

PENENTUAN ORIENTASI DERMAGA YANG OPTIMUM BERDASARKAN RESPON DINAMIK KAPAL

Nabel Ihsan Muhammad¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganeca no. 10, Bandung 40132

¹nabelihsan@gmail.com dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Kata kunci: respon dinamik, *mooring*, gaya tarik efektif, perpindahan kapal, orientasi dermaga

ABSTRAK

Operator minyak dan gas bumi sebaiknya memiliki fasilitas terminal curah cair yang dapat beroperasi setiap hari sepanjang tahunnya agar dapat memenuhi kebutuhan konsumsi energi dari minyak dan gas bumi yang tinggi sepanjang tahun. Kapal curah cair yang bersandar di terminal akan secara berkala dihantam oleh gaya-gaya lingkungan laut seperti gelombang, arus, dan angin di laut. Jika kapal mengalami respon dinamik yang terlalu besar akibat gaya lingkungan yang terjadi, dikhawatirkan dapat terjadi kecelakaan kerja seperti lepasnya *loading arm* dengan pipa transfer curah cair yang dapat menyebabkan tumpahnya curah cair ke lautan. Untuk menjaga kestabilan kapal selama proses bongkar muat, diperlukan sistem *mooring* untuk menahan kapal mengalami respon dinamik yang terlalu besar. Respon dinamik kapal yang perlu diperhitungkan adalah perpindahan kapal dan gaya tarik efektif pada sistem *mooring*. Dalam penelitian ini, dilakukan penentuan orientasi dermaga yang paling optimum yang dapat dioperasikan setiap hari berdasarkan respon dinamik yang terjadi pada kapal. Orientasi dermaga yang dipilih adalah orientasi dermaga yang menghasilkan respon dinamik yang paling kecil. Nilai perpindahan kapal maksimum dan gaya tarik efektif maksimum masing-masing dibandingkan dengan kriteria desain yang digunakan, yaitu dengan Rekomendasi PIANC dan API RP 2SK. Apabila nilai perpindahan kapal dan gaya tarik efektif maksimum pada orientasi dermaga yang dipilih lebih kecil dibandingkan nilai di kriteria desain, orientasi dermaga tersebut dinyatakan aman untuk operasi bongkar muat curah cair.

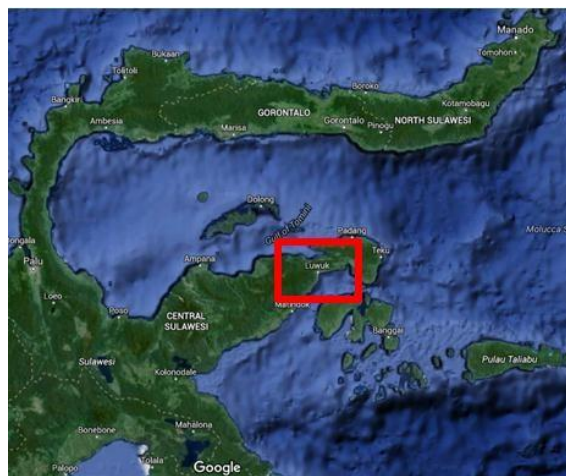
PENDAHULUAN

Operator minyak dan gas bumi sebaiknya memiliki fasilitas terminal curah cair yang dapat beroperasi setiap hari sepanjang tahunnya agar dapat memenuhi kebutuhan konsumsi energi dari minyak dan gas bumi yang tinggi sepanjang tahun. Jika kapal mengalami respon dinamik yang terlalu besar akibat gaya lingkungan yang terjadi, dikhawatirkan dapat terjadi kecelakaan kerja seperti lepasnya *loading arm* dengan pipa transfer curah cair yang dapat menyebabkan tumpahnya curah cair ke lautan.

Untuk menjaga kestabilan kapal selama proses bongkar muat, diperlukan sistem *mooring* untuk menahan kapal mengalami respon dinamik yang terlalu besar. Dalam penelitian tugas akhir ini,

dilakukan penentuan orientasi dermaga yang paling optimum yang dapat dioperasikan sepanjang tahun berdasarkan respon dinamik yang terjadi pada kapal. Tujuan utama studi ini adalah untuk menentukan orientasi dermaga terbaik agar kapal stabil dan dapat bersandar di dermaga setiap hari tanpa ada hari dimana kapal tidak dapat bersandar karena gaya lingkungan laut terlalu besar.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis respon dinamik dan *mooring* pada kapal kondensat yang sedang bersandar di dermaga tipe dolphin di Luwuk, Sulawesi Tengah. Analisis respon dinamik dan *mooring* ini dilakukan untuk menentukan orientasi dermaga yang paling optimum diantara lima orientasi yang direncanakan, yaitu dermaga dengan orientasi menghadap timur, tenggara, selatan, barat daya, dan barat.



Gambar 1: Peta lokasi penelitian di Luwuk, Sulawesi Tengah

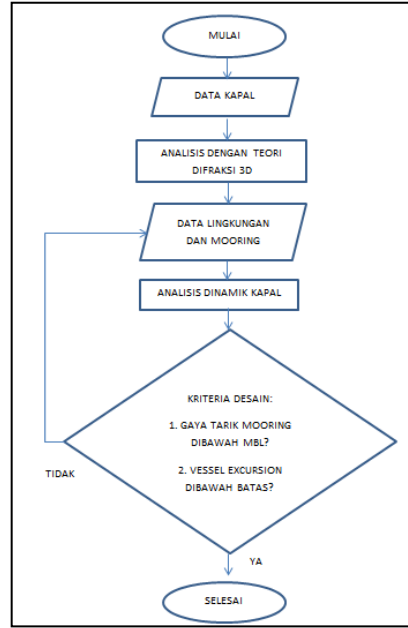
Tujuan dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Menganalisis respon dinamik dari kapal kondensat akibat gaya lingkungan laut
2. Menganalisis sistem *mooring* yang ditambahkan pada kapal kondensat
3. Menganalisis pergerakan kapal kondensat yang dipasang sistem *mooring*
4. Menentukan orientasi dermaga tipe dolphin yang optimum agar kapal kondensat stabil saat bersandar di dermaga

TEORI DAN METODOLOGI

Secara umum, metodologi analisis yang dilakukan dapat dilihat dalam diagram alir pada **Gambar 2**.

Setiap struktur yang terdapat di laut akan dipengaruhi oleh gelombang. Respon dari struktur tersebut akibat adanya gelombang dapat ditentukan dengan menganalisa struktur berdasarkan sudut pandang hidrodinamika.



Gambar 2: Diagram alir pemodelan

Menurut Faltinsen³, gaya yang terjadi pada struktur terapung adalah gaya eksitasi akibat beban gelombang, gaya radiasi, dan gaya hidrostatik sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$F_{Wj} + F_{Rj} + F_{Hsj} = M\ddot{X} \quad (1)$$

$$\int \rho \frac{\partial \phi_I}{\partial t} X_j ds + \int \rho \frac{\partial \phi_D}{\partial t} X_j ds + \int \rho \frac{\partial \phi_R}{\partial t} X_j ds - CX = M\ddot{X} \quad (2)$$

Dengan menjabarkan gaya radiasi yang terdiri dari koefisien massa tambah (*added mass*) dan koefisien redaman (*damping*), maka persamaan gerak struktur terapung dapat ditulis menjadi:

$$\sum_{k=1}^{\theta} \{ (M_{jk} + A_{jk}) \ddot{X}_k + B_{jk} \dot{X}_k + C_{jk} X_k \} = F_j e^{i\omega t} \quad (3)$$

Untuk menghitung gaya tarik pada *mooring*, perlu dilakukan perhitungan panjang minimum *mooring* yang dibutuhkan berdasarkan besarnya gaya tarik horizontal (T_H) dan berat per satuan panjang dari *mooring*.

Setelah mengetahui panjang minimum yang dihasilkan, panjang horizontal (x) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

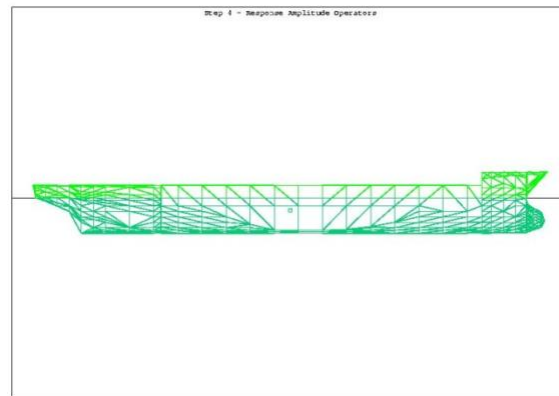
$$x = \frac{T_{horizontal}}{w} \sinh^{-1} \left(\frac{w.lmin}{T_{horizontal}} \right) \quad (4)$$

Setelah mengetahui panjang horizontal (x), gaya tarik efektif untuk setiap x dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T = T_{horizontal} \cdot \cosh \left(\frac{w.x}{T_{horizontal}} \right) \quad (5)$$

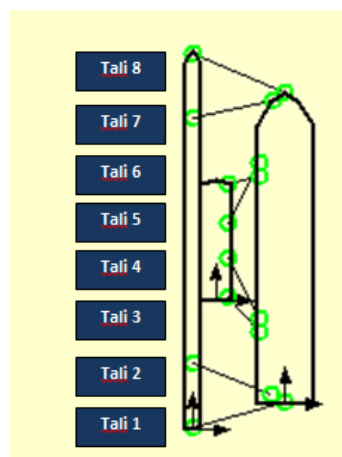
Kapal kondensat yang bersandar di dermaga memiliki dua kondisi analisis yang berbeda, yaitu saat₃ kapal dengan muatan penuh (*fully loaded*) dan saat muatan kosong (*ballast*). Yang membedakan dua kondisi muatan ini adalah perbedaan berat kapal dan draft. Selanjutnya, analisis respon dinamik kapal

dan mooring dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah melakukan analisis 3D Diffraction untuk mendapatkan respon gerak kapal dengan perangkat lunak MOSES. Tahap kedua adalah melakukan analisis domain waktu menggunakan perangkat lunak dinamika kelautan untuk mendapatkan nilai tegangan efektif pada masing-masing tali mooring dan perpindahan kapal dengan perangkat lunak Ariane.



Gambar 3: Diagram alir pemodelan

Tahap kedua adalah melakukan analisis domain waktu menggunakan perangkat lunak dinamika kelautan untuk mendapatkan nilai tegangan efektif pada masing-masing tali *mooring* dan perpindahan kapal dengan perangkat lunak Ariane.



Gambar 4: Konfigurasi dan penomoran tali *mooring* pada pemodelan

Berikut adalah tabel analisis yang dilakukan dalam penelitian ini.

Tabel 1: Analisis yang dilakukan dalam penelitian

Tipe Gelombang	Kondisi Parameter Gelombang	Tipe Muatan Kapal
Gelombang Reguler dari 2 Arah Dominan	Kondisi Periode Ulang 2 Tahunan	Fully Loaded
		Ballast
	Kondisi Periode Ulang 50 Tahunan	Fully Loaded
		Ballast
Gelombang Acak dari 2 Arah Dominan	Kondisi Periode Ulang 2 Tahunan	Fully Loaded
		Ballast
	Kondisi Periode Ulang 50 Tahunan	Fully Loaded
		Ballast

Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal kondensat dengan kapasitas maksimum 115.000 DWT. Berikut adalah tabel dimensi kapal untuk kondisi muatan *fully loaded* dan *ballast*.

Tabel 2: Dimensi kapal kondensat

DIMENSI	FULLY LOADED	BALLAST
LOA (m)	247	247
LBP (m)	236	236
Lebar (m)	41.5	41.5
Draft (m)	17	6.72
Freeboard (m)	6	16.28
Tinggi (m)	23	23

Mooring yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *polypropylene rope* yang digunakan untuk tambatan kapal berukuran besar di dermaga. Dalam penelitian ini akan digunakan 8 buah tali *mooring* yang akan ditambatkan pada 4 buah *mooring dolphin* dan 4 buah *breasting dolphin*.

Tabel 3: Data tali *mooring*

	NILAI
MOORING	8 buah
DIAMETER	60 mm
MIN. BREAKING LOAD	1234 kN
MASSA MOORING	6.51 kg/m

Data tinggi gelombang dan periode gelombang untuk lima arah datang gelombang yang dihasilkan melalui analisis nilai ekstrem dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4: Data gelombang pesisir Luwuk (Pranata, 2015)

Kondisi Parameter Gelombang	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)
Periode Ulang 2 Tahunan (Periode Gelombang 6.25 detik)	Timur	1.97
	Tenggara	1.68
	Selatan	2.1
	Barat Daya	2.09
	Barat	2.11
Periode Ulang 50 Tahunan (Periode Gelombang 9.12 detik)	Timur	4.39
	Tenggara	3.74
	Selatan	4.65
	Barat Daya	4.61
	Barat	4.71

Kriteria desain yang digunakan dalam pemodelan ini ditunjukkan pada **Tabel 5** berikut ini:

Tabel 5: Kriteria desain yang digunakan

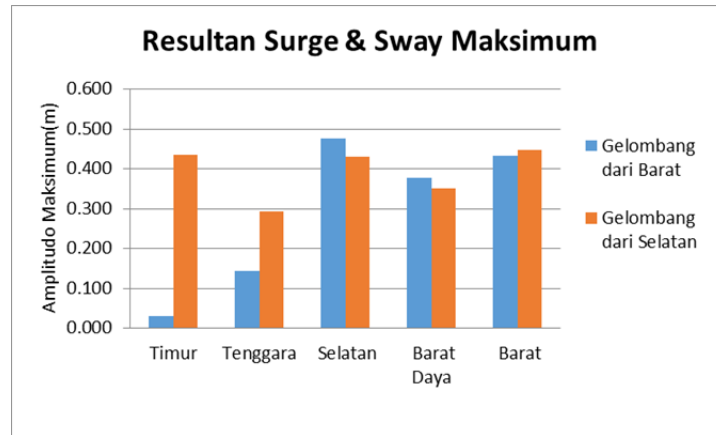
KRITERIA	SAFETY FACTOR	NILAI YANG DIIZINKAN	KETERANGAN
<u>Kriteria 1</u> <u>Minimum Breaking Load</u> Polypropylene rope Ø 60 mm	1.67	740.4 kN	Mengacu kepada API RP 2SK, dimana pada kondisi “All Line Intact” memiliki faktor keselamatan 1.67 atau 60% dari MBL
<u>Kriteria 2</u> <u>Maximum Vessel Excursion</u>	-	1.5 meter	Mengacu kepada Rekomendasi PIANC, amplitudo gerakan surge dan sway yang diizinkan untuk oil tanker sebesar 1.5 meter

HASIL DAN ANALISIS

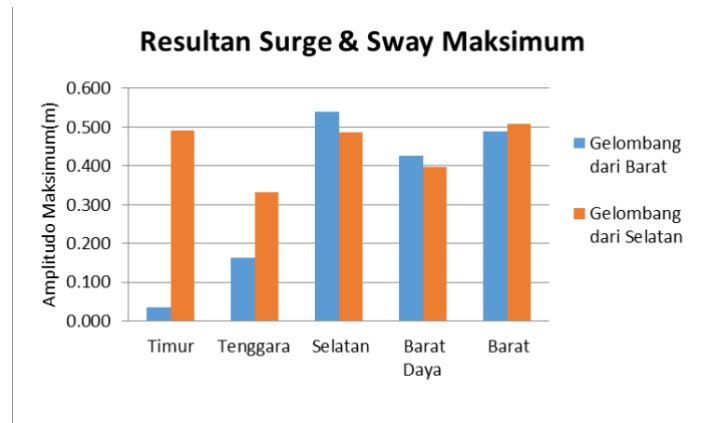
Pemodelan dengan Gelombang Reguler

Hasil perhitungan akan terbagi dalam dua jenis kondisi parameter gelombang, yaitu pada kondisi gelombang periode ulang 2 tahunan dan periode ulang 50 tahunan, tetapi yang ditampilkan hanya hasil pemodelan dengan gelombang periode ulang 50 tahunan. Hasil simulasi dirangkum dalam **Gambar 5** dan **Gambar 6** yang berisikan data perpindahan dalam

resultan *surge* dan *sway* maksimum untuk tiap arah gelombang yang disimulasikan dengan lima orientasi dermaga alternatif.

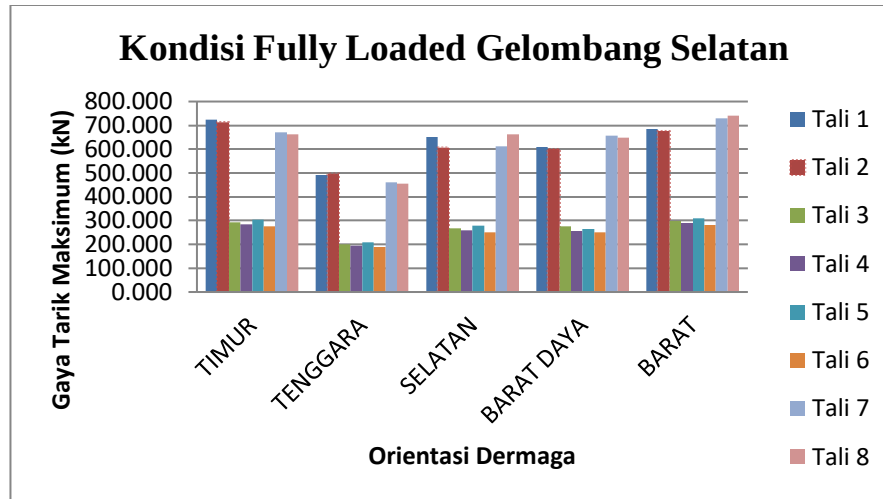


Gambar 5: Perpindahan struktur maksimum kapal kondisi *fully loaded* akibat gelombang periode ulang 50 tahunan

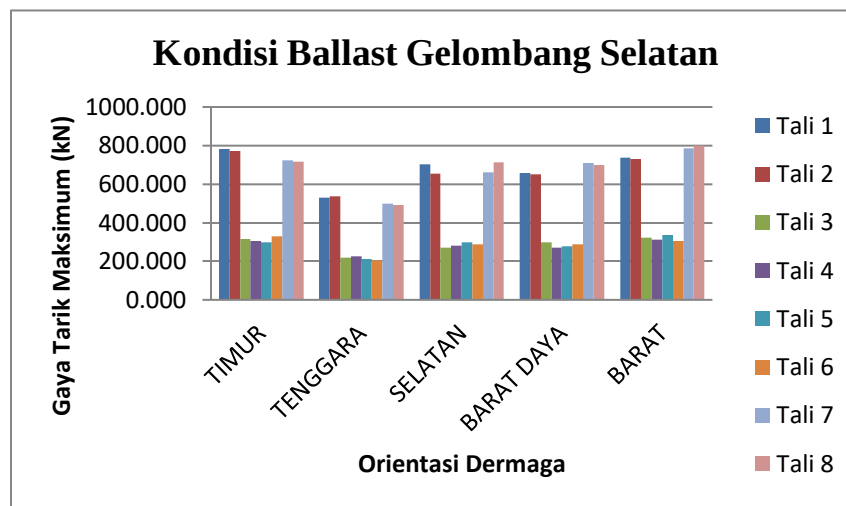


Gambar 6: Perpindahan struktur maksimum kapal kondisi *ballast* akibat gelombang periode ulang 50 tahunan

Hasil analisis pemodelan gaya tarik efektif maksimum setiap tali *mooring* disajikan dalam **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



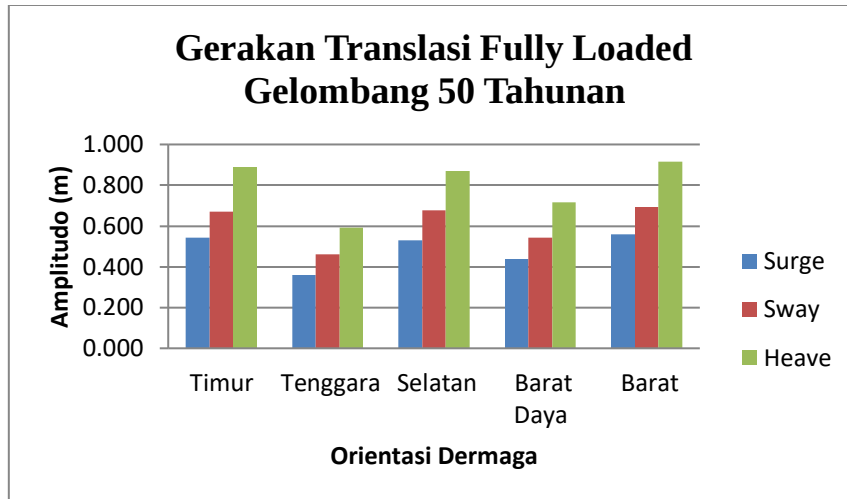
Gambar 7: Gaya tarik efektif maksimum kondisi kapal *fully loaded* akibat gelombang 50 tahunan



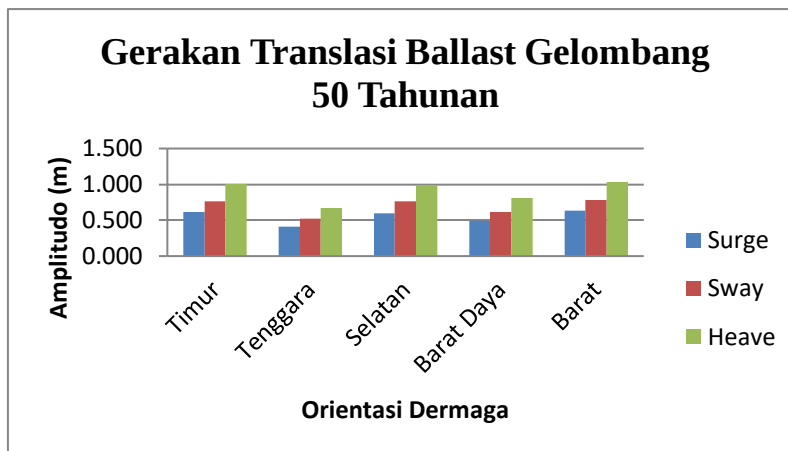
Gambar 8: Gaya tarik efektif maksimum kondisi kapal *ballast* akibat gelombang 50 tahunan

Pemodelan dengan Gelombang Acak

Pemodelan dilakukan menggunakan spektrum gelombang acak JONSWAP dengan nilai *peakedness parameter* 2.5. Hasil perhitungan akan terbagi dalam dua jenis kondisi parameter gelombang, yaitu pada kondisi gelombang periode ulang 2 tahunan dan periode ulang 50 tahunan, tetapi yang ditampilkan hanya hasil pemodelan dengan gelombang periode ulang 50 tahunan. Hasil simulasi perpindahan kapal akibat gelombang acak dengan periode ulang 50 tahunan dalam kondisi muatan *fully loaded* maupun *ballast* dirangkum dalam **Tabel 14** dan **Tabel 15**.

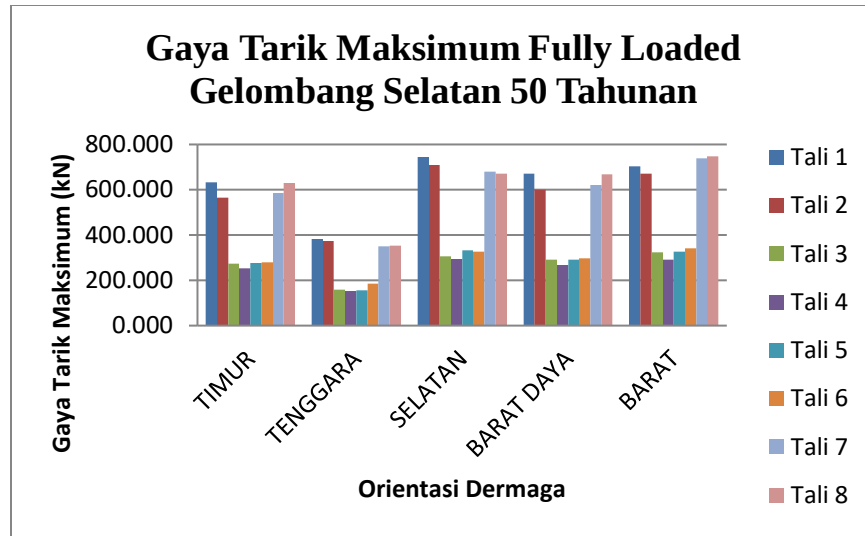


Gambar 9: Statistik gerakan translasi kapal kondisi *fully loaded* dengan gelombang acak periode ulang 50 tahunan

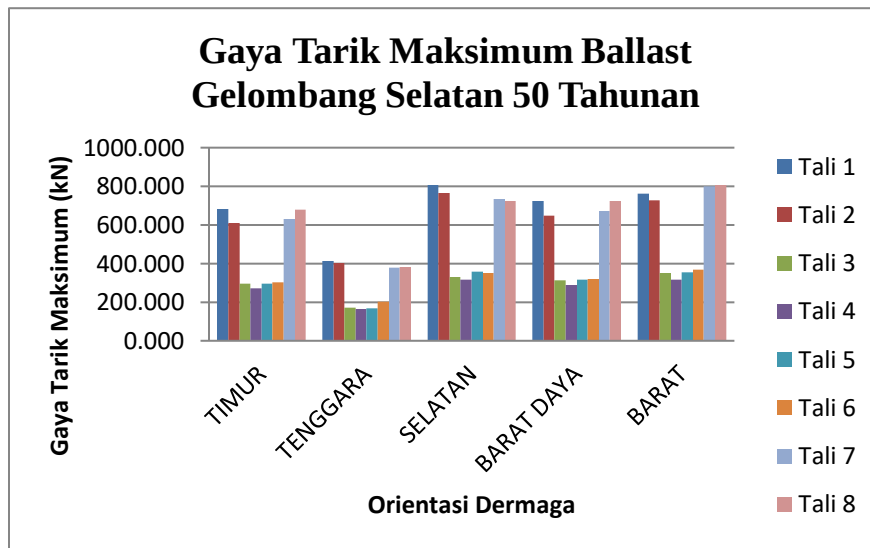


Gambar 10: Statistik gerakan translasi kapal kondisi *ballast* dengan gelombang acak periode ulang 50 tahunan

Hasil analisis gaya tarik efektif maksimum setiap tali *mooring* akibat gelombang acak dengan periode ulang 50 tahunan disajikan dalam **Gambar 11** dan **Gambar 12**.



Gambar 11: Statistik gaya tarik maksimum kondisi *fully loaded* dengan gelombang acak periode ulang 50 tahunan



Gambar 12: Statistik gaya tarik maksimum kondisi *ballast* dengan gelombang acak periode ulang 50 tahunan

Analisis Pemodelan Gelombang Reguler dan Acak

Berdasarkan analisis respon dinamik akibat gelombang reguler dan gelombang acak, orientasi dermaga yang dipilih adalah orientasi menghadap ke tenggara karena memiliki nilai amplitudo perpindahan kapal dan gaya tarik efektif yang paling kecil dibandingkan orientasi dermaga lainnya. Selain itu, secara statistik respon dinamik untuk dermaga menghadap tenggara dinyatakan aman karena sangat kecil kemungkinan adanya respon dinamik kapal yang terjadi

melebihi nilai maksimum yang didapatkan dalam pemodelan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis pemodelan dinamik dengan gelombang reguler dan gelombang acak, orientasi dermaga yang dipilih adalah orientasi menghadap ke tenggara karena memiliki nilai amplitudo perpindahan kapal dan gaya tarik efektif yang paling kecil dibandingkan orientasi dermaga lainnya.

Orientasi dermaga menghadap ke tenggara memenuhi kriteria desain dari API RP 2SK dan Rekomendasi PIANC. Orientasi dermaga menghadap ke tenggara menghasilkan gaya tarik efektif maksimum yang lebih kecil dari 740 kN dan amplitudo gerakan *surge* dan *sway* yang lebih kecil dari 1.5 meter.

Hal-hal yang dapat diteliti lebih lanjut untuk penelitian berikutnya adalah:

1. Menganalisis respon dinamik kapal dengan gaya arus dan angin karena arus dan angin merupakan gaya lingkungan yang berpengaruh dalam pergerakan kapal dan tegangan tali *mooring* saat bersandar di dermaga.
2. Melakukan analisis untuk kondisi kapal dengan salah satu tali *mooring* terputus.
3. Menganalisis respon dinamik untuk kapal dengan ukuran lain (selain 115.000 DWT).

DAFTAR PUSTAKA

Faltinsen, O.M. 1990. *Sea Loads On Ships and Offshore Structures*. Cambridge: Cambridge University Press