

**ANALISA RISIKO TUBRUKNAN KAPAL DAN PEMODELAN PERSEBARAN  
TUMPAHAN MINYAK DI SELAT BALI**

**Dhanang Aji Purnomo, A.A.B. Dinariyana, Ketut Buda Artana**

Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia  
Korespondensi, dhanang.bonlap@gmail.com

**Abstrak:** Selat Bali merupakan salah satu selat yang penting di Indonesia dikarenakan tingginya densitas kapal yang melewati Selat Bali khususnya untuk kapal penumpang yang beraktivitas secara rutin. Dengan tingginya volume lalu lintas kapal terutama kapal penumpang dengan jumlah penyebrangan sebanyak 190.820 *trip* yang berada di Selat Bali, maka hal tersebut memiliki kemungkinan untuk terjadinya kecelakaan kapal khususnya tubrukan kapal dengan kapal. Untuk melakukan penilaian risiko tubrukan kapal diperlukan analisis frekuensi tubrukan kapal dan analisis konsekuensi dengan melakukan simulasi tumpahan minyak yang terjadi akibat dari tubrukan kapal pada kapal tanker. Analisa frekuensi tubrukan kapal dilakukan berdasarkan *IWRAP Theory* secara perhitungan manual untuk skenario head-on collision, crossing collision dan overtaking collision. Dimana pengaruh nilai probabilitas untuk mendapatkan nilai frekuensi tubrukan kapal di Selat Bali menggunakan metode *Bayesian Network*. Analisis konsekuensi dilakukan dengan membuat permodelan persebaran tumpahan minyak dari kapal tanker akibat tubrukan kapal yang terjadi dengan menggunakan *software GNOME*. Dari perhitungan pada studi ini dapat menghasilkan nilai risiko yang akan dilakukan pemetaan pada matriks risiko akibat dari tubrukan kapal yang terjadi di Selat Bali. Apabila level risiko berada di atas ALARP maka perlu dilakukan mitigasi untuk meminimalisir risiko yang terjadi di Selat Bali.

**Kata kunci:** penilaian risiko, tubrukan kapal, tumpahan minyak, Selat Bali

**PENDAHULUAN**

Selat Bali merupakan selat yang memisahkan Pulau Jawa dengan Pulau Bali dan juga menghubungkan Samudera Hindia dan Laut Bali. Titik koordinat dari selat Bali yaitu berada di  $-8^{\circ} 05' 60.00''$  S and  $114^{\circ} 25' 29.99''$  E. Kedalaman dari Selat Bali memiliki interval dari 10 hingga 160 meter. Selat Bali merupakan salah satu selat yang penting di Indonesia dikarenakan selat ini digunakan sebagai jalur pelayaran kapal khususnya kapal roro yang digunakan untuk melayani penumpang atau kendaraan barang yang hendak menyebrang dari Pulau Jawa ke Pulau Bali atau sebaliknya. Selat Bali memiliki jarak pelayaran sepanjang 3 miles dengan waktu tempuh 1 jam dari barat ke timur. Pada tahun 2018 terdapat 190.820 jumlah pelayaran kapal RORO dan LCT dan 1161 untuk kapal tanker, kargo dan jenis lainnya yang melintasi Selat Bali berdasarkan data dari ASDP dan KSOP.

Tingginya jumlah kapal yang beroperasi di Selat Bali memiliki risiko untuk terjadinya kecelakaan kapal seperti tubrukan kapal, kandas, kebakaran dan tenggelam yang memiliki tingkat konsekuensi yang tinggi. Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi terjadinya kecelakaan kapal yang disebabkan oleh *human error*, cuaca, kegagalan teknis pada kapal dan lainnya. Beberapa kasus kecelakaan kapal yang terjadi di Selat Bali dari 2010 hingga 2017 dapat dilihat pada tabel dibawah:

**Tabel 1.** Data Kecelakaan Kapal di Selat Bali 2010-2018

<b>Tahun</b>	<b>Klasifikasi</b>	<b>Type of Ship</b>	<b>Description</b>
2010	Tubrukan	KM	Tubrukan kapal antara KM Shinpo 18 dan KM Bosowa VI
	Kandas	KMP	KMP Rafelia kandas
	Kandas	KMP	Kandasnya KMP Citra Mandala Sakti di Pelabuhan Gilimanuk
2013	Tenggelam	LCT	LCT Pancar Indah tenggelam dikarenakan buruknya kondisi kapal dan cuaca buruk
2013	Tubrukan	KMP	Tubrukan KMP Gilimanuk dengan tiang pancang di Pelabuhan Ketapang, Banyuwangi
2015	Tubrukan	LCT	LCT Perkasa Prima 05 tabrakan dengan LCT Arjuna karena cuaca buruk
2016	Tenggelam	KMP	KMP Rafelia 2 tenggelam di Selat Bali
2017	Tubrukan	KMP	KMP Munic VII dan KMP Tunu Pratama tabrakan
	Kandas	KMP	KMP Karya Maritim III kandas di Gilimanuk
2018	Tenggelam	KMP	KMP Dharma Rosala tabrakan dengan KMP Munic V

Pada studi ini akan dilakukan analisa risiko terjadinya tubrukan kapal yang terdapat di Selat Bali dimana terdapat tiga jenis skenario tubrukan kapal yaitu *Head-on Collision*, *Overtaking Collision* dan *Crossing Collision*. Sedangkan untuk analisa konsekuensi yang dilakukan adalah dengan menggunakan pemodelan untuk mengetahui persebaran tumpahan minyak apabila terjadi tubrukan kapal di Selat Bali. Dengan melakukan studi ini maka dapat diketahui apakah jalur pelayaran yang terdapat di Selat Bali memiliki risiko yang dapat diterima atau tidak.

## METODE PENELITIAN

Terdapat dua langkah perhitungan dalam melakukan analisa risiko terjadinya tubrukan kapal yang merupakan kombinasi dari frekuensi dan konsekuensi. Dimana untuk menilai risiko suatu tubrukan kapal menggunakan risiko berdasarkan standar dari DNV GL. Beberapa tahapan untuk melakukan suatu penilaian risiko yaitu:

### Identifikasi Bahaya

Proses dalam menentukan bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan kapal yaitu berdasarkan penilaian kualitatif. Metode identifikasi bahaya yang digunakan adalah metode brainstorming berdasarkan laporan *Formal Safety Assessment – Large Passenger Ships Research* dari DNV. Proses ini membuat 45 list skenario atau jenis kegagalan, yang kemudian dikelompokkan ke dalam lima kategori. Identifikasi bahaya memiliki tujuan untuk mengidentifikasi semua bahaya yang relevan sebagai suatu acuan untuk melakukan perhitungan di langkah selanjutnya.

### Analisa Frekuensi

Dalam melakukan perhitungan frekuensi tubrukan kapal mengikuti konseptual penghitungan yang dilakukan oleh Fujii. Nilai suatu frekuensi tubrukan ( $\lambda$ ) merupakan hasil

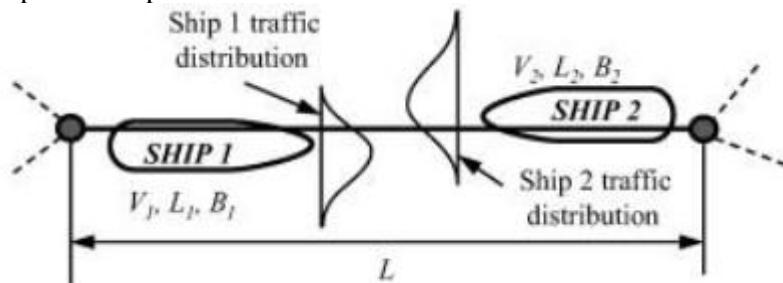
perkalian dari number of geometrical collision candidates ( $N_G$ ) dan causation factor ( $P_C$ ). Apabila ditulis dalam suatu formula adalah:

$$\lambda = P_C \times N_G \quad (1)$$

Yang diperlukan untuk melakukan analisa frekuensi adalah mendapatkan nilai dari *geometric number of collision candidates* ( $N_G$ ), hal yang perlu dilakukan yaitu dengan pengelompokan jenis kapal, ukuran kapal dan kecepatan kapal. Dimana nilai *geometric number of collision candidates* memiliki rumus yang berbeda tergantung pada jenis kecelakaan, yaitu:

1. *Head-on Collision*

*Head-on collision* merupakan salah satu skenario tubrukan yang terjadi akibat dua kapal bergerak ke arah yang berlawanan dan mengenai bagian haluan kapal. Kejadian ini dapat terjadi di Selat Bali dikarenakan kapal yang melintas keluar masuk di selat sangat tinggi. Ilustrasi dari *head-on collision* dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Head-on Collision**

Frekuensi tubrukan kapal untuk scenario head-on collision menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana,

$N_G$  = number of collision candidate

$L_w$  = panjang segmen

$P_G$  = possibility collision occur

$V_i$  = kecepatan kapal di rute i

$V_j$  = kecepatan kapal di rute j

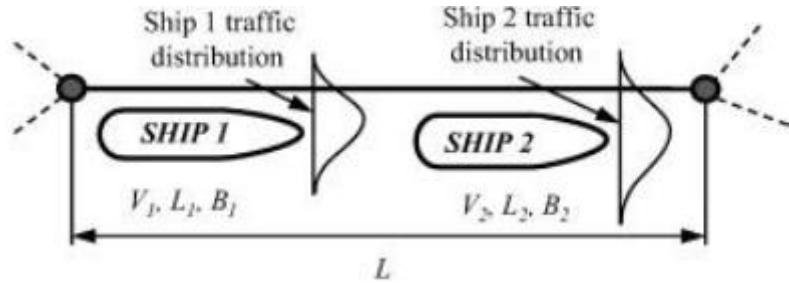
$V_{ij}$  = kecepatan relatif

$Q_i$  = jumlah kapal per tahun di rute i

$Q_j$  = jumlah kapal per tahun di rute j

2. *Overtaking Collision*

*Overtaking collision* adalah scenario tubrukan dimana dua kapal bergerak ke arah dan jalur yang sama, dan tubrukan dapat terjadi apabila salah satu kapal bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi dan hendak mendahului kapal lain. Untuk ilustrasi terjadinya overtaking collision dapat dilihat di Gambar 2



Gambar 2. Overtaking Collision

Untuk persamaan *overtaking collision* yaitu:

$$N_G^{\text{overtaking}} = Lw \sum_{i,j} P_{G_{i,j}}^{\text{overtaking}}, \frac{V_{ij}}{V_i, V_j} (Q_i Q_j) \quad (3)$$

Dimana,

$N_G$  = number of collision candidate

$L_w$  = panjang segmen

$P_G$  = possibility collision occur

$V_i$  = kecepatan kapal di rute i

$V_j$  = kecepatan kapal di rute j

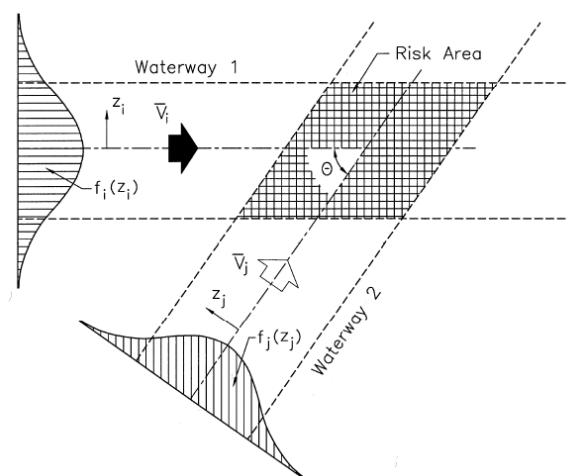
$V_{ij}$  = kecepatan relatif

$Q_i$  = jumlah kapal per tahun di rute i

$Q_j$  = jumlah kapal per tahun di rute j

### 3. Crossing Collision

Skenario tubrukan kapal ini dapat terjadi apabila dua kapal bergerak pada arah yang berpotongan dengan kapal lain. Pada skenario tubrukan di Selat Bali, hal ini dapat terjadi pada alur kapal penumpang yang berpotongan dengan alur pelayaran kapal lain yang bergerak melintasi Selat Bali. Ataupun kejadian ini dapat diskenariokan pada kapal yang akan keluar masuk pelabuhan yang memiliki jumlah dermaga yang lebih dari satu dengan jarak yang berdekatan.



Gambar 3. Crossing Collision

## Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"  
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

Dapat dilihat dari gambar ilustrasi diatas mengenai *crossing collision*. Maka, persamaan untuk *crossing collision* adalah:

$$N_G^{\text{crossing}} = \sum_{i,j} \frac{Q_i Q_j}{V_i V_j} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \quad (4)$$

Dimana,

$N_G$  = number of collision candidate

$\theta$  = collision angel

$D_{ij}$  = crossing collision diameter

$V_i$  = velocity vessel in route i

$V_j$  = velocity vessel in route j

$V_{ij}$  = relative velocity

$Q_i$  = vessel frequency each year in route i

$Q_j$  = vessel frequency each year in route j

Sedangkan untuk mendapatkan nilai *Causation Factor (P<sub>c</sub>)* digunakan metode *Bayesian Network* untuk mengetahui faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya tubrukan kapal dengan menggunakan nilai-nilai probabilitas. *Bayesian Network* atau disebut dengan *Directed Acrylic Graph (DAG)* dimana terdiri dari *node* dan *edge*. *Node* mempresentasikan variabel acak dan *edge* mempresentasikan hubungan antar variabel sebagai sebab-akibat. Dimana nilai distribusi probabilitas tiap variabel memiliki range dari 0 sampai 1.

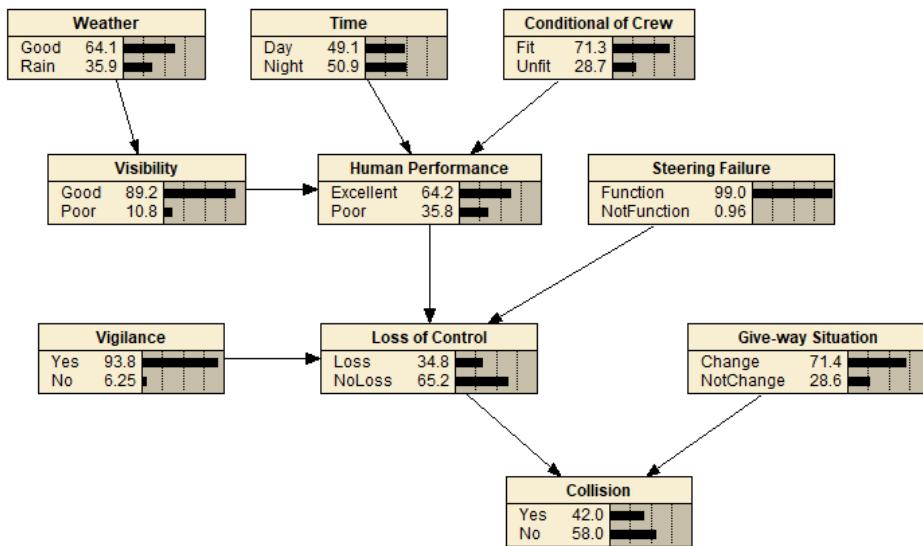
### Analisa Konsekuensi

Analisa konsekuensi dilakukan untuk mengetahui dampak dari akibat dari terjadinya kecelakaan. Pada studi ini dilakukan pemodelan tumpahan minyak sebagai analisis konsekuensi yang muncul dari kebocoran kapal tanker dikarenakan terjadinya tubrukan dengan kapal lain. Untuk melakukan pemodelan tumpahan minyak digunakan *software GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment)* untuk mengetahui luas dan volume persebaran minyak dalam jangka waktu tertentu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Perhitungan Nilai Probabilitas Tubrukan Kapal

Berdasarkan persamaan dari frekuensi tubrukan kapal, diperlukan untuk mengetahui nilai dari causation factor dengan menggunakan metode *Bayesian Network*. Model BN dibuat berdasarkan studi literatur, laporan kecelakaan dan judgement. *Bayesian Network* digunakan untuk mengetahui nilai probabilitas hubungan antara *event* dari kecelakaan kapal dengan faktor penyebabnya. Untuk nilai probabilitas didapatkan berdasarkan pendekatan hasil distribusi dari data kondisi lapangan di Selat Bali dan beberapa penilaian dari *generic data*.

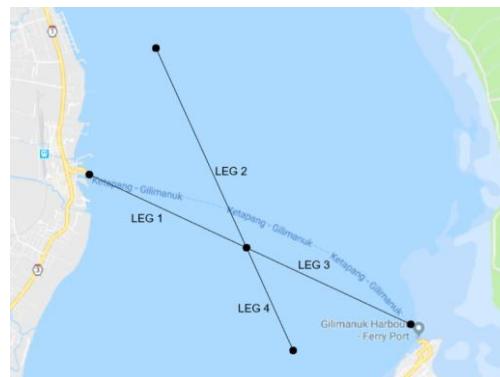


**Gambar 4.** Model *Bayesian Network* untuk Ship Collision

Pada nilai probabilitas parent nodes seperti *weather*, *time*, *conditional of crew*, *steering failure*, *give-way situation*, *vigilance* digunakan sebagai pendekatan untuk kemungkinan yang dapat terjadi dari suatu *event*. Setiap variabel dari *parent nodes* memiliki garis alur ke *child nodes* yang berarti *child nodes* dipengaruhi oleh beberapa faktor. Untuk nilai *child nodes* menggunakan nilai *conditional probability* untuk mengetahui kemungkinan tiap *state* tergantung pada *parent nodes*. Variabel dari *child nodes* yaitu *visibility*, *human performance*, *loss of control*, *collision*.

### Hasil Perhitungan Frekuensi Tubrukan Kapal

Untuk melakukan analisis tubrukan kapal akan ada 4 segmen yang digunakan sebagai skenario pada jalur lintas kapal yang berada di Selat Bali. Segmen 1 dan segmen 3 digunakan oleh kapal penumpang yang rutin melintasi Selat Bali sedangkan segmen 2 dan segmen 4 biasa digunakan oleh kapal kargo atau kapal tanker yang melewati selat atau hendak keluar masuk pelabuhan Tanjung Wangi.



**Gambar 5.** Skenario Tubrukan Kapal

Untuk menghitung *number of collision candidate* perlu untuk diketahui mengetahui panjang tiap segmen rute, densitas kapal yang melewati segmen rute dalam satu tahun yang telah dikelompokkan sesuai tipe dengan ukuran kapal dan standar deviasi yang merupakan lebar dari alur pelayaran kapal.

Tabel 2. Data untuk Perhitungan

Leg	Length of Leg	Ship Density 1	Ship Density 2	Standard Deviation
1	2700	95164	95659	300
2	5900	553	549	900
3	2400	95164	95660	300
4	12600	180	170	900

Langkah selanjutnya untuk mendapatkan nilai frekuensi yaitu dengan melakukan kombinasi dari *number of collision candidate* ( $N_G$ ) dengan *causation factor* ( $P_C$ ). Telah diketahui sebelumnya yaitu nilai probabilitas dari masing-masing node untuk model tubrukan. Perhitungan untuk mencari nilai probabilitas dari *collision model* yaitu dengan menggunakan *joint probability*, Sehingga diperlukan untuk melakukan skenario tiap node.

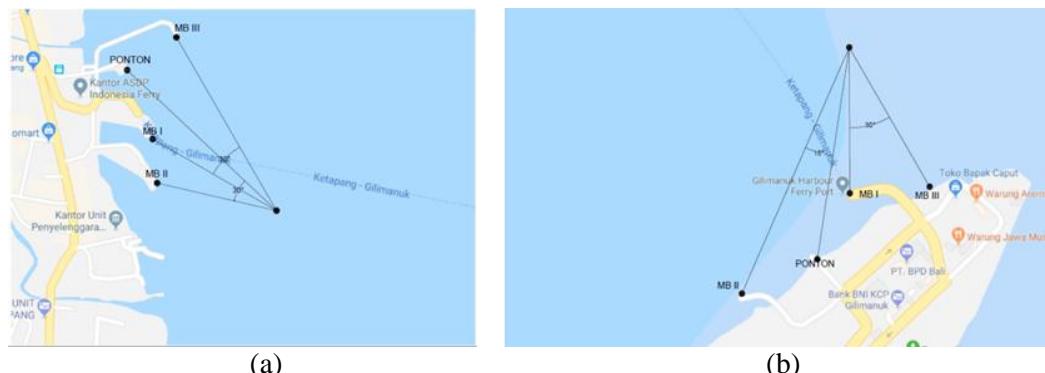
a. Frekuensi *Head-on Collision*

Pada skenario ini yaitu tubrukan bias terjadi akibat cuaca buruk sehingga menurunkan jarak pandang kru saat beroperasional di siang hari. Kondisi dari kru sendiri sedang kurang bagus sehingga membuat performa kerja buruk dalam menjalankan tugas. Steering gear sistem dalam kondisi baik dan pengawasan dari internal dan eksternal juga cukup baik. Tubrukan terjadi karena kehilangan kendali sehingga kapal tidak dapat menghindari kecelakaan walaupun telah melakukan maneuver. Setelah membuat skenario, maka nilai dari *causal probability* adalah 0.000791207 yang mempengaruhi nilai frekuensi *head-on collision* di Selat Bali yaitu 1.57

b. Frekuensi *Overtaking Collision*

Untuk causal probability dari overtaking collision yaitu skenario yang dibuat adalah tubrukan kapal terjadi saat cuaca dalam kondisi bagus sehingga jarak pandang untuk kru kapal baik. Walaupun kapal beroperasi pada malam hari namun kondisi kru dalam kondisi fit dan juga berpengaruh pada performa *officer on the watch*. Pengawasan kapal juga cukup bagus namun *steering gear system* mengalami kegagalan dalam beroperasi sehingga menyebabkan kapal tidak dapat bermanuver. Hal ini berpotensi besar kapal dapat mengalami tubrukan terhadap kapal lain. Setelah membuat scenario tersebut, nilai dari *causation probability* dengan menggunakan *joint probability* yaitu 0.000207 sehingga nilai untuk frekuensi *overtaking collision* yaitu  $4.03 \times 10^{-3}$ .

c. Frekuensi *Crossing Collision*

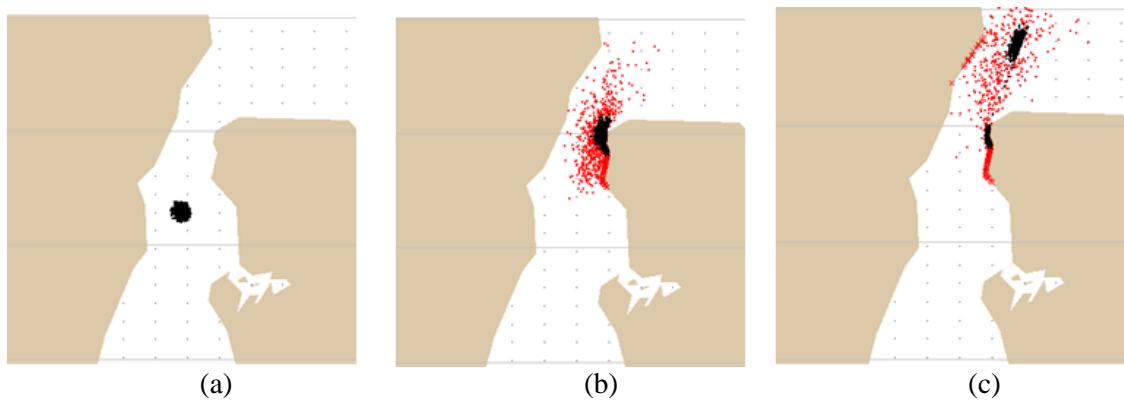


Gambar 6. Skenario Crossing Collision  
(a) Pelabuhan Ketapang, (b) Pelabuhan Gilimanuk

Untuk membuat *causation probability* dari *crossing collision* yaitu, skenario dibuat dimana kecelakaan terjadi dikarenakan tidak adanya pengawasan dari *2<sup>nd</sup> officer*. Kapal beroperasi pada cuaca yang bagus dan jarak pandang yang baik di malam hari. Kondisi dari kru kapal sendiri juga bagus walaupun performa kerja menurun, hal ini bisa disebabkan karena kru mengalami kelelahan. Tidak ada kegagalan dalam *steering gear system*. Maka nilai dari *causation probability* untuk *crossing collision* dengan cara perhitungan yang sama dengan sebelumnya yaitu 0.00051. Selain itu untuk scenario dari *crossing collision* ditambah dimana tubrukan dapat terjadi di *port area* yaitu Pelabuhan Ketapang dan Pelabuhan Gilimanuk yang memiliki empat dermaga sehingga hasil akhir dari nilai frekuensi *crossing collision* adalah  $8.08 \times 10^{-2}$ .

### Hasil Pemodelan Tumpahan Minyak

Simulasi untuk melakukan pemodelan tumpahan minyak menggunakan *software GNOME*. Titik koordinat yang akan dilakukan untuk melakukan simulasi tumpahan minyak berada pada koordinat  $80^{\circ} 08' 09''$  S and  $114^{\circ} 24' 59''$  E. Untuk kapal yang digunakan sebagai objek yaitu kapal tanker dengan panjang 190.5 m dan lebar 29.26 m. Dimana pada skenario ini kapal mengalami tubrukan sehingga tangki bocor dan volume minyak yang diperkirakan tumpah sebanyak 5439.39 m<sup>3</sup> berdasarkan hasil riset dari van de Wiel & van Dorp, 2009. Kecepatan, arah angin dan arus laut diinput ke software yang bergerak dari Barat Daya menuju Timur Laut dengan kecepatan 3 m/s untuk mengetahui perkiraan arah persebaran tumpahan minyak. Tumpahan minyak akan disimulasikan selama 12 jam dan 24 jam untuk mengetahui persebaran minyak. Hasil dari simulasi pada skenario tersebut adalah:



Gambar 7. Kondisi Persebaran Tumpahan Minyak  
(a) Kondisi Awal, (b) Setelah 12 jam, (c) Setelah 24 jam

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 7. dapat diketahui bahwa setelah 12 jam minyak sudah tersebar ke bagian pantai di barat Pulau Bali dan setelah 24 jam minyak tumpah, minyak terus bergerak ke arah Laut Bali di sebelah utara Pulau Bali dan juga telah mengenai bagian timur Pulau Jawa yaitu Banyuwangi.

**Tabel 3.** Kondisi tumpahan minyak pada waktu 12 jam dan 24 jam

Kondisi	Volume Minyak (m <sup>3</sup> )	
	12 jam	24 jam
Released	5439	5439
Evaporated/Dispersed	723	1082
Beached	1817	1784
Floating	2899	2573

Dari hasil simulasi, bisa dilihat bahwa dari total volume minyak yang tumpah ke laut. Terdapat 1082 m<sup>3</sup> minyak menguap atau terdispersi pada saat waktu 24 jam, jumlah ini bertambah dimana pada waktu 12 jam jumlah minyak yang menguap dan terdispersi sebesar 723 m<sup>3</sup>. Hal ini dapat disebabkan oleh minyak yang telah terpecah menjadi partikel yang lebih kecil dapat terdispersi oleh air laut ataupun menguap oleh panas matahari. Volume minyak yang mencapai pantai pada 12 jam yaitu 1817 m<sup>3</sup> namun setelah 24 jam jumlah minyak di pantai berkurang menjadi 1784 m<sup>3</sup>, hal ini dapat terjadi karena minyak bisa terbawa oleh ombak menuju ke laut ataupun menguap. Sedangkan untuk jumlah minyak yang masih mengapung di laut pada 12 jam yaitu 2899 m<sup>3</sup> dan setelah 24 jam jumlah minyak berkurang 2573 m<sup>3</sup>.

## KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis frekuensi dan konsekuensi pada masing-masing scenario tubrukan kapal, maka dapat dilakukan pemetaan terhadap matriks risiko sesuai standar DNV yang dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4** Matriks Risiko

		Consequence					
		None	Negligible	Significant	Serious	Critical	Catastrophic
Frequency	>10						
	1-10						<b>Head-on</b>
	0,1-1						
	0,01-0,1						<b>Crossing</b>
	0,001-0,01						<b>Overtaking</b>
	0,0001-0,001						
	0,00001-0,0001						
	<0,00001						

Dapat dilihat pada matriks risiko pada tingkat konsekuensi *catastrophic* dimana jumlah volume tumpahan minyak sebesar lebih dari 300 ton untuk skenario *head-on collision* berada pada *unacceptable level*. Sedangkan untuk *crossing collision* berada pada *unacceptable level* dan *overtaking collision* masih berada pada *unwanted level*.

## **Seminar Nasional Kelautan XIV**

“ Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia”  
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

## **DAFTAR PUSTAKA**

- GNOME (General NOAA Oil Modelling Environment) User's Manual.* (2002). United States.
- Avesina, M. A. (2018). *Penilaian Risiko Terjadinya Tabrakan Kapal & Kapal Kandas Dan Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak Di Selat Bali.* Departemen Teknik Sistem Perkapalan-ITS.
- DNV. (2004). *FSA Study on Navigational Safety of Passenger Ships.* Norway.
- Fahrirozan, M. F. (2019). *Formal Safety Assessment For Ship Collision in Sunda Strait.* Departemen Teknik Sistem Perkapalan-ITS.
- Friis-Hansen, P. (2008). *Basic Modelling Principles For prediction Of Collision And Grounding Frequencies.* Technical University of Denmark.
- GL, D. (2015). *Hazard Identification And Qualitative Risk Evaluation Of The Navigational Risk For The Omo Syd Wind Farm.* Denmark.
- Hanninen, M., & Kujala, P. (2012). Influences Of Variables On Ship Collision Probability In A Bayesian Belief Network Model.
- Saputra, I. P. (2019). *A Bayesian Network Model For Piracy And Robbery Assessment Of A Port: A Case Study Of Tanjung Perak Port.* Departemen Teknik Sistem Perkapalan-ITS.
- Wiel, G. F. (2008). *A Probabilistic Model For Oil Spill Volume In Tanker Collisions and Groundings.* Delft University of Technology, Netherlands.