

## **STUDI KECELAKAAN KAPAL PADA ALUR PELAYARAN BARAT SELAT MADURA, TANJUNG PERAK, SURABAYA**

Sumarsono, Nurhadi, dan Budy Rolly Yuana

*Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT  
Email: nrhadi@gmail.com*

### **ABSTRACT**

Among several cruise lines, Madura Strait is one of the densest cruise shipping course that also has a high risk of accidents. According to marine accident report data, in the range of 1995 - 2010 is about 311 marine accidents happened. Accidents due to collision reached 48.5% of total accidents that occur so the impact of collision analysis is important to do. From the source of Pelindo III stated, in period of the 2008-2013, there are 20,582 ship / year passing through Madura strait channel.

Traffic based models is an accident frequency calculation approach that tailored to technical standards, environmental conditions, and the density of aquatic traffic in an area. Through this method can be estimated the frequency of collision accidents, aggregates and also the intersection of a specific area. Based on the value of  $P_c$  on the Madura Strait (APBS) with the value of  $N_m$ , where  $N_m = 3$ , there are some values obtained, for Head On obtained  $P_a = 1.819 \text{ E-}06$ , for Crossing obtained  $P_a = 1.304 \text{ E-}06$  and for Overtaking obtained  $P_a = 6.299 \text{ E-}06$ . Accidents due to Overtaking is the highest accident type of calculation, this is because  $P_c$  value is the greatest in APBS path in Inner Channel.

Keywords: Madura strait, marine accidents, collision, overtaking

### **1. PENDAHULUAN**

Sebagai Negara kepulauan, pelayaran merupakan bagian utama dalam menggerakkan ekonomi Indonesia. Diantara beberapa jalur pelayaran, Selat Madura sebagai salah satu alur pelayaran terpadat tentunya memiliki nilai resiko kecelakaan yang cukup tinggi pula. Menurut data laporan kecelakaan laut yang terjadi pada rentang 1995 – 2010 ada sekitar 311 kecelakaan laut, dimana kecelakaan akibat tubrukan mencapai 48.5 % dari total kecelakaan yang terjadi sehingga analisa risiko akibat tubrukan penting untuk dilakukan. Dari sumber Pelindo III menyebutkan bahwa rata-rata pelayaran kurun 2008-2013 adalah 20, 582 *ship/year* yang melintasi alur selat Madura. Sedangkan kondisi alur saat ini telah diperlebar dengan lebar alur sekitar 200 m dengan

kedalaman sekitar 9,5 meter sehingga selat Madura masih memiliki tingkat resiko yang tinggi terhadap kecelakaan.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi perkembangan yang signifikan dari sistem navigasi kapal. Semakin banyak Sistem Lalu Lintas Kapal dan Sistem Identifikasi Otomatis (AIS) yang telah diperkenalkan dan dikembangkan untuk akses informasi. IMO juga telah memperkenalkan persyaratan untuk kapal baru dalam memenuhi kriteria manuver tertentu dan tingkat yang aman dari awak, terus ditingkatkan. Hal tersebut umumnya untuk mengurangi kemungkinan kecelakaan kapal dalam bentuk tabrakan, kontak dan *grounding*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Traffic Base Modelling

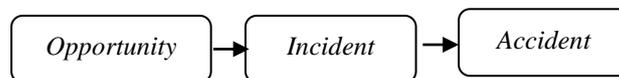
*Traffic based models* merupakan pendekatan perhitungan frekuensi kecelakaan yang disesuaikan dengan standar teknis, keadaan lingkungan sekitar, dan kepadatan lalu lintas perairan pada suatu daerah (Kristiansen, 2005). Melalui metode ini dapat diestimasi frekuensi kecelakaan tubrakan, kandas dan juga persinggungan pada suatu daerah secara spesifik.

Berdasarkan teori dasar bahwa Angka kecelakaan per unit per satuan waktu pada suatu alur tertentu dapat dihitung dengan pendekatan;

$$C_m = \lambda_m \cdot N_m = P(C) m \cdot N$$

Dimana:

- $C_m$  = Angka kecelakaan di wilayah alur tertentu per satuan waktu
- $\lambda$  = jumlah kecelakaan per kapal lewat di alur/*fairway*
- $N_m$  = jumlah kapal yang lewat per *time unit*
- $P(C) m$  = probability dari kecelakaan ketika melalui *fairway*/alur



Gambar 1. Konsep terjadinya accident.

Bahwa sebuah kecelakaan dapat terjadi karena adanya kesempatan dan insiden, maka peluang dari sebuah kecelakaan dapat dirumuskan dengan;

$$P(A) = P(C) \cdot P(I | C)$$

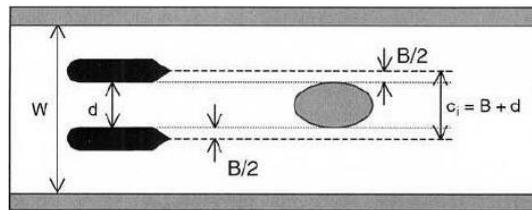
Dimana;

- $P(A)$  = probability dari sebuah kecelakaan per jumlah kapal
- $P(C)$  = peluang kapal kehilangan control

$P(I|C) = \text{probability accident jika terjadi } P(C)$

### 2.1.1 *Grounding* (Kandas).

Sebuah kapal yang berlayar di daerah yang terbatas memiliki potensi mengalami kandas dan tubrukan. Zona pantai, karang, bebatuan serta objek lainya yang tenggelam memiliki bahaya bagi kapal yang melewati daerah tersebut. Model yang digunakan untuk menghitung peluang kandas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 . Model kecelakaan *grounding* (Kristiansen, 2005)

Peluang kapal yang mengalami kandas, dapat dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan, seperti pada rumus dibawah ini:

$$P_i = \frac{B+d}{W} \quad (1)$$

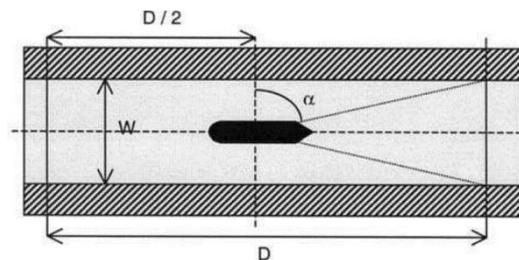
Dimana:

- W = rata –rata lebar alur pelayaran (m)
- D = lebar dari sebuah objek dilaut. (m)
- B = lebar kapal. (m)

### 2.1.2 *Stranding* (Hanyut).

*Stranding* atau hanyut terjadi ketika objek mengalami kegagalan mesin dan terbawa oleh arus sehingga memungkinkan terjadinya kecelakaan akibat terhanyut.

Pemodelan kecelakaan kapal akibat *stranding* diperlihatkan dalam gambar 3, dimana kapal berlayar dalam alur pelayaran dengan lebar W dan jarak relative pelayaran adalah D.



Gambar 3 . Model kecelakaan *Stranding* (Kristiansen, 2005)

Probabilitas dari terjadinya *stranding* dengan ratio sudut kritis ( $\alpha$ ) dari total sudut digambarkan ke satu arah;

$$Pi = \frac{\alpha}{\pi/2} = \frac{\text{arc. tan}(\frac{D}{2})/(\frac{W}{2})}{\pi/2}$$

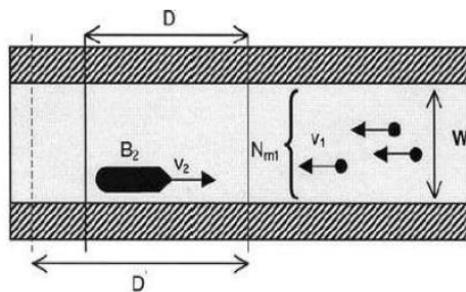
Persamaan tersebut dapat disederhanakan dengan pendekatan;

$$Pi \approx 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{W}{D} \quad (2)$$

### 2.1.3 Collision (Tubrukan)

Tubrukan merupakan benturan yang terjadi antara dua objek yang bergerak. Perhitungan peluang terjadinya tubrukan dapat dimodelkan menjadi tiga jenis yaitu tubrukan antar haluan kapal (*Head on Collision*), tubrukan antara haluan dan lambung kapal (*Crossing Collision*), dan tubrukan antara haluan dan buritan kapal (*Overtaking Collision*).

Pada Gambar 4, dapat dilihat permodelan kecelakaan kapal *head on collision*, yang menunjukkan bahwa kapal tersebut masuk dalam alur pelayaran dengan lebar  $W$ . Kapal tersebut melaju secara berhadapan dengan kapal-kapal lain, dengan arah yang berlawanan. Hal tersebut memiliki potensi kecelakaan antar haluan kapal.



Gambar 4. Model kecelakaan Tubrukan Head on (Kristiansen, 2005)

Dimana:

$B1$  = rata-rata lebar kapal (m)

$V1$  = rata-rata kecepatan kapal (Knot)

$B2$  = lebar kapal yang ditemui (m)

$V1$  = rata-rata kecepatan kapal yang ditemui (Knot)

$Nm1$  = Frekuensi kedatangan kapal yang ditemui (kapal / satuan waktu).

$D$  = Jarak pelayaran relatif (m)

Jumlah kapal yang ditemui dalam area persegi *nautical* mil dalam diukur berdasarkan kepadatan lalu lintas alur pelayaran, rumus yang digunakan untuk menghitung kepadatan alur pelayaran adalah:

$$\rho_s = \frac{Nm1+T}{(v1.T).W} = \frac{Nm1}{v1.W} \quad (3)$$

Dimana:

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

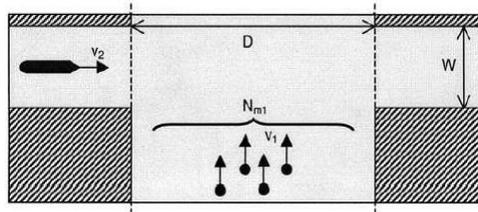
Rumus pendekatan yang digunakan untuk estimasi kecelakaan kapal yang melintasi pada daerah yang terbatas adalah:

$$Ni = 4.B.D.\rho_s$$

atau

$$Ni = \frac{(B1+B2). (v1+v2)}{W.v1.v2}. D.Nm1 \quad (4)$$

Pada Gambar 5, dapat dilihat permodelan kecelakaan kapal *crossing collision*, yang menunjukkan bahwa kapal tersebut saling berseberangan dan bertemu dalam alur pelayaran dengan lebar alur W dan panjang D. Kapal tersebut melaju secara melintang dengan kapal-kapal lain, dengan arah yang membentuk sudut terhadap alur. Hal tersebut memiliki potensi kecelakaan antar kapal dengan haluan, lambung maupun buritan dari kapal.



Gambar 5. Model kecelakaan crossing collision (Kristiansen, 2005)

Density dari *crossing traffic* dapat dihitung dengan menggunakan rumus;

$$\rho_s = \frac{Nm1.T}{(v1.T).W} = \frac{Nm1}{v1.W} \quad (5)$$

Jika kapal yang saling bertabrakan diasumsikan mempunyai karakteristik yang sama maka nilai Pi dapat dihitung dengan rumus ;

$$Pi = \frac{Nm1}{v} . 2. (B + L) = \rho_s . 2. (B + L) . D \quad (6)$$

Dimana;

- B1 = Lebar kapal 1 yang melakukan *crossing* (m)
- L1 = Panjang kapal yang melakukan *crossing* (m)
- V1 = kecepatan kapal yang melakukan *crossing* (knots)
- B2 = Lebar kapal yang jadi subjek *crossing* (m)
- L2 = Panjang kapal yang jadi subjek *crossing* (m)
- V2 = kecepatan kapal subjek *crossing* (knots)

Pada permodelan kecelakaan kapal *Overtaking collision*, disebabkan kapal tersebut saling melaku pada alur pelayaran dengan lebar  $W$ . Kapal tersebut melaju ke arah yang sama dengan kapal lain, dengan kecepatan yang berbeda serta adanya sudut dengan kapal lain sehingga memungkinkan terjadinya *overtaking*. Hal tersebut memiliki potensi kecelakaan antar haluan kapal dengan buritan kapal lain dan sebaliknya.

Nilai *potensial accidents* yang terjadi dapat didekati dengan menggunakan rumus ;

$$N_i = \frac{(B_1+B_2)}{W} \cdot \frac{(v_1-v_2)}{v_1 \cdot v_2} \cdot D \cdot Nm_1 \quad (7)$$

$$N_i = \frac{(B_1+B_2)}{W} \cdot D \cdot Nm_1 \sum f_x \cdot f_y \left( \frac{1}{v_x - v_y} \right) \quad (8)$$

## 2.2. Pemodelan dengan Iwrap

Perairan yang digunakan sebagai acuan analisa studi kasus ini adalah wilayah perairan Selat Madura. Letak Selat Madura berada diantara pulau Jawa bagian Timur dan Pulau Madura. Pada Gambar 6, dapat dilihat Selat Madura terdapat *inner channel* dan *outer channel*, dengan lebar alur pelayaran masing-masing adalah  $\pm 200$  m. Rata-rata kedalaman laut Selat Madura adalah 9 m dan kepadatan lalu lintas pertahun mencapai 20.582 kapal/year (rata-rata 2008-2013). Selat Madura merupakan jalur lalu lintas laut tersibuk pada Pulau Jawa bagian Timur.



Gambar 6. Inner dan outer channel Alur Pelayaran di Selat Madura

### 3. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka dan simulasi perhitungan berdasarkan hasil studi pustaka baik secara manual maupun dengan bantuan software. Langkah-langkah yang dilakukan dalam metodologi ini meliputi:

- Pengumpulan data-data utama meliputi banyaknya kecelakaan di alur pelayaran APBS termasuk jenis kecelakaan yang terjadi, jumlah kunjungan kapal serta jenisnya.
- Perhitungan secara manual berdasarkan rute pelayaran yang memungkinkan berdasarkan letak pelabuhan-pelabuhan pada jalur APBS
- Perhitungan dan simulasi software, analisa serta kesimpulan dari penelitian

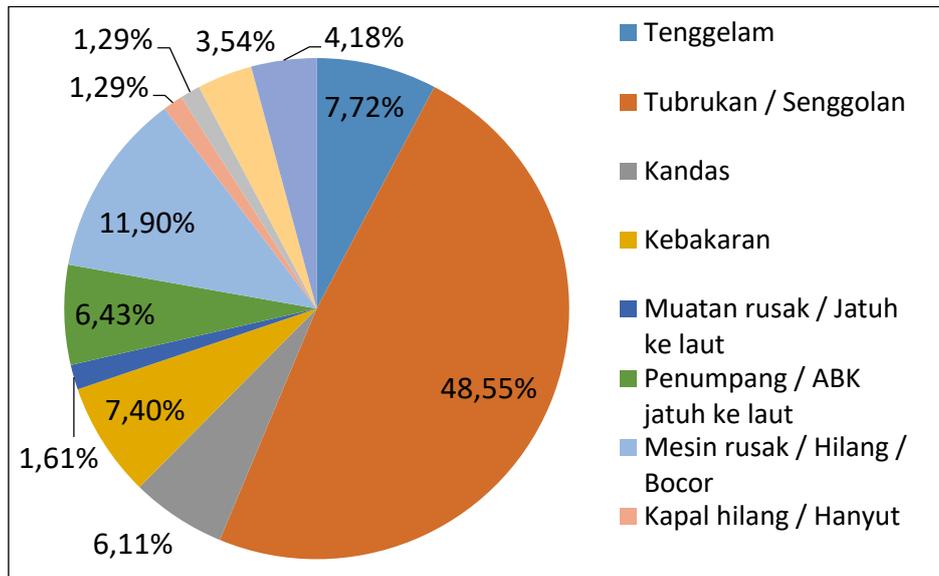
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk data jumlah kapal yang singgah di Pelabuhan Tanjung Perak sebagaimana sumber tercatat bahwa:

Tabel 1. Jumlah kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak (Sumber: Pelindo III)

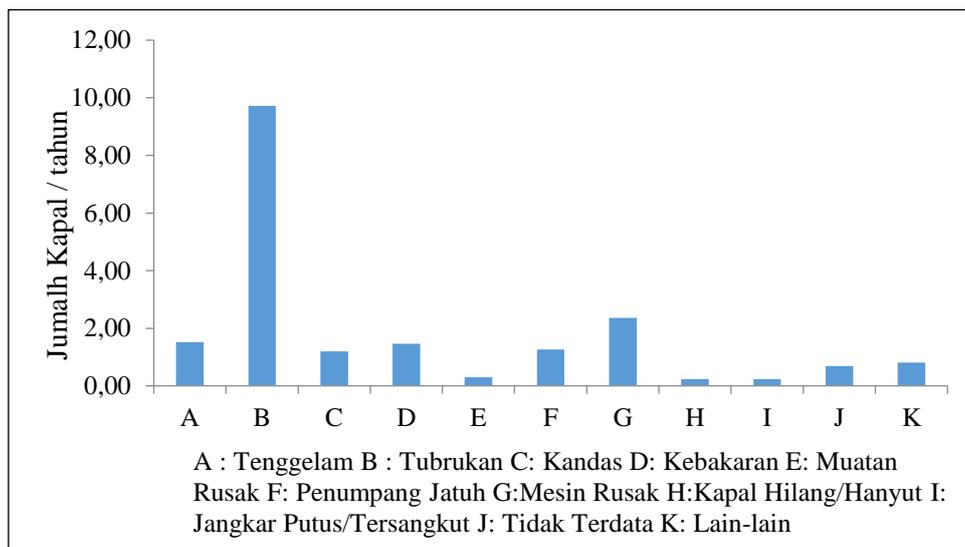
Tahun	Jumlah Kunjungan Kapal (unit)		Prosentase		Total
	Tanjung Perak	Gresik	Tanjung Perak	Gresik	
2008	15399	5552	74%	26%	20951
2009	15064	5770	72%	28%	20834
2010	14198	5650	72%	28%	19848
2011	14117	5625	72%	28%	19742
2012	14773	5851	72%	28%	20624
2013	14198	7295	66%	34%	21493

Dari sebuah sumber didapatkan bahwa data kecelakaan yang terjadi di alur barat selat Madura mencapai 311 pada kisaran tahun 1995-2009 dengan prosentase rata-rata distribusi kecelakaan seperti ditunjukkan pada gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Diagram distribusi kecelakaan 1995-2009 di Selat Madura.

Dari data kurun periode tersebut, rata-rata kecelakaan kapal/tahun diperlihatkan pada grafik di bawah ini:



Gambar 8. Grafik distribusi kecelakaan jumlah kapal per tahun di Selat Madura.

Dalam perhitungan ini, akan dilakukan analisa probabilitas kecelakaan yang terjadi di Selat Madura, khususnya di *inner channel* Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS), dimana pada channel APBS ini sangat sibuk dengan kunjungan kapal yang mencapai 20 582 / tahun dan dengan lebar alur 200 m pada saat ini rentan terjadi kecelakaan.

Adapun jenis kecelakaan yang dimungkinkan terjadi di sini meliputi;

- *Stranding*, kecelakaan ini mungkin terjadi akibat loosing control kapal yang berada di alur inner channel.
- *Collosion* yang meliputi *head on*, *over taking* dan *crossing*

Head on dan over taking pada jalur yang sibuk sangat mungkin terjadi, sedangkan crossing dimungkinkan karena adanya kapal yang menuju ke pelabuhan *Tanjung Perak*, TPS (Terminal Petikemas Surabaya), BJTI (Berlian Jasa Terminal Indonesia) dan *Gresik*.

Untuk perhitungan ini akan kita gunakan beberapa asumsi antara lain jumlah kunjungan kapal tahun 2012 adalah 20.624 kapal/tahun sedang simulasi digunakan kapal tanker dengan lebar 25 m dan panjang kapal 158 m, kecepatan kapal  $v_1 = 6$  knots,  $v_2 = 8$  knots, sedangkan data  $P_c$  yang digunakan adalah :

Jenis	$P_c$
Ship Head on	1.76E-06
Ship Overtaking	3.95E-04
Ship Crossing	1.32E-05

#### 4.1 Analisa Stranding

Analisa frekuensi terjadinya stranding dimungkinkan terjadi di inner channel dimana kapal kehilangan control sehingga hanyut dan menabrak kapal lain.

Jika lebar *inner channel* adalah 200 meter dan panjang alurnya 4500 meter maka;

$$P_i \approx 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{W}{D}$$

$$P_i \approx 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{200}{4500} = 0.9716$$

Dari jumlah data kapal hanyut / tahun (G,H,I) terdapat 3 buah kapal dengan jumlah kunjungan kapal 20 624 kapal/tahun maka ;

$$P_a = \frac{N_a}{N_m} = \frac{3}{2 \times 20624} = 7.273 E - 05$$

$$\text{Sehingga } P_c = P_a / P_i = 7.273 \cdot 10^{-5} / 0.9716 = 7.463 E - 05$$

Jenis	Na	Nm	B(m)	W	D (m)	phi	Pi	Pa	Pc
Stranding	3	41248	25	200	4500	3.14	0.9716	7.27E-05	7.48E-05

## 4.2 Analisa Collosion

### 4.2.1 Analisa Head on

Analisis tubrukan kapal dilakukan dengan menggunakan *traffic based model Head on Collision*. Asumsi  $P_c = 1.76E-06$ ,  $N_m = 3$ , maka peluang kecelakaan *head on* pada daerah pelayaran, adalah sebagai berikut:

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

dengan

$$\rho_s = \frac{N_m + T}{(V_1 \cdot T) \cdot W} = \frac{N_m}{V_1 \cdot W}$$

Jika digunakan  $N_m = 3$  (kapal /jam) pada masing-masing arah maka:

$$\rho_s = \frac{N_m}{V_1 \cdot W} = \frac{3}{6 * 1852 * 200} = 1.349 E - 06 \text{ (ship/m}^2\text{)}$$

$$N_i = 1.033 \text{ (accidents/incident)}$$

$$P_a = N_i \cdot P_c = 1.03328 * 1.76 E - 06 = 1.82 E - 06$$

$$N_a = N_m \cdot P_a = 3 * 1.82 E - 06 * 24 * 365 = 0.0478 \approx 1 \text{ accident/year}$$

Jenis	$N_m$	D (m)	L (m)	B (m)	W (m)	$\mu_s$	$P_c$	$N_i$	$P_a$	$N_a$
Ship Head on	3	4500	158	25	200	1.349E-06	1.76E-06	1.03328	1.82E-06	0.0478

### 4.2.2 Analisa Crossing

Jika lebar alur kapal yang melakukan crossing sama dengan alur utama 200 m dengan kecepatan kapal 6 dan 8 knots maka:

$$\rho_s = \frac{N_m \cdot T}{(v_1 \cdot T) \cdot W} = \frac{N_m}{v_1 \cdot W}$$

$$\rho_s = \frac{N_m}{V_1 \cdot W} = \frac{3}{6 * 1852 * 200} = 1.349 E - 06 \text{ (ship/m}^2\text{)}$$

$$P_c = 1.32 E - 05$$

$$P_i = \frac{N_m}{v} \cdot 2 \cdot (B + L) = \rho_s \cdot 2 \cdot (B + L) \cdot D$$

$$P_i = 1.349 E - 06 * 2 * (25 + 158) \cdot 200 = 9.88 E - 02$$

$$P_a = P_i \cdot P_c = 9.88 E - 02 * 1.32 E - 05 = 1.304 E - 06$$

$$N_a = N_m \cdot P_a = 3 * 1.304 E - 06 * 24 * 365 = 0.0343 \approx 1 \text{ accidents/year}$$

Jenis	$N_m$	D (m)	L (m)	B (m)	W (m)	$\mu_m$	$P_c$	$P_a$	$P_i$	$N_a$
Ship Crossing	3	200	158	25	200	1.349E-06	1.32E-05	1.304E-06	9.88E-02	0.0343

4.2.3 Analisa *Over taking*

Analisi ini dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$N_i = \frac{2B \cdot D \cdot N_m}{W} \sum f_x \cdot f_y \left( \frac{1}{v_x - v_y} \right) = k \sum \dots$$

Jika trafik yang terjadi:

Fraction traffic (%)	70	30
Speed (knots)	6	8

Jika v1 = 6 knot dan v2 = 8 knot maka:

$$k = \frac{2B \cdot D \cdot N_m}{w} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 4500 \cdot 3}{200} = 3375$$

$$\sum f_x \cdot f_y \left( \frac{1}{v_x - v_y} \right)$$

$$\sum \left[ (0.7 \cdot 0.3 \cdot \left( \frac{1}{6} - \frac{1}{8} \right)) \right] \frac{1}{1852}$$

$$= 8.75 E - 03$$

$$N_i = 3375 \cdot 8.75 E - 03 = 1.59 E - 02$$

$$P_a = N_i \cdot P_c = 1.59 E - 02 \cdot 3.95 E - 04 = 6.299 E - 06$$

$$N_a = N_m \cdot P_a = 3 \cdot 6.299 E - 06 \cdot 24 \cdot 365 = 0.1655 \approx 1 \text{ accidents/year}$$

Jenis	Nm	D (m)	L (m)	B (m)	W (m)	μs	Pc	Ni	Pa	Na
Ship Overtaking	3	4500	158	25	200	1.349E-06	3.95E-04	1.59E-02	6.299E-06	0.1655

4.3 Simulasi Dengan Software Iwrap Mk2

4.3.1 Input Data

Untuk data simulasi pemodelan dengan Iwrap ada beberapa inputan yang digunakan dalam simulasi antara lain;

- Lebar alur : 200 m
- Distribusi : Normal
- Maksimum extension/ leg : 100 m (to north/south)
- Causation Factor :

Default Causation Factors	
Merging:	0.000 E-4
Crossing:	0.132 E-4
Bend:	0.000 E-4
Headon:	0.017 E-4
Overtaking:	3.950 E-4
Grounding:	0.748 E-4
Allision	0.000 E-4
Area moving:	0.000 E-4
Area stationary:	0.000 E-4

Gambar 9. Tampilan isian causation factor pada Iwrap.

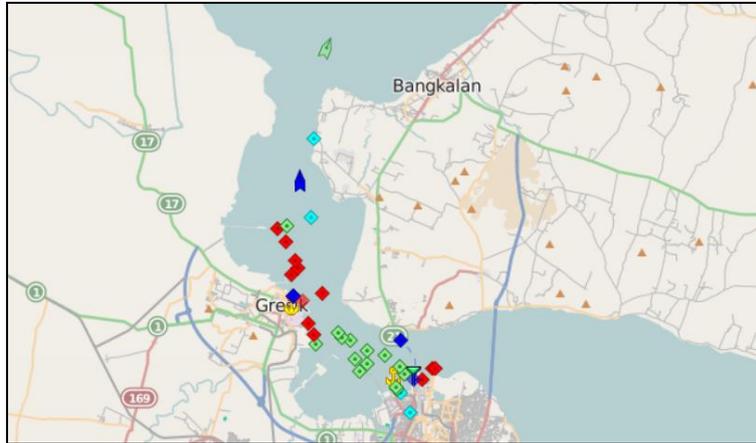
Sedangkan data kunjungan kapal adalah data yang didapatkan dari website Pelindo III, Pelabuhan Tanjung Perak dan Annual Report Pelindo III tahun 2012 dimana data kunjungan jenis dan jumlah kapal ke Pelabuhan Tanjung perak dan Gresik adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Jumlah jenis kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak (Sumber: Pelindo III)

No	Jenis Kapal	Tahun 2012
1	Container Ship	2040
2	General Cargo ship	2144
3	Bag Cargo Ship	558
4	Fuel Tank Ship	1264
5	Liquid Bulk Non Fuel Ship	447
6	Dry Bulk Ship	616
7	Barge	5908
8	Passenger Ship	1889
9	Boat/Fish Boat	2808
10	Other Ship	2951
Total		20624

Tahun	Jumlah Kunjungan Kapal (unit)		Prosentase		Total
	Tanjung Perak	Gresik	Tanjung Perak	Gresik	
2008	15399	5552	74%	26%	20951
2009	15064	5770	72%	28%	20834
2010	14198	5650	72%	28%	19848
2011	14117	5625	72%	28%	19742
2012	14773	5851	72%	28%	20624
2013	14198	7295	66%	34%	21493

Peta jalur kapal yang berlayar pada alur APBS , Selat Madura, didapatkan dari AIS adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Pergerakan Kapal di APBS dari data AIS  
(Sumber:<http://www.marinetraffic.com/en/ais/home/fm:9018>)

#### 4.3.2 Pemodelan

Untuk pemodelan jalur leg dan way point di Iwrap pada jalur APBS dibuat sebagai berikut;



Gambar 11. Pemodelan Waypoints kapal di APBS

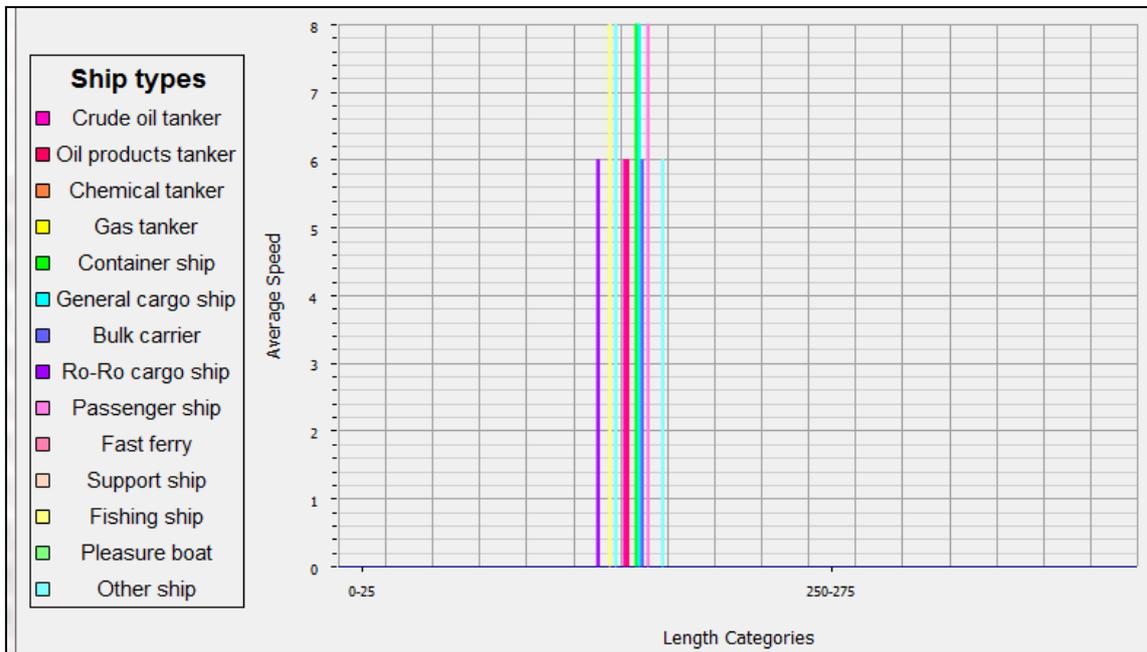
Untuk sebaran kapal terdapat 10 leg dan dibuat asumsi sebagai berikut :

- Leg 1 100% menuju Leg 2 dengan jumlah kapal 20624
- Leg 4 adalah 3% dari total Leg 2 sehingga menuju Leg 3 adalah 97%
- Leg 6 adalah 4% dari Leg 3 sehingga yang menuju Leg 5 adalah 96%
- Leg 8 adalah 20% dari Leg 5 sehingga 80% menuju Leg 7
- Dari Leg 7 terbagi rata 50% menuju Leg 9 dan Leg 10

Sedangkan inputan untuk traffic volume dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Inputan traffic volume untuk simulasi Iwrap

Panjang	Crude oil tanker	Oil products tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fishing ship	Other ship	Sum
0-25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100-125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125-150	0	0	0	0	0	558	0	2,808	2,950	6,316
150-175	447	1,264	2,040	2,144	616	0	1,889	0	5,908	14,308
175-200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200-225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	447	1,264	2,040	2,144	616	558	1,889	2,808	8,858	20,624



Gambar 12. Grafik sebaran Trafik Volume Kecepatan kapal

### 4.3.3 Hasil Simulasi

Dari inputan data-data yang dilakukan saat dilakukan simulasi didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 13. Hasil Simulasi dengan Iwrap

Dari gambar 13 nampak bahwa daerah yang rawan terjadi kecelakaan adalah pada sisi inner channel dan jalur saat keluar dari outer channel.

Tabel 4. Hasil simulasi dari Crossing:

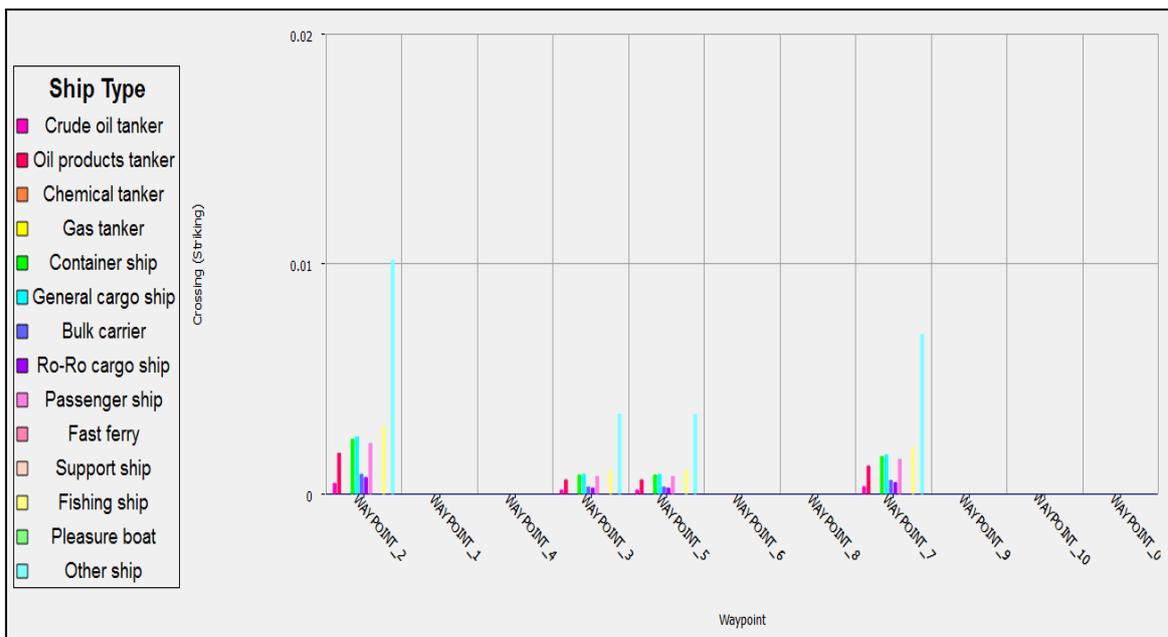
Crossing	Crude oil tanker	Oil products tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fishing ship	Other ship	Sum
Crude oil tanker	9.29E-06	3.71E-05	4.39E-05	4.58E-05	1.76E-05	1.38E-05	4.06E-05	4.99E-05	1.89E-04	4.47E-04
Oil products tanker	3.71E-05	1.48E-04	1.76E-04	1.83E-04	7.03E-05	5.52E-05	1.62E-04	1.99E-04	7.55E-04	1.79E-03
Container ship	5.84E-05	2.33E-04	2.75E-04	2.87E-04	1.11E-04	8.68E-05	2.54E-04	3.12E-04	1.19E-03	2.80E-03
General cargo ship	6.11E-05	2.44E-04	2.88E-04	3.00E-04	1.16E-04	9.09E-05	2.66E-04	3.27E-04	1.24E-03	2.94E-03
Bulk carrier	1.79E-05	7.17E-05	8.49E-05	8.84E-05	3.40E-05	2.67E-05	7.84E-05	9.63E-05	3.64E-04	8.62E-04
Ro-Ro cargo ship	1.61E-05	6.45E-05	7.64E-05	7.95E-05	3.05E-05	2.39E-05	7.05E-05	8.64E-05	3.27E-04	7.75E-04
Passenger ship	5.39E-05	2.16E-04	2.54E-04	2.65E-04	1.02E-04	8.02E-05	2.35E-04	2.89E-04	1.10E-03	2.59E-03
Fishing ship	7.91E-05	3.16E-04	3.73E-04	3.89E-04	1.50E-04	1.17E-04	3.45E-04	4.22E-04	1.60E-03	3.79E-03
Other ship	2.52E-04	1.01E-03	1.19E-03	1.24E-03	4.77E-04	3.73E-04	1.10E-03	1.35E-03	5.10E-03	1.21E-02
Sum	5.85E-04	2.34E-03	2.76E-03	2.88E-03	1.11E-03	8.68E-04	2.55E-03	3.13E-03	1.19E-02	2.81E-02

Tabel 5. Hasil simulasi dari over taking:

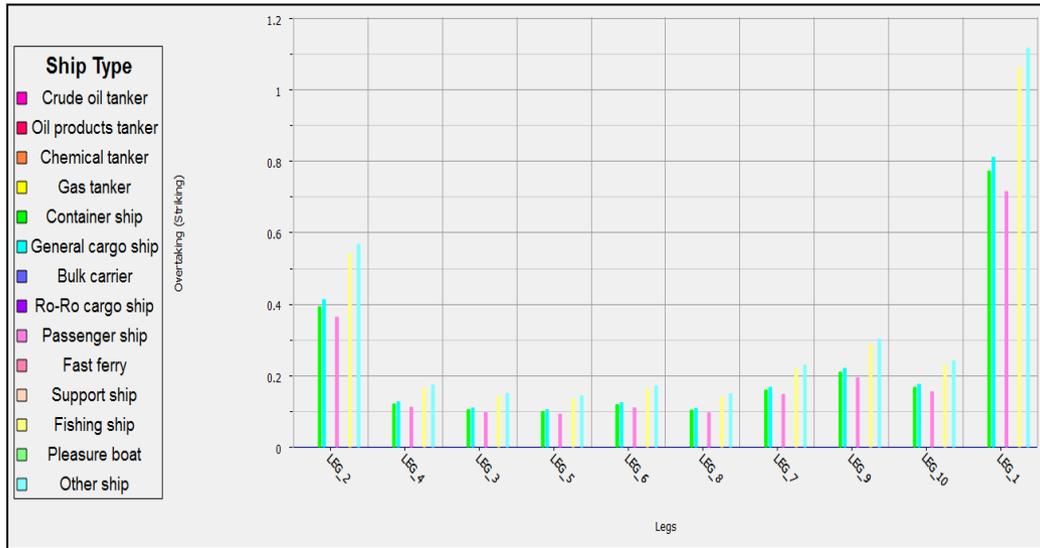
Over taking	Container ship	General cargo ship	Passenger ship	Fishing ship	Other ship	Sum
Crude oil tanker	8.165E-02	8.582E-02	7.561E-02	1.124E-01	1.181E-01	4.736E-01
Oil products tanker	3.265E-01	3.432E-01	3.024E-01	4.495E-01	4.722E-01	1.894E+00
Bulk carrier	1.591E-01	1.672E-01	1.474E-01	2.190E-01	2.301E-01	9.229E-01
Ro-Ro cargo ship	1.442E-01	1.515E-01	1.335E-01	1.984E-01	2.085E-01	8.360E-01
Other ship	1.526E+00	1.604E+00	1.413E+00	2.101E+00	2.207E+00	8.851E+00
Sum	2.238E+00	2.352E+00	2.072E+00	3.080E+00	3.236E+00	1.298E+01

Tabel 6. Hasil simulasi dari Head on:

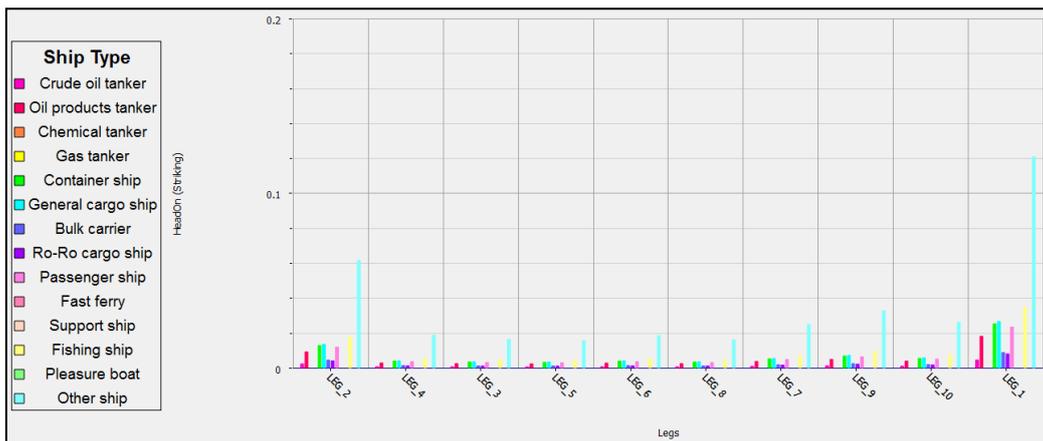
Head on	Crude oil tanker	Oil products tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship	Passenger ship	Fishing ship	Other ship	Sum
Crude oil tanker	2.18E-04	8.71E-04	1.23E-03	1.29E-03	4.24E-04	3.84E-04	1.14E-03	1.69E-03	1.89E-04	1.31E-02
Oil products tanker	8.71E-04	3.48E-03	4.92E-03	5.17E-03	1.70E-03	1.54E-03	4.55E-03	6.77E-03	7.55E-04	5.24E-02
Container ship	1.23E-03	4.92E-03	6.80E-03	7.15E-03	2.40E-03	2.17E-03	6.30E-03	9.37E-03	1.19E-03	7.32E-02
General cargo ship	1.29E-03	5.17E-03	7.15E-03	7.52E-03	2.52E-03	2.28E-03	6.62E-03	9.84E-03	1.24E-03	7.69E-02
Bulk carrier	4.24E-04	1.70E-03	2.40E-03	2.52E-03	8.27E-04	7.49E-04	2.22E-03	3.30E-03	3.64E-04	2.55E-02
Ro-Ro cargo ship	3.84E-04	1.54E-03	2.17E-03	2.28E-03	7.49E-04	6.79E-04	2.01E-03	2.99E-03	3.27E-04	2.31E-02
Passenger ship	1.14E-03	4.55E-03	6.30E-03	6.62E-03	2.22E-03	2.01E-03	5.83E-03	8.67E-03	1.10E-03	6.78E-02
Fishing ship	1.69E-03	6.77E-03	9.37E-03	9.84E-03	3.30E-03	2.99E-03	8.67E-03	1.29E-02	1.60E-03	1.01E-01
Other ship	5.85E-03	2.34E-02	3.28E-02	3.45E-02	1.14E-02	1.03E-02	3.04E-02	4.52E-02	5.10E-03	3.51E-01
Sum	1.31E-02	5.24E-02	7.32E-02	7.69E-02	2.55E-02	2.31E-02	6.78E-02	1.01E-01	1.19E-02	7.83E-01



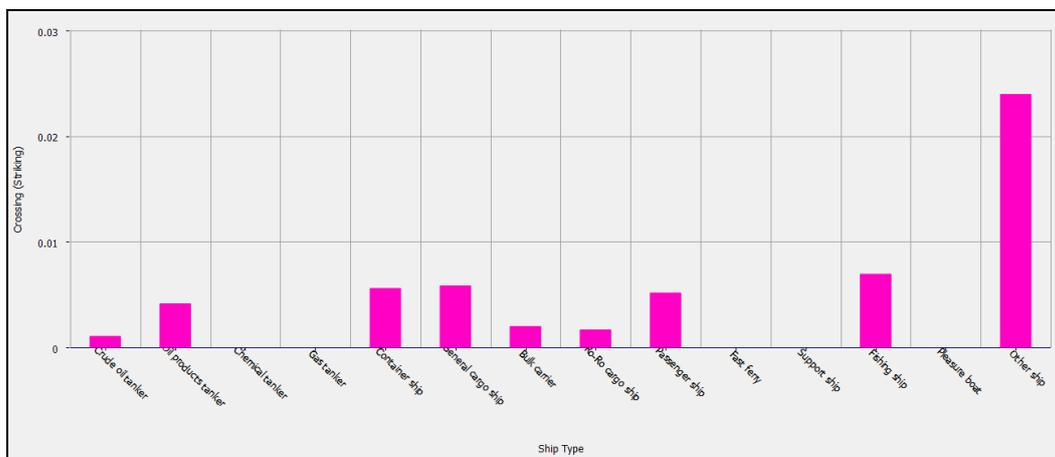
Gambar 14. Hasil Simulasi Crossing tiap leg



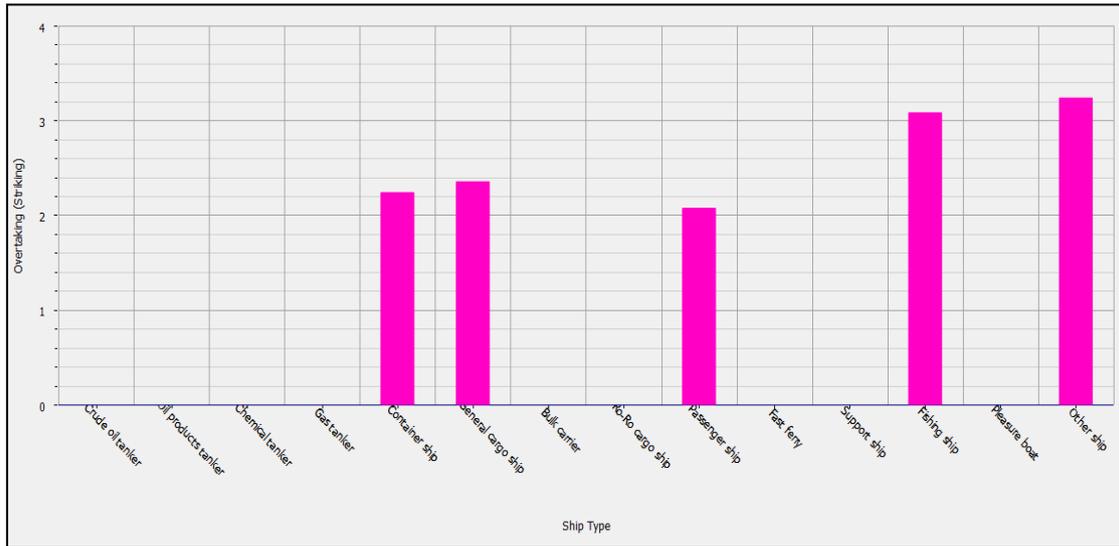
Gambar 15. Hasil Simulasi Over taking tiap leg



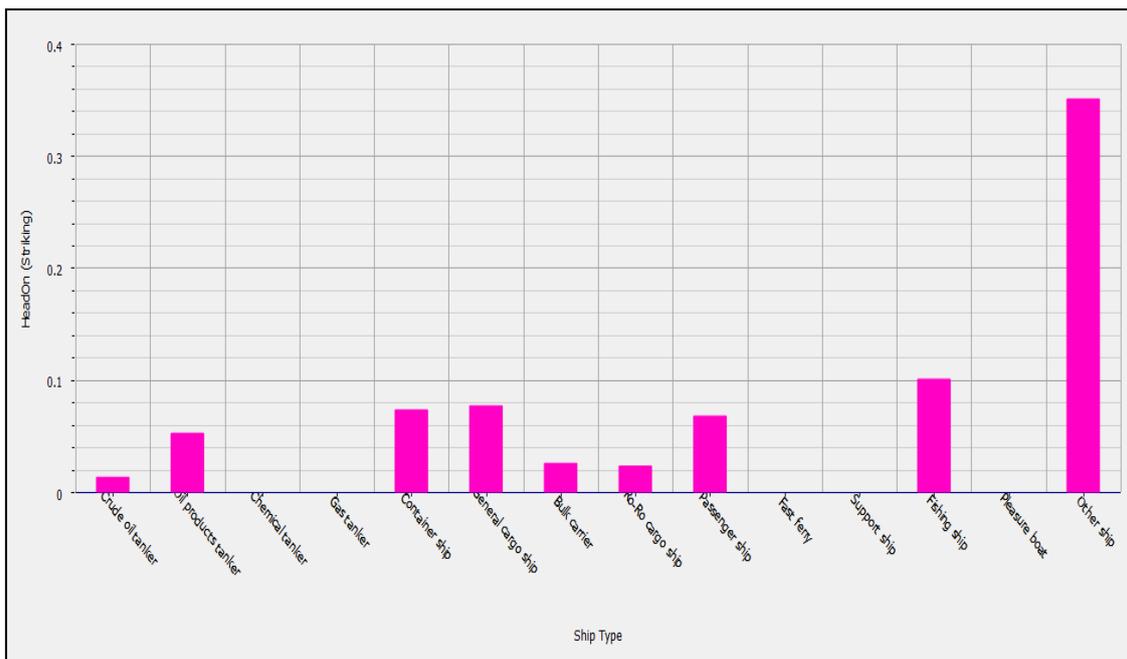
Gambar 16. Hasil Simulasi Head On tiap leg



Gambar 17. Grafik kapal yang mengalami Crossing



Gambar 18. Grafik kapal yang mengalami Over taking



Gambar 19. Grafik kapal yang mengalami Head On

#### 4.3.4 Hasil Pemodelan Jalur Pelayaran

Dari hasil pemodelan dengan Iwrap dapat kita ketahui bahwa:

- Daerah yang riskan untuk terjadi tubrukan terjadi pada inner channel dan outer dimana ditandai dengan warna kuning pada hasil.
- Pa terbesar crossing terjadi pada way point 2 (dari outer menuju leg 3 dan leg 4) serta way point 7 (leg 7 menuju leg 9 dan leg 10).

- Untuk over taking dan head on kemungkinan besar terjadi di leg 1 dimana kapal mulai bebas dari outer channel.
- Kecelakaan yang terjadi didominasi oleh jenis kapal *other ship* karena sebaran jumlahnya yang mencapai 43% (*kapal type barge* dalam simulasi masuk didalamnya), selanjutnya diikuti fishing ship.
- Terjadi selisih perhitungan antara perhitungan manual dengan simulasi software Iwrap karena pada pemodelan lebih banyak data yang menjadi inputan sehingga skenario dan kemungkinan menjadi lebih beragam dibandingkan trafik base model yang sederhana.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pemodelan dengan Iwrap, bahwa pada jalur Alur Pelayaran Selat Madura, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- Berdasarkan nilai  $P_c$  pada alur pelayaran barat selat Madura (APBS) dengan nilai  $N_m$  (frekuensi kapal berpapasan per jam). Jika  $N_m = 3$  ada beberapa nilai yang didapatkan, untuk *Head On* didapatkan  $P_a = 1.819 E-06$ , untuk *Crossing* didapatkan  $P_a = 1.304 E-06$  dan untuk *Overtaking* didapatkan  $P_a = 6.299 E-06$ .
- Daerah yang riskan untuk terjadi tubrukan terjadi pada inner channel dan outer channel dimana ditandai dengan warna kuning pada hasil simulasi software.
- $P_a$  terbesar *crossing* terjadi pada way point 2 (dari outer menuju leg 3 dan leg 4) serta way point 7 (leg 7 menuju leg 9 dan leg 10).
- Untuk over taking dan head on kemungkinan besar terjadi di leg 1 dimana kapal mulai bebas dari outer channel.
- Kecelakaan yang terjadi didominasi oleh jenis kapal *other ship* karena sebaran jumlahnya yang mencapai 43% (karena *kapal type barge* dalam simulasi masuk didalamnya).
- Terjadi selisih perhitungan antara perhitungan manual dengan simulasi software Iwrap karena pada pemodelan lebih banyak data yang menjadi inputan sehingga skenario dan kemungkinan menjadi lebih beragam dibandingkan trafik base model yang sederhana.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Kristiansen, *Maritime Transportation Safety Management and Risk Analysis*, 2005.
- [2] MARA Study, *Marine Traffic Risk Assessment for Hong Kong Waters*, 2004.
- [3] P3GL dan Ristek, *Penelitian Keseimbangan Kapasitas Fasilitas Pada Pelabuhan Petikemas Dalam Upaya Memper/ancar dan Menekan Biaya Petikemas*, Laporan Akhir, 2010
- [4] Per Christian Engberg, *Manual Iwrap MK2 V4.70*, Gate House A/S, Nov 2015
- [5] <http://www.marinetraffic.com/en/ais/home>
- [6] <http://pelindo.co.id/tanjung-perak-surabaya/>
- [7] <http://perakport.co.id>