026169
Container ship	0.000397709	0.000189721	1.92E-05	0.00011155	8.68E-05	0.0001919	2.18E-05	2.76E-05	1.65E-06	1.33E-05	6.20E-05	4.01E-06	5.92E-06	0.0011332
General cargo ship	0.000716738	0.000283985	2.99E-05	0.000173569	0.0007434	0.0002624	3.10E-05	4.18E-05	2.63E-06	3.10E-05	8.27E-05	6.10E-06	7.95E-06	0.0024132
Bulk carrier	0.00185206	0.00107021	0.000112712	0.000582079	0.0035228	0.0046691	0.0001127	0.0009372	0.0012974	9.74E-05	0.001374	1.80E-05	2.58E-05	0.0156713
Ro-Ro cargo ship	0.000163178	7.40E-05	7.63E-06	4.31E-05	0.0001644	7.02E-05	7.97E-06	1.02E-05	5.82E-07	6.83E-06	2.17E-05	1.44E-06	1.95E-06	0.0005732
Passenger ship	0.000339841	0.00012225	1.30E-05	7.25E-05	0.0002551	0.0001145	1.36E-05	1.69E-05	1.04E-06	9.91E-06	3.22E-05	2.47E-06	2.60E-06	0.0009959
Support ship	0.000205995	7.05E-05	7.75E-06	4.32E-05	0.0002071	6.64E-05	7.79E-06	1.06E-05	7.25E-07	8.25E-06	1.88E-05	1.57E-06	1.77E-06	0.0006505
Fishing ship	2.49E-05	9.05E-06	9.76E-07	5.18E-06	4.07E-05	4.80E-05	1.01E-06	9.50E-06	9.35E-06	1.10E-06	1.22E-05	1.70E-07	1.67E-07	0.0001622
Other ship	0.000480333	0.000212196	2.26E-05	0.000118431	0.0007254	0.0008743	2.30E-05	0.000181	0.000208	1.91E-05	0.0002343	3.77E-06	4.39E-06	0.0031068
Sum	0.0128055	0.00647248	0.000685107	0.00399959	0.0251735	0.0310502	0.0006919	0.0063576	0.0084147	0.0007103	0.0089075	0.0001148	0.0001549	0.105138

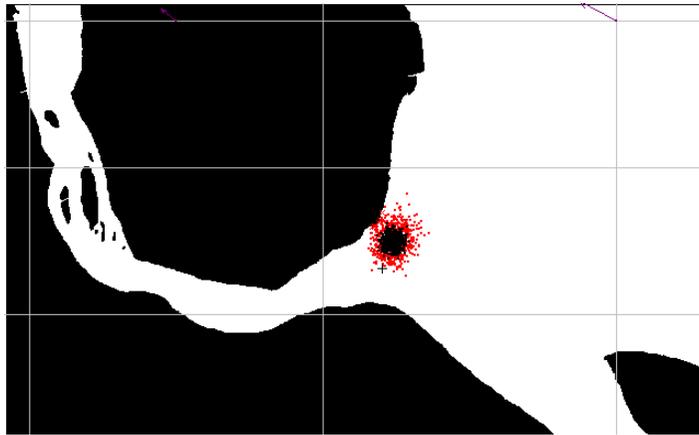
Gambar 3 Hasil Perhitungan *Overtaking Collision Software* IWRAP

CROSSING	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container	General cargo	Bulk carrier	Ro-Ro cargo	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Other ship	Sum
Crude oil tanker	0.000418562	0.000460419	0.000296877	6.37E-05	9.71E-05	0.000136028	0.0002288	2.58E-05	1.78E-05	1.51E-06	1.98E-05	3.63E-06	3.73E-05	0.0018074
Oil products tanker	0.000842075	0.000892696	0.000569009	0.000120131	0.0001937	0.000264362	0.0004523	5.10E-05	3.36E-05	2.95E-06	3.65E-05	6.30E-06	6.89E-05	0.0005336
Chemical tanker	0.000551192	0.000577052	0.000364379	7.65E-05	0.0001248	0.000169	0.0002927	3.30E-05	2.20E-05	1.89E-06	2.35E-05	3.79E-06	4.36E-05	0.0022835
Gas tanker	0.000141366	0.00014719	9.27E-05	1.94E-05	3.20E-05	4.31E-05	7.48E-05	8.45E-06	5.61E-06	4.82E-07	5.95E-06	9.47E-07	1.10E-05	0.0005831
Container ship	0.000271881	0.000288346	0.000182741	3.85E-05	5.99E-05	8.32E-05	0.0001454	1.60E-05	1.08E-05	8.94E-07	1.16E-05	1.95E-06	2.21E-05	0.0011333
General cargo ship	0.000525892	0.000545924	0.000343875	7.17E-05	0.0001151	0.000156733	0.0002785	3.06E-05	1.98E-05	1.68E-06	2.09E-05	3.44E-06	4.07E-05	0.0021548
Bulk carrier	0.000278097	0.000298747	0.000190402	4.05E-05	6.38E-05	8.80E-05	0.0001497	1.70E-05	1.17E-05	9.84E-07	1.27E-05	2.15E-06	2.34E-05	0.0011771
Ro-Ro cargo ship	8.96E-05	9.47E-05	6.03E-05	1.27E-05	2.00E-05	2.77E-05	4.81E-05	5.32E-06	3.49E-06	2.98E-07	3.78E-06	6.53E-07	7.27E-06	0.0003739
Passenger ship	0.000144405	0.000152199	9.76E-05	2.05E-05	3.28E-05	4.51E-05	7.80E-05	8.59E-06	5.35E-06	4.84E-07	5.85E-06	1.08E-06	1.17E-05	0.0006036
Fast ferry	7.74E-06	8.08E-06	5.09E-06	1.06E-06	1.68E-06	2.30E-06	4.11E-06	4.48E-07	2.92E-07	2.47E-08	3.11E-07	5.14E-08	6.06E-07	3.18E-05
Support ship	0.000172248	0.000177297	0.000111617	2.32E-05	3.76E-05	5.08E-05	9.10E-05	9.92E-06	6.23E-06	5.44E-07	6.57E-06	1.10E-06	1.31E-05	0.0007012
Fishing ship	1.09E-05	1.09E-05	6.67E-06	1.37E-06	2.35E-06	3.09E-06	5.58E-06	6.31E-07	4.31E-07	3.47E-08	4.32E-07	5.34E-08	7.64E-07	4.32E-05
Other ship	9.86E-05	0.00010166	6.37E-05	1.33E-05	2.21E-05	2.96E-05	5.19E-05	5.84E-06	3.84E-06	3.30E-07	4.03E-06	6.24E-07	7.51E-06	0.000403
Sum	0.00355261	0.00375528	0.00238498	0.000502509	0.0008029	0.00109895	0.0019009	0.000212704	0.00014086	1.21E-05	0.000152	2.58E-05	0.000288	0.0148296

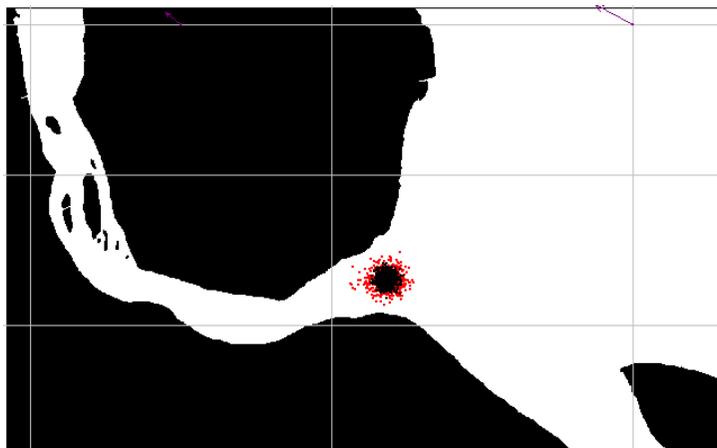
Gambar 4 Hasil Perhitungan *Crossing Collision Software* IWRAP



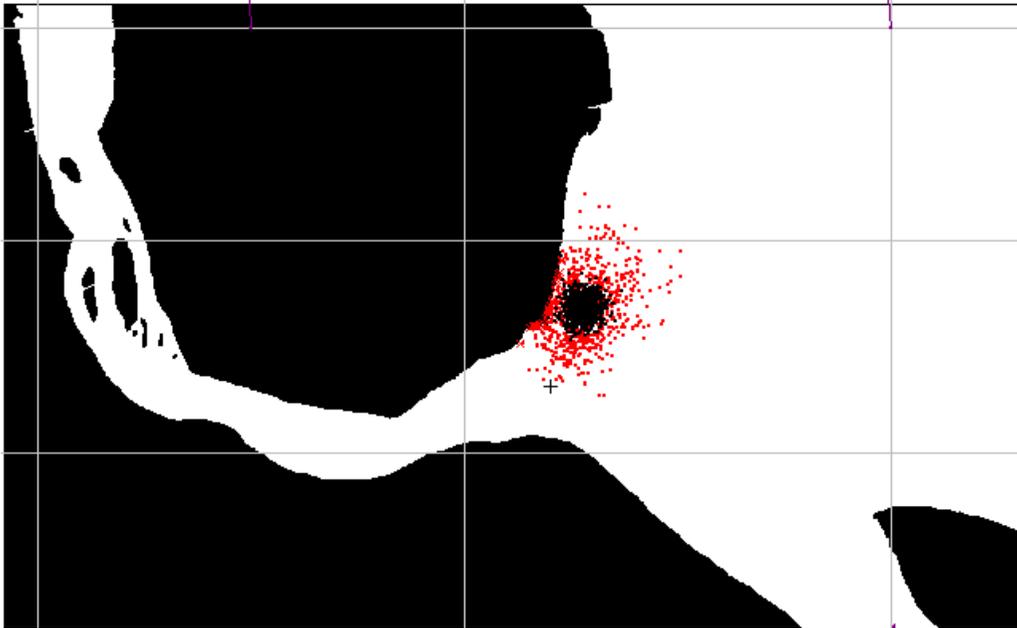
Gambar 5 Titik Awal Tumpahan Minyak



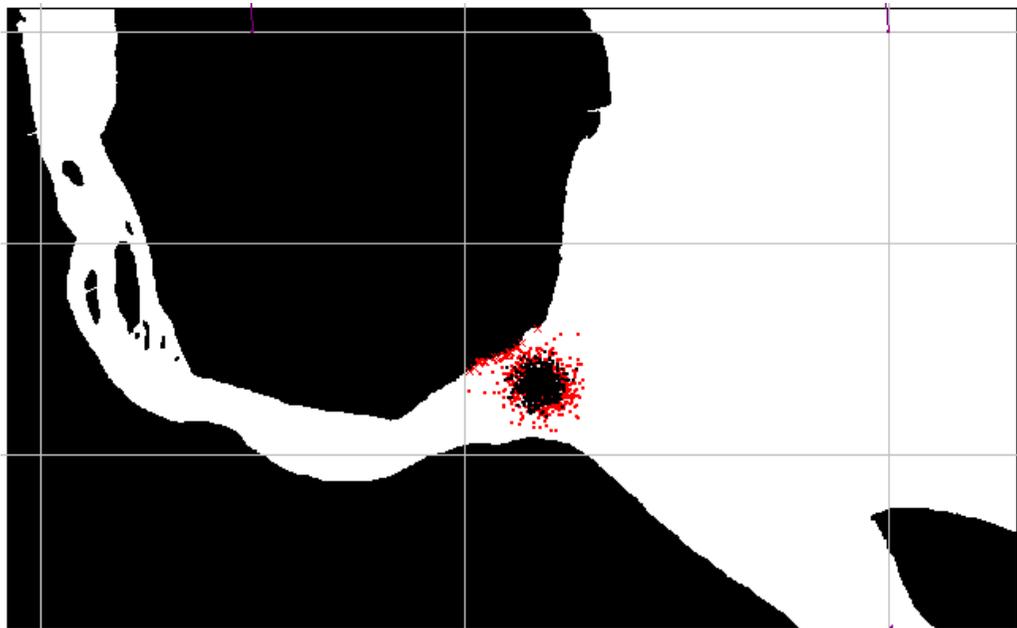
Gambar 6 Kondisi Setelah 6 jam pada kecepatan angin konstan



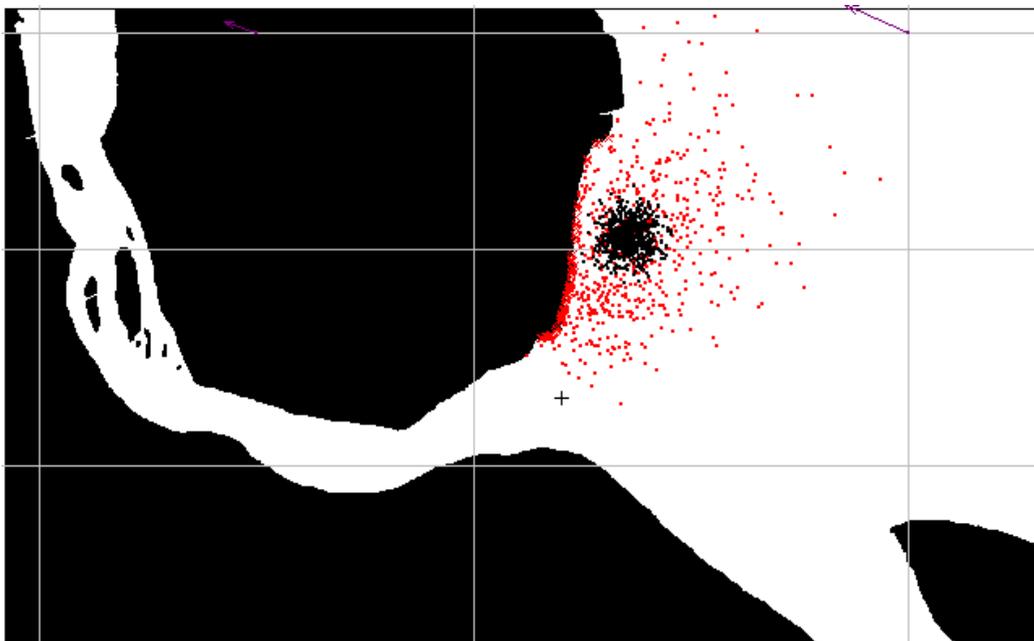
Gambar 7 Kondisi Setelah 6 jam pada kecepatan angin beragam



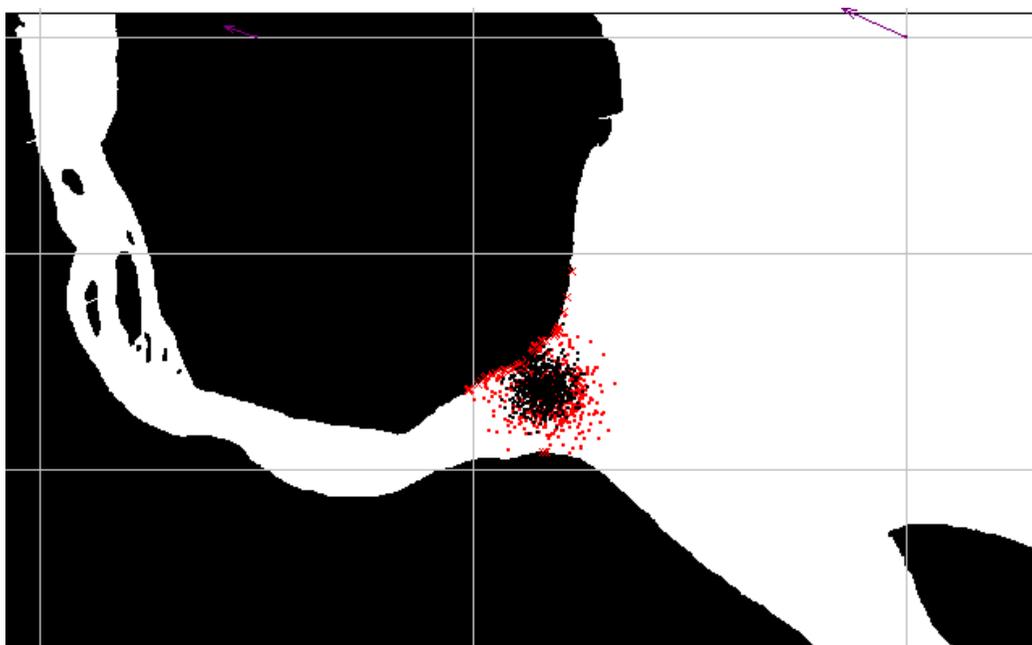
Gambar 8 Kondisi Setelah 12 jam pada kecepatan angin konstan



Gambar 9 Kondisi Setelah 12 jam pada kecepatan angin beragam



Gambar 10 Kondisi Setelah 24 jam pada kecepatan angin konstan



Gambar 11 Kondisi Setelah 24 jam pada kecepatan angin beragam

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rio Dwi Sakti Wijaya merupakan anak kedua dari pasangan Sodo Wibowo dan Rusmiati. Penulis lahir di Tulungagung, 01 Oktober 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Tugu, SDN 1 Tugu, SMPN 1 Ngunut, dan SMAN 1 Kedungawaru dan melanjutkan di perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Teknik Sistem Perkapalan melalui jalur SNMPTN Bidikmisi. Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan penulis mengambil bidang *Reliability, Availability, Management, and Safety* (RAMS). Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT. Dok Perkapalan Surabaya dan Biro Klasifikasi Indonesia Cabang Utama Surabaya. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi dan unit kegiatan mahasiswa. Penulis pernah bergabung dalam BIMITS sebagai Staf Internal 2015-2016, Marine Icon 2015, dan HIMASISKAL ITS,. Penulis dapat dihubungi melalui riodwisakti96@gmail.com