



Terdapat tiga skenario yang dibuat dalam skema ini. Semua potensi dan masalah dari masing-masing skenario akan dipelajari. Ketiga skenario alternatif alur tersebut adalah: Alur utara, Alur tengah dan Alur selatan.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Konsep *Traffic Separation Schemes (TSS)*

Alur pelayaran adalah laut yang memiliki kedalaman dan lebar yang dianggap aman untuk kapal melewati area tersebut dan bebas dari bahaya atau *hazard*. *Traffic Separation Scheme* adalah suatu skema *routing* yang dimaksudkan untuk memisahkan lalu lintas kapal pada arah yang berlawanan dengan menyediakan alur tertentu. Konsep TSS untuk Teluk Bintuni ini didasarkan pada:

1. Kondisi perairan seperti lebar alur, arus laut, angin dan gelombang.
2. Dimensi kapal.
3. Densitas lalu lintas kapal.
4. *Hazard*
5. Karakteristik kapal.
6. Alur tertentu seperti alur untuk kapal ikan dan alur untuk aktifitas gas dan minyak.
7. Setiap alur yang biasa digunakan untuk navigasional atau aktifitas perminyakan dan gas internasional.

### 2.2. Analisis Frekuensi Ship to Ship collision

Model yang digunakan pada analisis frekuensi tubrukan kapal dengan kapal ini menggunakan konsep yang dikembangkan oleh Mulyadi [1] dan [2]. Model ini terdiri dari dua parameter utama yaitu jumlah kandidat kapal-kapal yang bertabrakan ( $N_a$ ) dan probabilitas penyebab tabrakan ( $P_c$ ).  $N_a$  dihitung berdasarkan kondisi geografik dan lalu lintas kapal yang melewati beberapa skenario jalur pelayaran yang direncanakan untuk TSS di Teluk Bintuni.  $P_c$  diperoleh dengan pendekatan berdasarkan beberapa referensi yang tersedia dan sesuai untuk diterapkan di Teluk Bintuni.

$$Nd = Na \times Pc \tag{1}$$

Jumlah kandidat kapal-kapal yang bertabrakan ( $N_a$ ) diperoleh dengan mengalikan beberapa parameter dan kelas kapal yang berbeda di setiap segmen dan zona kritis. Oleh karena itu, jumlah kandidat kapal-kapal yang bertabrakan *head-on* di segmen kritis pada alur pelayaran tertentu sesuai kelas  $i$  dan zona  $z$ , dapat ditunjukkan dengan formula berikut:

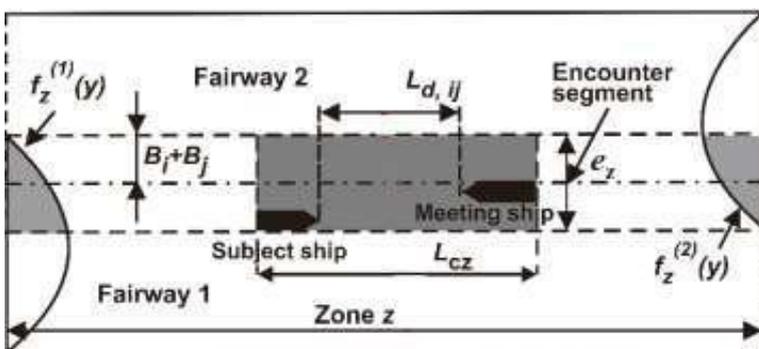
$$NA_{iz} = L_{cz} \sum_{i,j} \frac{V_i^{(1)} + V_j^{(2)}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} Q_i^{(1)} Q_j^{(1)} V_i^{(1)} P_{ez}^{(1)} P_{ez}^{(2)} P_{qz} \Delta T \tag{2}$$

Dimana  $V_i$  dan  $V_j$  adalah kecepatan kapal  $i$  dan kapal  $j$ ,  $Q$  adalah jumlah kapal dengan kelas  $i$  atau  $j$ , pada alur pelayaran 1 atau 2, sedangkan  $P$  menunjukkan probabilitas kapal yang melewati *encounter segment* dari alur pelayaran 1 atau 2 di zona  $z$ .  $P_{gz}$  didapatkan dari perkalian antara kemungkinan kapal berada di segmen bahaya  $L$  pada area alur pelayaran  $P_{tz}$  dan probabilitas kapal di jarak kritisnya *side-by-side*  $P_{bz}$ .

Pada umumnya, *layout* dari alur pelayaran di Teluk Bintuni dapat dikategorikan kedalam 2 tipe: *crossing* dan *parallel fairways*. Gambar 2 menunjukkan pertemuan kapal di *crossing* dan *parallel fairway* pada suatu alur.

### 2.3. Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal dengan *Platform (Powered Vessel Collision)*

Tabrakan yang melibatkan *passing vessel* termasuk hal yang jarang terjadi (sekitar 4% dari semua laporan tabrakan) namun berpotensi menyebabkan kerusakan yang cukup parah. Penyebab utama dari tabrakan ini adalah adanya kegagahan dalam *watchkeeping* akibat kesalahan manusia atau faktor teknis dan tidak memperhatikan adanya *platform* pada area tertentu. Tabrakan ini biasa disebut dengan *powered vessel collision*.



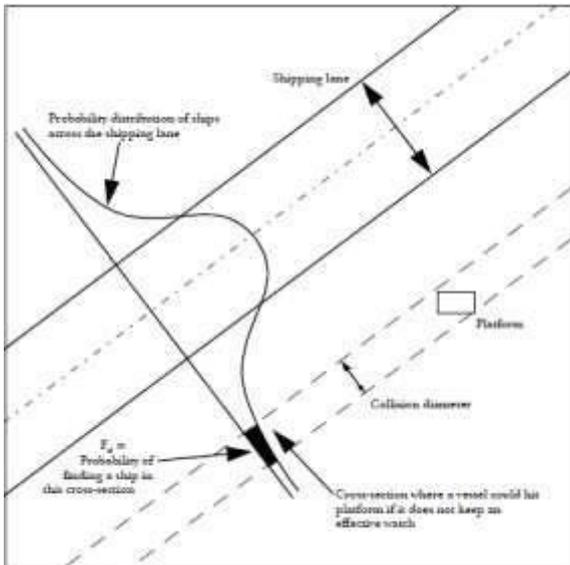
Gambar 2 Ship-Ship Encounter pada Critical Crossing Fairway Area

Ketika ada suatu *platform* yang dipasang di offshore, *platform* tersebut menjadi penghalang bagi navigasi dan pasti mempengaruhi pola lalu lintas di area tersebut. Kapal-kapal menjadi berhati-hati terhadap adanya *platform*, sehingga kapal-kapal akan mulai untuk merencanakan rute untuk menghindarinya. Hal ini menimbulkan potensi adanya kapal-kapal yang menubruk *platform* dengan tipe tubrukan *powered vessel collision*.

Frekuensi tubrukan tiap tahun ( $F_{cp}$ ) dihitung untuk tiap alur pelayaran yang melewati *platform* dengan persamaan berikut (Spouge, 1999).

$$F_{cp} = N \times F_d \times P_1 \times P_2 \times P_3 \quad (3)$$

Dimana  $N$  adalah total kapal di alur tiap tahun,  $F_d$  (Gambar 3) adalah proporsi kapal di alur yang menuju langsung ke *platform*,  $P_1$  adalah peluang kegagalan dalam berlayar di alur yang direncanakan,  $P_2$  adalah kegagalan dalam *watchkeeping* dan  $P_3$  merupakan peluang *platform* atau kapal lain untuk memberikan *alert* kepada kapal tersebut untuk menghindari.

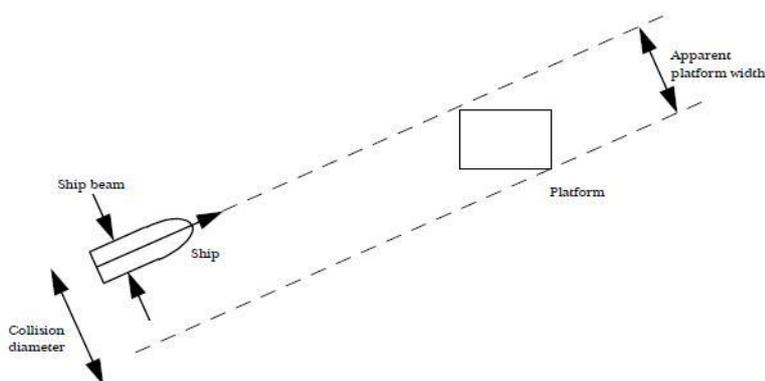


Gambar 3 Geometri *Powered passing vessel* (Spouge, 1999)

Frekuensi tubrukan sebanding dengan ukuran dari kapal dan *platform*. Gabungan dari kedua ukuran ini disebut dengan *Collision Diameter*. *Collision diameter* didefinisikan sebagai lebar dari alur dimana kapal dapat menubruk *platform* seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 [3].

Lebar *collision diameter* ini merupakan lebar *platform* yang terlihat dan lebar kapal yang melewati alur menuju *platform* tersebut. Berikut ini adalah persamaan untuk *collision diameter* :

$$D = W_A + B \quad (4)$$



Gambar 4 *Collision Diameter* (Spouge, 1999)

Peluang ( $F_d$ ) kapal mengalami tubrukan dengan *platform* adalah sebanding dengan distribusi kepadatan kapal yang melintasi alur seperti pada *collision diameter*.

$$F_d = D \times f(A) \quad (5)$$

$f(A)$  adalah kemungkinan kepadatan pada *center* dari objek dan  $A$  merupakan jarak dari objek ke garis tengah alur pada titik terdekat yang dijangkau. Untuk distribusi normal, peluang kepadatannya adalah :

$$F(A) = \frac{1}{2\sigma} \exp \frac{-k^2}{2} \quad (6)$$

dimana:

- $\sigma$  = standard deviasi dari distribusi lalu lintas yang melewati alur
- $k$  =  $A/\sigma$  atau jumlah dari standard deviasi dari objek dari pusat alur

#### 2.4. Analisis Frekuensi Tubrukan Kapal dengan Platform (*Drifting Passing Vessel Collision*)

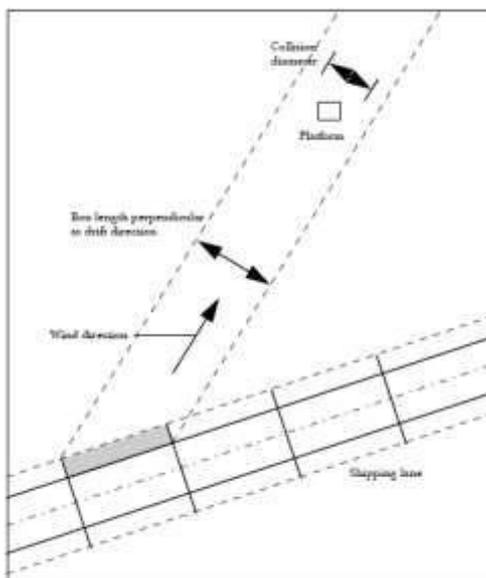
Tipe tubrukan lain yang mungkin terjadi adalah *drifting collision*. *Drifting collision* ini terjadi ketika kapal mengalami *breakdown* (propulsi atau *steering*) dan *drift* akibat terbawa angin atau gelombang menuju ke *platform*. Kecepatan *drift* kapal ini relatif rendah sehingga masih memungkinkan untuk melakukan evakuasi pencegahan menuju ke platform. Kapal yang menyimpang dari alur dan menabrak dengan *platform* terdekat dapat terjadi apabila dalam kondisi berikut ini :

- Kapal mengalami kerusakan pada sistem propulsinya
- Arah angin yang dapat membuat kapal menyimpang dari alur dan menuju ke objek
- Ada kapal lain yang mencoba untuk menarik kapal tersebut tetapi tidak berhasil
- Kapal mengalami kegagalan dalam memperbaiki kerusakan didalam kapal itu sendiri sebelum kapal menjangkau objek

Skenario yang dikembangkan untuk *drifting passing vessel collision* seperti pada Gambar 5. Persamaan matematis untuk *drifting collision* ini sebagai berikut:

$$F_{cp} = N_b \times F_b \times P_w \times D/BL \tag{7}$$

- $F_{CD}$  = frekuensi tubrukan kapal karena *drifting* (per tahun)
- $N_b$  = jumlah kapal pada kotak (kapal/tahun)
- $P_b$  = peluang kegagalan (*breakdown probability*) didalam kotak
- $P_w$  = peluang angin bertiup dari kotak atau *box* ke objek
- $D$  = *collision diameter*
- $BL$  = panjang garis tegak lurus *box* ke arah angin



Gambar 5 Drifting Collision Geometry (Spouge, 1999)

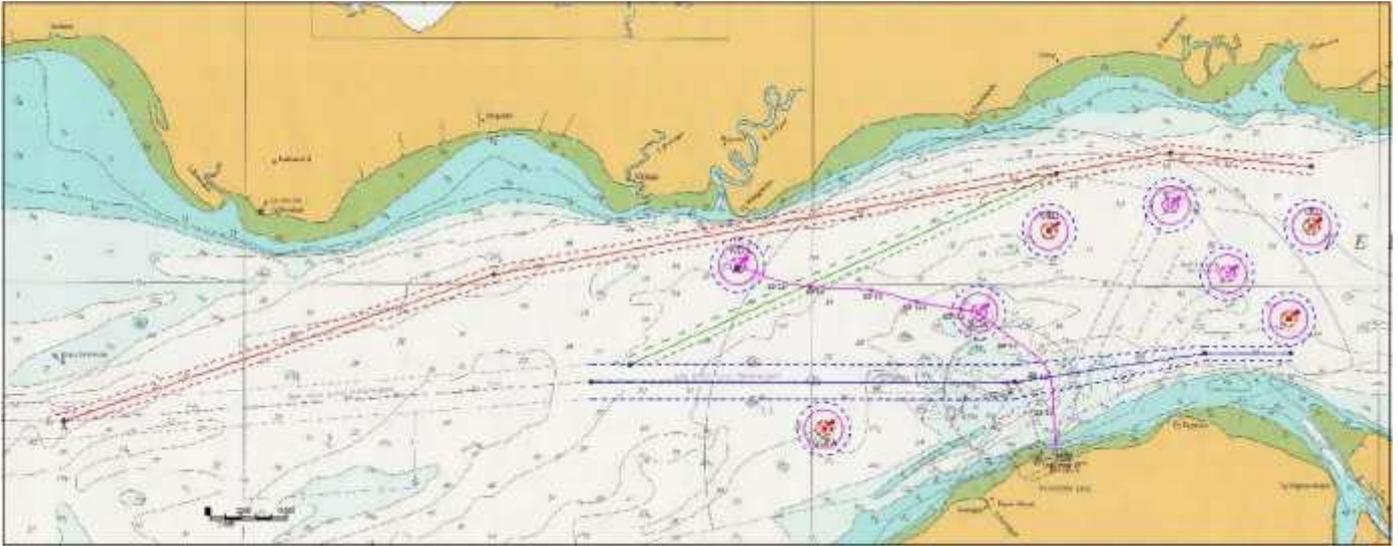
### 3 METODE PENELITIAN

Kajian mengenai *traffic separatin scheme* di Teluk Bintuni ini dilakukan dengan mempertimbangkan keselamatan lalu lintas kapal-kapal yang biasa beroperasi di area tersebut. Alur yang direncanakan didasarkan pada beberapa hal seperti kondisi geografis disekitar area Teluk Bintuni, kondisi perairan, dan juga densitas kapal serta data kapal-kapal. Analisis frekuensi tubrukan antar kapal dan kapal terhadap *platform* dengan tipe tubrukan *powered vessel collision* dan *drifting collision* dilakukan untuk memastikan bahwa beberapa alternatif alur yang dirancang akan tetap aman di masa mendatang. Analisis frekuensi tubrukan antar kapal menggunakan metode berdasarkan Mulyadi, et al., (2014), sedangkan untuk *powered vessel collision* dan *drifting collision* dihitung dengan *quantitative risk assessment* dari DNV[3].

### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Skema Rencana Alur Pelayaran

Berdasarkan beberapa pertimbangan yang telah disebutkan pada Bab II mengenai TSS, maka Gambar 6 berikut menampilkan semua alternatif skema alur pelayaran yang direncanakan.

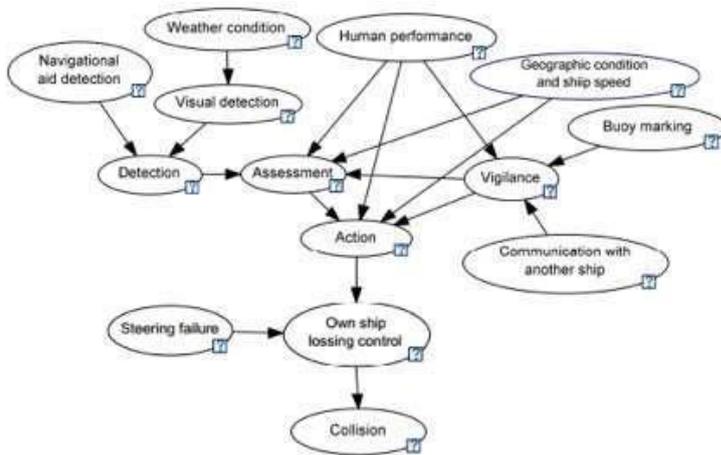


Gambar 6 Semua Skema Rencana Alur Pelayaran

## 4.2. Ship to Ship Collision

### 4.2.1. Causation Probability untuk Ship to Ship Collision

Pada studi ini, probabilitas kapal berada di situasi error dapat diperkirakan dengan menggunakan metode Bayesian networks. Model Bayesian Network ini dikembangkan dengan memodifikasi *network fragment* yang dikembangkan oleh Det Norske Veritas (DNV). Bayesian Network harus mencerminkan karakteristik spesifik mengenai lokasi studi, dimana pada permasalahan studi ini berlokasi di Teluk Bintuni. Diasumsikan bahwa tabrakan di Teluk Bintuni disebabkan oleh kapal yang kehilangan kontrol. Faktor utama yang berkontribusi terhadap *losing control* ini adalah kondisi cuaca, alat deteksi navigasi, kemampuan manusia, penandaan buoy, komunikasi antar kapal, kondisi geografis, dan kegagalan *steering*. Pc yang didapatkan dari model Bayesian network untuk diterapkan di Teluk Bintuni ini dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Bayesian Network Model dari Causation Probability untuk Ship-Ship Collision di Teluk Bintuni

### 4.2.2. Hasil Frekuensi Ship to Ship Collision

Frekuensi tabrakan kapal dengan kapal pada alur pelayaran di Teluk Bintuni untuk kapal dengan kelas  $i$  pada zona  $z$ ,  $N_a$ , dihitung dengan persamaan 2. Dengan menggunakan  $P_c$  menurut hasil dari model Bayesian Network dan berdasarkan data sekunder tentang kapal-kapal yang beroperasi di area tersebut, hasil analisis frekuensi bisa dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Kapal-kapal yang melewati Teluk Bintuni rata-rata memiliki kecepatan 6 knots, 8 knots, dan 10 knots. Oleh karena itu  $t$  adalah 3 menit untuk kapal dengan kecepatan rendah. Hasil perhitungan ini juga untuk semua tipe rencana alur pelayaran.

Tabel 1 Frekuensi Ship to ship collision ( $N_s$ ) pada Straight shipping lane dan Kecepatan Kapal 6 knots; 8 knots; dan 10 knots

Ship of ship Collision	Crew boat			Supply Vessel			LCT/Barge			MPSV			General Cargo		
	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots
Crew boat	2.70E-06	2.90E-06	3.00E-06	4.50E-06	4.70E-06	4.80E-06	2.90E-05	3.10E-05	3.20E-05	1.20E-07	1.30E-07	1.30E-07	1.10E-05	1.10E-05	1.10E-05
Supply Vessel	4.50E-06	4.70E-06	4.80E-06	6.60E-06	6.90E-06	7.10E-06	3.90E-05	4.10E-05	4.20E-05	1.60E-07	1.70E-07	1.80E-07	1.40E-05	1.50E-05	1.50E-05
LCT/Barge	2.90E-05	3.10E-05	3.20E-05	3.90E-05	4.10E-05	4.20E-05	2.10E-04	2.20E-04	2.20E-04	9.00E-07	9.50E-07	9.70E-07	7.20E-05	7.50E-05	7.70E-05
MPSV	1.20E-07	1.30E-07	1.30E-07	1.60E-07	1.70E-07	1.80E-07	9.00E-07	9.50E-07	9.70E-07	3.90E-09	4.10E-09	4.20E-09	3.10E-07	3.20E-07	3.30E-07
General Cargo	1.10E-05	1.10E-05	1.10E-05	1.40E-05	1.50E-05	1.50E-05	7.20E-05	7.50E-05	7.70E-05	3.10E-07	3.20E-07	3.30E-07	2.30E-05	2.50E-05	2.50E-05

Tabel 2 Frekuensi *Ship to ship collision* (Ns) pada *Turn shipping lane* dan Kecepatan Kapal 6 knots; 8 knots; dan 10 knots

Ship of ship Collision	Crew boat			Supply Vessel			LCT/Barge			MPSV			General Cargo		
	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots	6 knots	8 knots	10 knots
Crew boat	5.20E-06	5.40E-06	5.60E-06	8.50E-06	8.70E-06	9.10E-06	5.60E-05	5.70E-05	6.00E-05	2.30E-07	2.30E-07	2.40E-07	2.00E-05	2.10E-05	2.20E-05
Supply Vessel	8.50E-06	8.70E-06	9.10E-06	1.30E-05	1.30E-05	1.30E-05	7.50E-05	7.60E-05	8.00E-05	3.10E-07	3.20E-07	3.40E-07	2.60E-05	2.70E-05	2.80E-05
LCT/Barge	5.60E-05	5.70E-05	6.00E-05	7.50E-05	7.60E-05	8.00E-05	4.00E-04	4.10E-04	4.20E-04	1.70E-06	1.80E-06	1.80E-06	1.40E-04	1.40E-04	1.50E-04
MPSV	2.30E-07	2.30E-07	2.40E-07	3.10E-07	3.20E-07	3.40E-07	1.70E-06	1.80E-06	1.80E-06	7.30E-09	7.50E-09	7.90E-09	5.90E-07	6.00E-07	6.30E-07
General Cargo	2.00E-05	2.10E-05	2.20E-05	2.60E-05	2.70E-05	2.80E-05	1.40E-04	1.40E-04	1.50E-04	5.90E-07	6.00E-07	6.30E-07	4.50E-05	4.60E-05	4.80E-05

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 diatas, frekuensi kapal yang paling banyak melewati alur tersebut yakni tipe *general cargo* memiliki nilai frekuensi yang berada di level 3 yakni *remote ranking* ( $x < 10^{-3}$ ) sesuai dengan regulasi IMO Formal Risk Assessment (2002). Oleh karena itu, seluruh alur aman terhadap *ship-to-ship collision* untuk semua tipe kapal.

#### 4.2.3. Hasil Frekuensi Tubrukan Kapal dengan *Platform* (Powered Vessel Collision)

Pada analisis frekuensi ini, model diasumsikan bahwa semua kapal yang telah beroperasi di area tersebut memiliki peluang untuk menabrak platform. Analisis frekuensi dilakukan untuk masing-masing tipe kapal lalu kumulatif untuk semua tipe kapal. Dari hasil perhitungan, frekuensi per tahun untuk Barge 1638/LCT akan menabrak *platform* jika *platform* terletak kurang dari 300 m dari tengah alur pelayaran. Tabel 3 menunjukkan bahwa jarak aman antara tengah alur dengan *platform* adalah sekitar 500 m. Untuk ketiga alternatif skema alur pelayaran yang direncanakan, jarak terdekat antara *platform* dengan tengah alur adalah sekitar 1750 m. Oleh karena itu, dengan memperkirakan data jumlah kapal di masa mendatang, alur pelayaran yang direncanakan harus mempertimbangkan keselamatan kapal dengan nilai frekuensi tabrakan tiap tahun kurang dari satu ( $< 1$ ).

Tabel 3 Hasil frekuensi kumulatif tabrakan untuk semua kapal yang beroperasi di Teluk Bintuni

Good Visibility	Potential Traffic				Bad Visibility	Potential Traffic					
	2171	4342	6513	8684		2171	4342	6513	8684		
100	0,1702	0,3404	0,5107	0,6809	100	0,9183	1,8367	2,7550	3,6733		
Fcp (x meter from working vessel)	200	0,1076	0,2152	0,3229	0,4305	Fcp (x meter from working vessel)	200	0,5864	1,1727	1,7591	2,3454
300	0,0743	0,1487	0,223	0,2973	300	0,4053	0,8105	1,2158	1,6211		
400	0,0502	0,1003	0,1505	0,1505	400	0,2743	0,5486	0,8229	1,0972		
500	0,0319	0,0638	0,0957	0,1276	500	0,1763	0,3526	0,5289	0,7052		

#### 4.2.4. Hasil Frekuensi Tubrukan Kapal dengan *Platform* (*Drifting Vessel Collision*)

Berdasarkan hasil perhitungan frekuensi pertahun untuk tabrakan kapal akibat *drifting* seperti yang terlihat pada Tabel 4, pada area tersebut diperkirakan untuk masa mendatang, frekuensinya akan kurang dari 1, yakni 0,053. Ini menunjukkan bahwa *platform* aman terhadap tabrakan dari kapal karena *drifting*.

Tabel 4 Frekuensi tabrakan kapal dengan *platform* akibat *drifting*

No	Notation	Input	Unit	Value
1	N	Number of vessels in area	vessel/year	2954
2	F <sub>dift</sub>	Frequency of breakdown	per hour	2.0E-05
3	T	Average time spend in area	hours	36
4	P <sub>D1</sub>	Probability of no drift towards <i>platform</i>	-	0.5
5	P <sub>D2</sub>	Probability of no effectuve external assisstance	-	0.1
6	P <sub>D3</sub>	Probability of no collision avoidance by the ship	-	0.5
7	F <sub>CD</sub>	Annual frequency of collision due to drifting	collision/year	0.053

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan frekuensi tabrakan dengan tipe *head-on* antara kapal ke *platform*, jarak aman antara tengah alur dengan *platform* adalah sekitar 500 m. Karena jarak terdekat tengah alur yang direncanakan saat ini adalah 1750 m, maka di masa mendatang, alur ini masih aman untuk dilewati kapal-kapal karena frekuensinya kurang dari satu ( $<1$ ). Alur pelayaran yang direncanakan juga mempertimbangkan keselamatan kapal-kapal yang melewatinya dari tubrukan akibat *drifting* karena nilai frekuensinya juga kurang dari satu ( $<1$ ).

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. & W. MULYADI, Y., KOBAYASHI, E., WAKABAYASHI, N., PITANA, "Development of ship sinking frequency model over Subsea Pipeline for Madura Strait using AIS data," *WMU J. Marit. Aff.*, vol. 13, pp. 43–59, 2014.
- [2] P. F. HANSEN, *IWRAP MK II : Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies*. Technical University of Denmark, 2007.
- [3] J. Spouge, "A Guide To Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations."