

**PENENTUAN ORIENTASI PENAMBATAN *FLOATING STORAGE AND
REGASIFICATION UNIT (FSRU)* PADA DERMAGA *DOLPHIN* DI LEPAS PANTAI
TELUK JAKARTA**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Disusun sebagai salah satu syarat kelulusan tingkat Sarjana

Oleh
Satria Adi Nugraha
15513009



Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2017

PENENTUAN ORIENTASI PENAMBATAN FLOATING STORAGE AND REGASIFICATION UNIT (FSRU) PADA DERMAGA DOLPHIN DI LEPAS PANTAI TELUK JAKARTA

Satria Adi Nugraha¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganeca No. 10, Bandung 40132

email: ¹satria.adinugraha@yahoo.com dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Kata kunci: struktur terapung, orientasi dermaga, *mooring*, RAO, FSRU

ABSTRAK

Floating Storage and Regasification Unit (FSRU) merupakan jenis kapal tanker yang dilengkapi dengan modul regasifikasi yang berfungsi untuk mengubah fasa gas alam dari cair menjadi gas. FSRU merupakan salah satu inovasi terbaru dalam dunia minyak dan gas terutama dalam proses transfer gas alam. Dengan menggunakan FSRU, proses transformasi gas alam dari fasa cair menjadi fasa gas dapat dilakukan di tengah laut dengan menambatkannya ke sebuah dermaga dolphin dengan tali *mooring* sehingga tidak memerlukan modul regasifikasi di daratan. Namun, selama FSRU beroperasi, kapal harus dipastikan stabil agar proses bongkar muat di tengah laut dapat berlangsung tanpa kendala. Oleh karena itu, diperlukan sistem *mooring* yang tepat. Dalam tugas akhir ini, dilakukan penelitian mengenai orientasi dari kapal FSRU yang paling optimum berdasarkan respon gerak kapal yang terjadi. Orientasi yang dipilih adalah orientasi yang menghasilkan respon gerak terkecil untuk setiap kondisi, baik pada kondisi operasional atau pada kondisi badai. Konfigurasi sistem *mooring* yang digunakan mengacu pada rekomendasi dari Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). Selain itu, kriteria desain yang digunakan dalam menentukan batas perpindahan kapal dan gaya tarik *mooring* maksimum secara berurutan adalah rekomendasi dari PIANC dan API RP 2SK. Orientasi yang dipilih akan dimodelkan dengan menggunakan seluruh arah datang gelombang di Teluk Jakarta dan harus memenuhi kriteria desain yang digunakan.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat dunia dengan jumlah penduduk sekitar 250 juta jiwa dan terus akan meningkat setiap tahunnya. Dari jumlah total penduduk di Indonesia, sekitar 60 persennya tinggal di Pulau Jawa. Fenomena ini menyebabkan kebutuhan dan permintaan energi di Pulau Jawa menjadi begitu besar dan terus meningkat.

Peningkatan penduduk di Pulau Jawa tersebut berbanding lurus dengan kebutuhan energi di Pulau Jawa. Namun, sumber energi listrik yang tersedia saat ini diperkirakan tidak dapat memenuhi kebutuhan energi yang senantiasa meningkat, mengingat berbagai aktivitas manusia yang tidak terlepas dari listrik.

Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat ini, diperlukan pembangunan fasilitas pembangkit listrik tambahan yang diharapkan dapat memberikan pasokan energi yang cukup untuk masa depan. Sebagai salah satu negara yang memiliki sumber daya gas alam yang cukup besar, gas alam memegang peran yang penting bagi Indonesia agar memiliki energi yang berkelanjutan. Salah satu alternatif dalam pemenuhan kebutuhan energi di Pulau Jawa adalah dengan membuat fasilitas terminal FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*) di Teluk Jakarta sebelum akhirnya dialirkan ke PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) Muara Tawar di Bekasi. Namun, penentuan sistem *mooring* kapal FSRU merupakan suatu tantangan tersendiri mengingat lokasi penempatan yang berada di lepas pantai Teluk Jakarta sehingga terdapat berbagai macam gaya lingkungan laut yang akan mempengaruhi struktur kapal FSRU seperti angin, gelombang, dan arus laut.

Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan penentuan orientasi terminal FSRU yang paling optimum yang dapat dioperasikan sepanjang tahun di Teluk Jakarta berdasarkan respon dinamik kapal FSRU. Penentuan orientasi tersebut bertujuan untuk meminimalisir respon dari gaya lingkungan di Teluk Jakarta sehingga kapal FSRU dapat terus beroperasi untuk menyuplai gas ke PLTG Muara Tawar.

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah untuk menentukan orientasi penambatan kapal FSRU yang optimum berdasarkan respon gerak kapal FSRU yang terkecil.

TEORI DAN METODOLOGI

Gelombang merupakan salah satu gaya lingkungan yang paling dominan di laut yang dapat mempengaruhi pergerakan struktur yang ditempatkan di tengah laut. Respon pergerakan struktur sendiri dapat dianalisis melalui pendekatan hidrodinamika. Faltinsen, 1990 menyatakan bahwa respon struktur terjadi akibat beberapa gaya yang bekerja pada struktur seperti gaya apung, gaya eksitasi, dan gaya radiasi. Persamaan gerak struktur dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$F = M\ddot{X} \quad (1)$$

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

Penjabaran dari persamaan di atas menghasilkan persamaan gerak struktur terapung sebagai berikut:

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

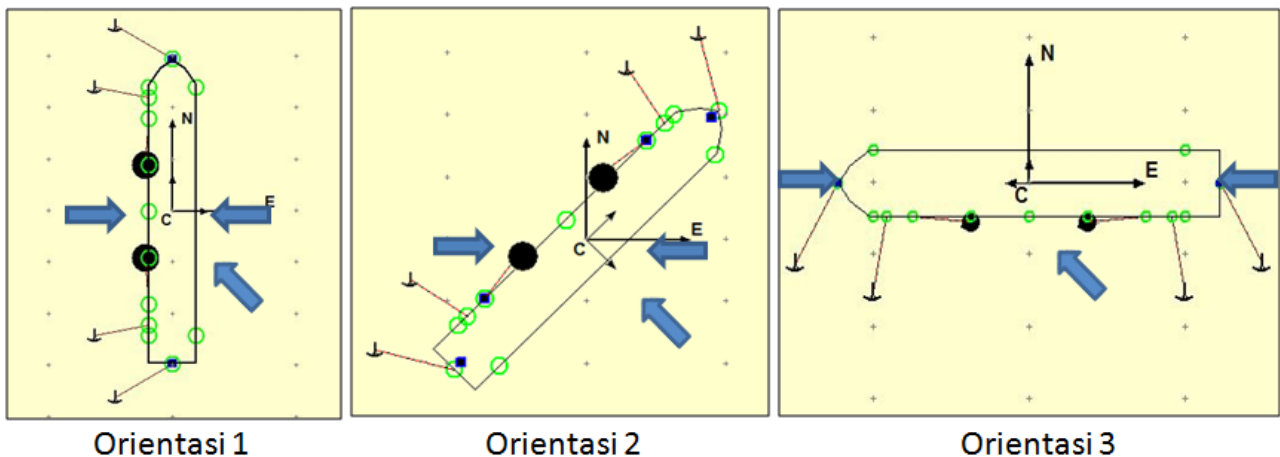
Pada analisis gaya tarik *mooring*, perlu diketahui besar gaya tarik horizontal (T_H) dan berat per satuan panjang dari *mooring*. Setelah itu, dapat diketahui panjang horizontal tali *mooring* (x) yang digunakan dengan persamaan berikut:

$$x = \frac{T_H}{w} \sinh^{-1} \left(2 \frac{w \cdot l_{min}}{T_H} - 1 \right) \quad (4)$$

Setelah mengetahui panjang horizontal (x), gaya tarik *mooring* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

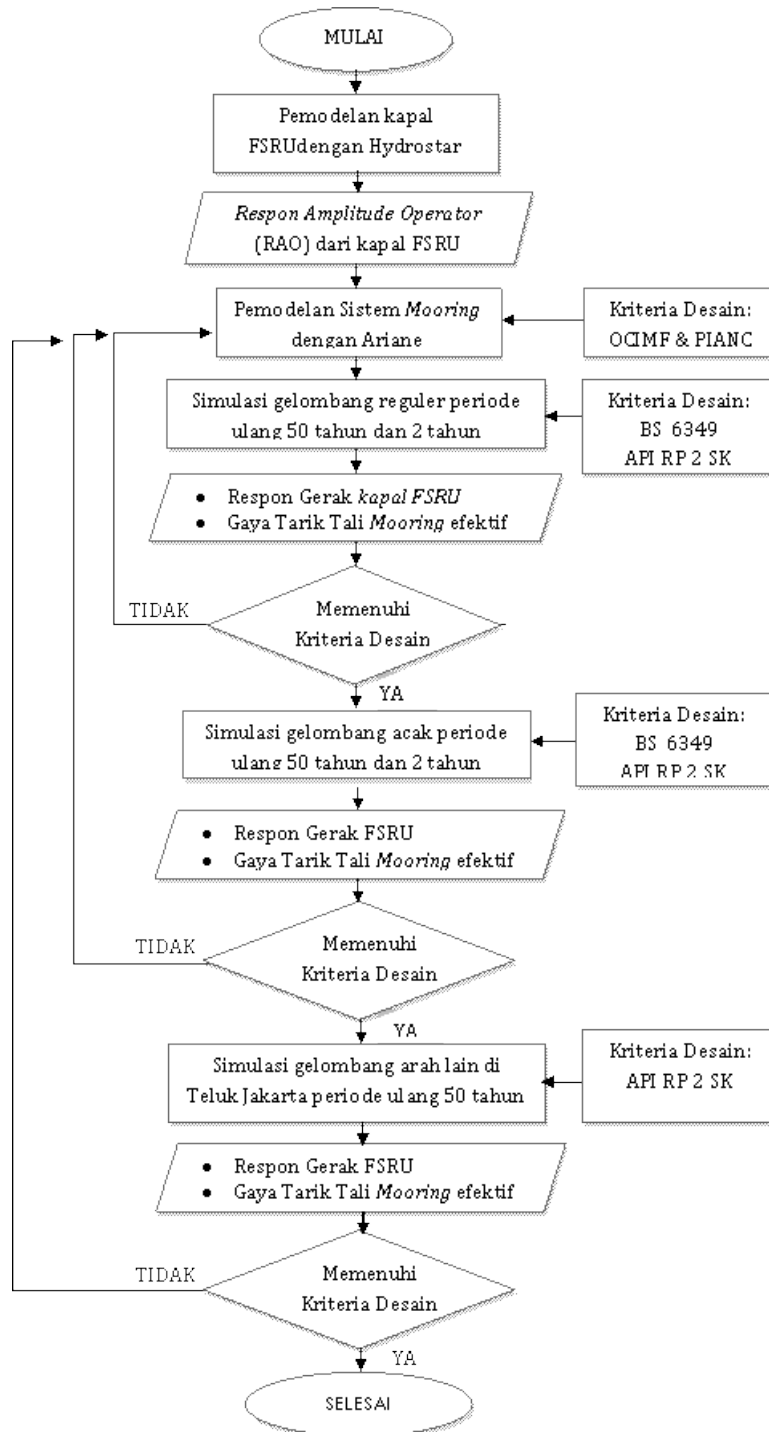
$$T = T_H \cosh \left(\frac{x}{a} \right) \quad (5)$$

Konfigurasi tali *mooring* yang digunakan mengacu pada rekomendasi dari *Oil Companies International Marine Forum (OCIMF) Mooring Equipment Guidelines* yang mengatur rentang sudut kemiringan tali *mooring* yang digunakan untuk kapal tanker. Pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan perbandingan antara 3 orientasi kapal yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ketiga orientasi kapal dengan arah gelombang dominan di Teluk Jakarta

Sistem *mooring* tersebut akan diuji dengan menggunakan gelombang dominan di Teluk Jakarta yakni gelombang dari barat, timur, dan tenggara dengan periode ulang 2 tahun (kondisi operasional) dan periode ulang 50 tahun (kondisi badai). Pengujian akan dilakukan melalui permodelan yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Ariane. Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah.



Gambar 2. Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir

Kombinasi orientasi kapal dan arah datang gelombang yang dimodelkan dapat dilihat pada Tabel 1. Selanjutnya, Orientasi paling optimum yang dipilih dari ketiga opsi tersebut akan diuji dengan menggunakan gelombang lain di Teluk Jakarta yakni gelombang dari arah barat laut, utara, dan timur laut dengan periode ulang 50 tahun yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kombinasi orientasi kapal dan arah datang gelombang yang dimodelkan

Orientasi Kapal	Arah Datang Gelombang (gelombang dominan)	Periode Ulang
Orientasi 1 (kapal menghadap utara)	Barat	2 tahun dan 50 tahun
	Timur	
	Tenggara	
Orientasi 2 (kapal menghadap timur laut)	Barat	2 tahun dan 50 tahun
	Timur	
	Tenggara	
Orientasi 3 (kapal menghadap barat)	Barat	2 tahun dan 50 tahun
	Timur	
	Tenggara	

Tabel 2. Pengecekan permodelan untuk orientasi kapal yang dipilih

Orientasi Kapal	Arah Datang Gelombang	Periode Ulang
Orientasi paling optimum	Barat Laut	50 tahun
	Utara	
	Timur Laut	

Karakteristik gelombang yang digunakan dalam permodelan pada penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik gelombang yang digunakan dalam permodelan

Periode Ulang	Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang (m)	Periode Gelombang (s)	Metode yang Digunakan
2 Tahun	Barat	1.18	5.23	Gumbel
	Barat Laut	1.12	5.09	Gumbel
	Utara	1.13	5.12	Gumbel
	Timur Laut	0.75	4.15	Gumbel
	Timur	1.1	5.05	Normal
	Tenggara	1.06	4.96	Gumbel
50 Tahun	Barat	3.28	8.81	Gumbel
	Barat Laut	2.24	7.24	Gumbel
	Utara	2.28	7.31	Gumbel
	Timur Laut	1.28	5.43	Gumbel
	Timur	1.96	6.78	Normal
	Tenggara	1.95	6.76	Gumbel

Dimensi kapal diperoleh dari data yang diberikan oleh Excelerate Energy, dimensi kapal dapat dilihat pada Tabel. 4.

Tabel 4. Data kapal FSRU yang digunakan

Data Kapal FSRU	
Kapasitas (cbm)	173.000
Berat (ton)	105.593
DWT (ton)	84.700
LOA (m)	294,5
LBP (m)	284,5
Beam (m)	46,4
Depth (m)	26
Draft (m)	12,6

Karakteristik dari *mooring* yang digunakan dalam penelitian mengacu pada katalog Bridon untuk tali *mooring polyester* dan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data *mooring Polyester* yang digunakan

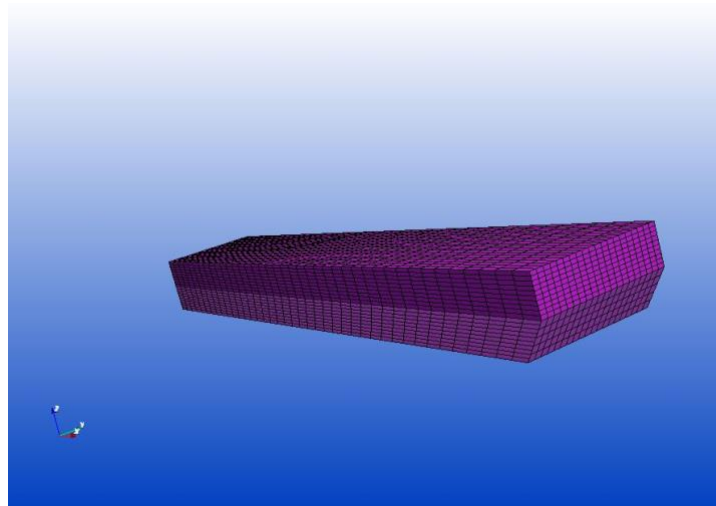
Parameter	Nilai
Diameter	160 mm
Minimum Breaking Load (MBL)	7.112 kN
Massa Mooring di Udara	16,77 kg/m
Massa Mooring di Air	4,25 kg/m

Kriteria desain yang harus terpenuhi untuk desain *mooring* pada penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 6.

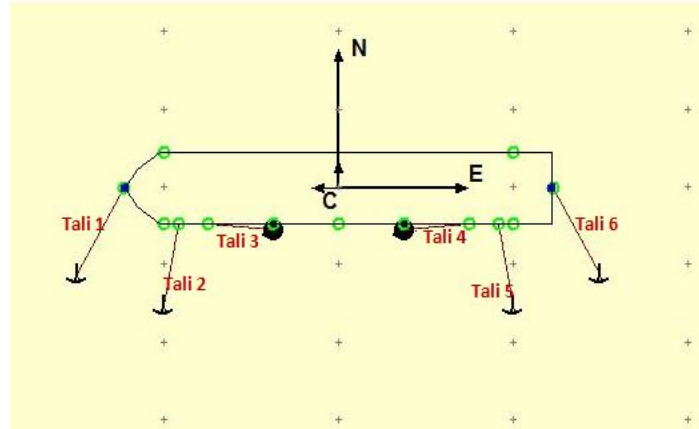
Tabel 6. Kriteria desain yang digunakan

Kriteria	Safety Factor	Nilai yang Diizinkan	Keterangan
<i>Minimum Breaking Load</i>	1,67	4.267 kN	Mengacu kepada API RP 2SK, dimana pada kondisi “ <i>All Line Intact</i> ” memiliki faktor keselamatan 1,67 atau 60% dari <i>Minimum Breaking Load</i>
<i>Maximum Vessel Excurtion</i>	-	2 meter (gerak translasi)	Mengacu kepada Rekomendasi PIANC, amplitudo gerakan translasi yang diizinkan untuk <i>gas tanker</i> sebesar 2 meter.
		2 derajat (gerak rotasi)	Mengacu kepada Rekomendasi PIANC, amplitudo gerakan rotasi yang diizinkan untuk <i>gas tanker</i> sebesar 2 derajat.

Permodelan kapal FSRU dilakukan dengan melakukan permodelan struktur lambung kapal FSRU pada perangkat lunak Hydrostar untuk mendapatkan *Response Amplitude Operator* (RAO) dari kapal FSRU. Setelah itu, dilakukan analisis sistem mooring dengan menggunakan perangkat lunak Ariane untuk mendapatkan nilai perpindahan kapal dan tegangan efektif pada masing-masing tali *mooring*.



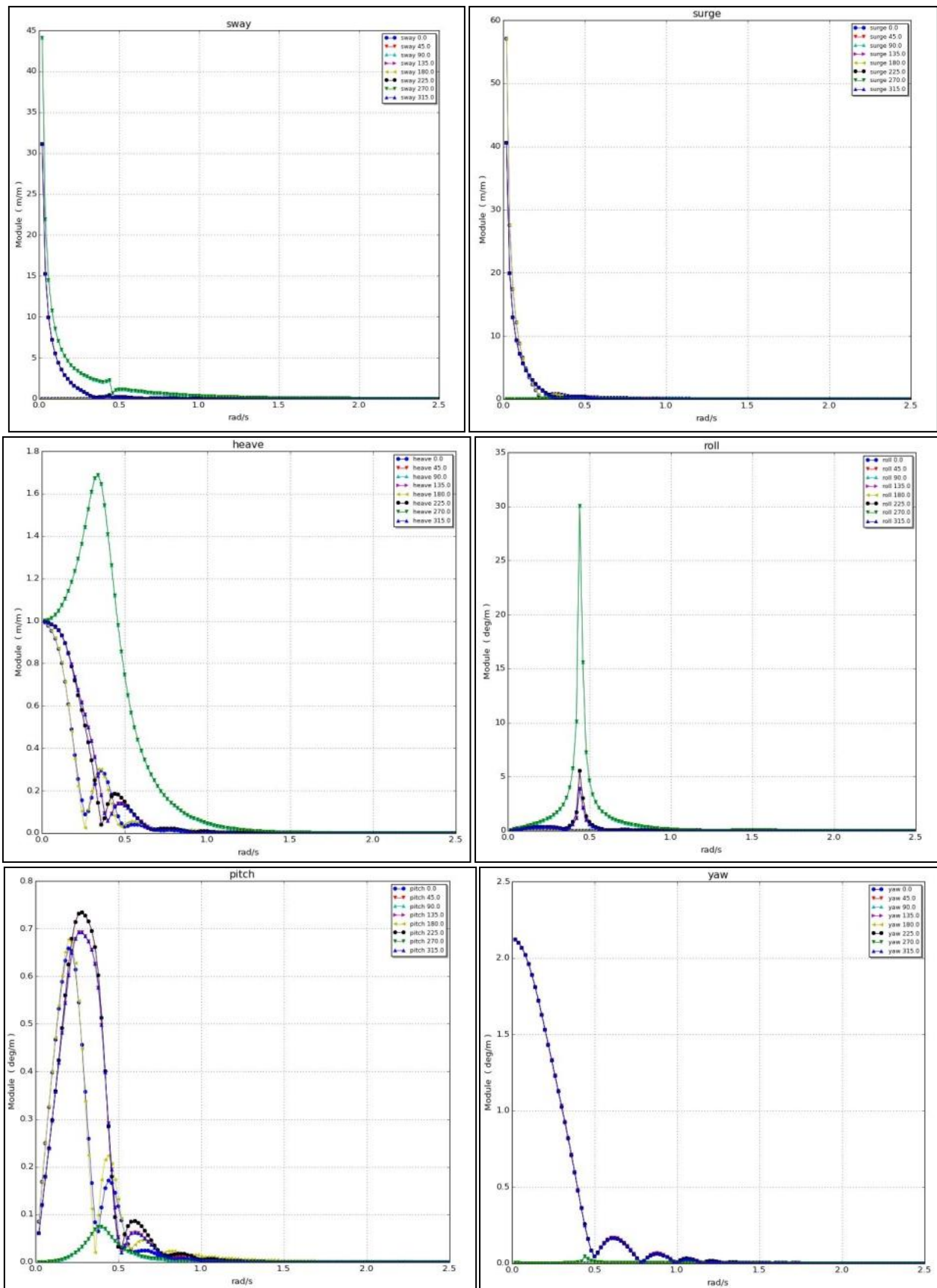
Gambar 3. Model lambung kapal FSRU yang dimodelkan dengan perangkat lunak Hydrostar



Gambar 4. Konfigurasi dan penomoran tali *mooring* pada perangkat lunak Ariane

HASIL DAN ANALISIS

Keluaran dari perangkat lunak Hydrostar yang akan digunakan untuk permodelan dengan menggunakan perangkat lunak Ariane adalah RAO dari kapal FSRU. RAO dari kapal FSRU sendiri terdiri dari respon gerak arah translasi berupa gerakan *sway*, *surge*, dan *heave* serta respon gerak arah rotasi berupa gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw*.



Gambar 5. RAO gerakan translasi dan rotasi dari kapal FSRU

RAO menggambarkan pergerakan kapal saat dikenai gelombang dengan tinggi tertentu. Pada gerakan *sway* dan *surge*, nilai RAO tinggi pada frekuensi gelombang rendah dan mendekati nol pada frekuensi gelombang tinggi. Hal tersebut menjelaskan bahwa kapal akan mengalami pergerakan *sway* dan *surge* yang besar apabila terkena gelombang dengan frekuensi rendah atau gelombang panjang. Untuk gerakan *heave*, pergerakan kapal yang terjadi di awal memiliki nilai yang sama dengan amplitudo gelombang sehingga nilai RAO gerakan *heave* pada frekuensi nol adalah satu. Sedangkan untuk gerakan rotasi, yakni: *roll*, *pitch*, dan *yaw*, nilai RAO memiliki puncak-puncak pada frekuensi tertentu yang menunjukkan frekuensi puncak pergerakan kapal yang akan terjadi apabila terkena gelombang pada frekuensi tertentu.

Permodelan dengan gelombang reguler

Permodelan dengan gelombang reguler dilakukan dengan dua kondisi gelombang, yakni gelombang dengan periode ulang 2 tahun dan periode ulang 50 tahun. Namun, yang ditampilkan hanya hasil pemodelan dengan gelombang periode ulang 50 tahun yang dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8. Nilai maksimum dari perpindahan struktur dan gaya tarik *mooring* untuk setiap orientasi kapal ditandai dengan warna kuning pada Tabel 7 dan Tabel 8. Berdasarkan hasil permodelan dengan menggunakan gelombang reguler, Orientasi 2 merupakan orientasi yang paling optimum karena menghasilkan nilai maksimum perpindahan struktur dan gaya tarik *mooring* yang terkecil.

Tabel 7. Perpindahan struktur maksimum kapal akibat gelombang reguler periode ulang 50 tahun

Orientasi Kapal	Arah Datang Gelombang	Perpindahan Kapal					
		<i>Sway</i> (m)	<i>Surge</i> (m)	<i>Heave</i> (m)	<i>Roll</i> (°)	<i>Pitch</i> (°)	<i>Yaw</i> (°)
1	Barat	0.973	0.385	0.340	1.208	0.012	0.048
	Timur	0.643	0.655	0.082	0.269	0.003	0.020
	Tenggara	0.075	0.439	0.004	0.013	0.008	0.044
2	Barat	0.116	0.618	0.021	0.074	0.052	0.177
	Timur	0.318	0.478	0.008	0.045	0.018	0.052
	Tenggara	0.473	0.497	0.064	0.210	0.002	0.001
3	Barat	0.294	0.206	0.035	0.000	0.049	0.000
	Timur	0.028	0.708	0.008	0.000	0.007	0.025
	Tenggara	0.076	0.521	0.004	0.013	0.008	0.053

Tabel 8. Gaya tarik efektif maksimum kapal akibat gelombang reguler periode ulang 50 tahun

Orientasi Kapal	Arah Datang Gelombang	Perpindahan Kapal					
		Tali 1 (kN)	Tali 2 (kN)	Tali 3 (kN)	Tali 4 (kN)	Tali 5 (kN)	Tali 6 (kN)
1	Barat	1578.6	2678.9	47.0	1241.4	2733.8	1282.5
	Timur	27.6	44.7	429.2	21.5	338.5	261.0
	Tenggara	22.9	21.8	258.3	21.6	29.6	37.8
2	Barat	139.7	86.4	22.0	347.4	69.8	42.2
	Timur	21.8	21.6	303.3	21.6	21.9	33.1
	Tenggara	30.7	44.8	301.1	21.6	109.8	73.2
3	Barat	25.8	22.2	41.5	42.4	21.9	25.3
	Timur	42.5	31.6	21.6	395.9	21.9	21.9
	Tenggara	40.3	31.5	21.6	114.7	22.1	24.6

Permodelan dengan gelombang acak

Pemodelan dilakukan menggunakan spektrum gelombang acak JONSWAP dengan nilai *gamma* 3.3. Permodelan dilakukan dengan dua kondisi gelombang, yakni gelombang dengan periode ulang 2 tahun dan periode ulang 50 tahun. Namun, yang ditampilkan hanya hasil pemodelan dengan gelombang periode ulang 50 tahun yang dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Perpindahan struktur maksimum kapal akibat gelombang acak periode ulang 50 tahun

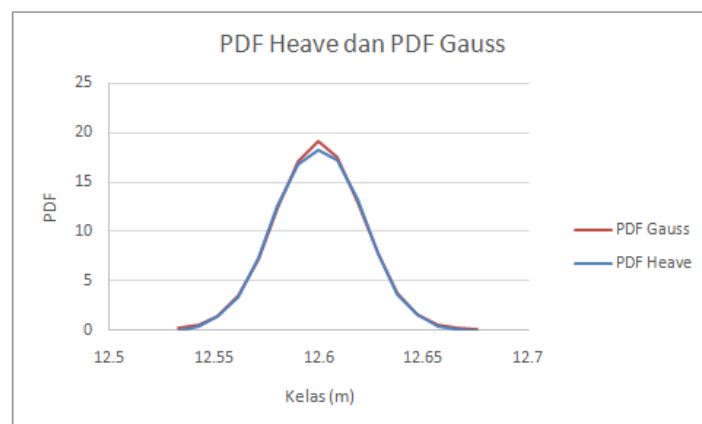
Orientasi Kapal	Arah Datang Gelombang	Perpindahan Kapal					
		<i>Sway</i> (m)	<i>Surge</i> (m)	<i>Heave</i> (m)	<i>Roll</i> (°)	<i>Pitch</i> (°)	<i>Yaw</i> (°)
1	Barat	2.334	1.068	0.660	2.981	0.025	0.569
	Timur	1.623	0.912	0.166	0.612	0.005	0.593
	Tenggara	0.663	1.011	0.013	0.036	0.016	0.606
2	Barat	0.785	1.455	0.072	0.252	0.099	0.545
	Timur	1.904	1.350	0.024	0.094	0.030	0.883
	Tenggara	1.174	0.794	0.129	0.475	0.004	0.525
3	Barat	1.761	1.089	0.061	0.004	0.089	0.687
	Timur	0.689	1.142	0.015	0.000	0.015	0.321
	Tenggara	0.467	0.962	0.013	0.034	0.016	0.321

Tabel 10. Gaya tarik efektif maksimum kapal akibat gelombang acak periode ulang 50 tahun

Orientasi Kapal	Arah Datang Gelombang	Perpindahan Kapal					
		Tali 1 (kN)	Tali 2 (kN)	Tali 3 (kN)	Tali 4 (kN)	Tali 5 (kN)	Tali 6 (kN)
1	Barat	3949.3	5850.6	2619.6	3084.8	6397.1	4432.9
	Timur	1836.4	2345.4	1858.0	1700.5	2644.5	2199.4
	Tenggara	934.9	806.1	1724.3	1610.2	790.3	791.1
2	Barat	1104.0	1393.5	2589.9	2717.0	1067.8	1115.2
	Timur	2293.2	2585.8	2697.2	2576.3	2906.8	2383.6
	Tenggara	1564.0	2347.4	1311.6	1121.6	1905.9	1712.1
3	Barat	1814.9	2325.4	1879.3	1897.0	2196.8	1584.0
	Timur	695.2	714.9	1399.0	1641.0	747.1	653.0
	Tenggara	227.1	331.4	1507.1	1707.5	521.6	319.7

Nilai maksimum dari perpindahan struktur dan gaya tarik *mooring* untuk setiap orientasi kapal ditandai dengan warna kuning pada Tabel 9 dan Tabel 10. Berdasarkan hasil permodelan dengan menggunakan gelombang acak, Orientasi 3 merupakan orientasi yang paling optimum karena menghasilkan nilai maksimum perpindahan struktur dan gaya tarik *mooring* yang terkecil. Mengingat bahwa gelombang acak merupakan gelombang yang lebih dapat merepresentasikan kondisi nyata di laut, maka Orientasi 3 dianggap lebih baik dibandingkan dengan Orientasi 2.

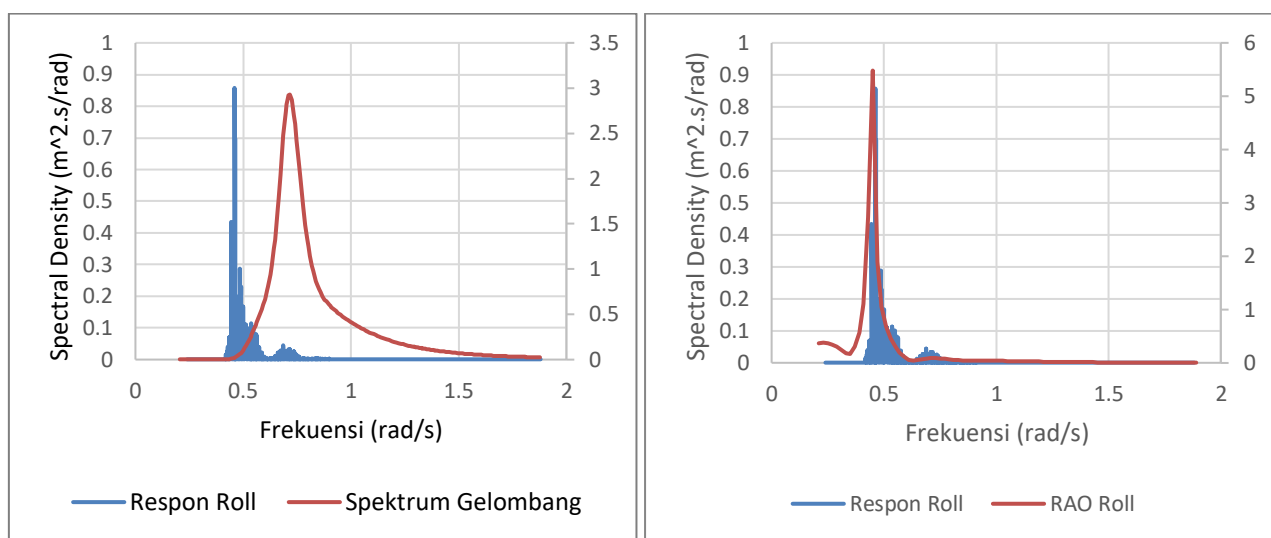
Pada permodelan gelombang acak, dilakukan analisis tambahan berupa analisis sebaran amplitudo perpindahan struktur dengan membuat grafik *Probability Density Function* (PDF) dari data statistik perpindahan kapal yang didapatkan. Berikut ini merupakan contoh grafik PDF untuk kapal Orientasi 2 dengan gelombang dari arah barat arah *heave* yang dibandingkan dengan PDF Gauss.



Gambar 6. Grafik PDF *heave* Orientasi 2 untuk gelombang dengan periode ulang 50 tahun

Gambar 6 menunjukkan bahwa PDF gerak heave dan PDF Gauss sehingga berlaku karakteristik distribusi normal. Nilai tiga kali standar deviasi dari data lebih kecil nilai maksimum amplitudo yang terjadi sehingga kemungkinan terjadi simpangan yang melebihi amplitudo sangat kecil dan orientasi kapal dianggap aman.

Analisis lainnya yang dapat dilakukan adalah membuat spektrum kerapatan masing-masing untuk gelombang dan perpindahan kapal. Sebagai contoh, akan dianalisis spektrum respon *roll* yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 7. Perbandingan respon gerakan *roll* dengan spektrum gelombang dan RAO arah *roll*

Gambar 7 menunjukkan bahwa respon pada gerakan *roll* respon gerak kapal terjadi pada frekuensi 0,46 rad/s yang merupakan puncak dari frekuensi natural kapal. Hal tersebut dapat diartikan bahwa pada gerakan *roll*, frekuensi natural kapal lebih berpengaruh terhadap respon gerak kapal dibandingkan dengan gaya gelombang.

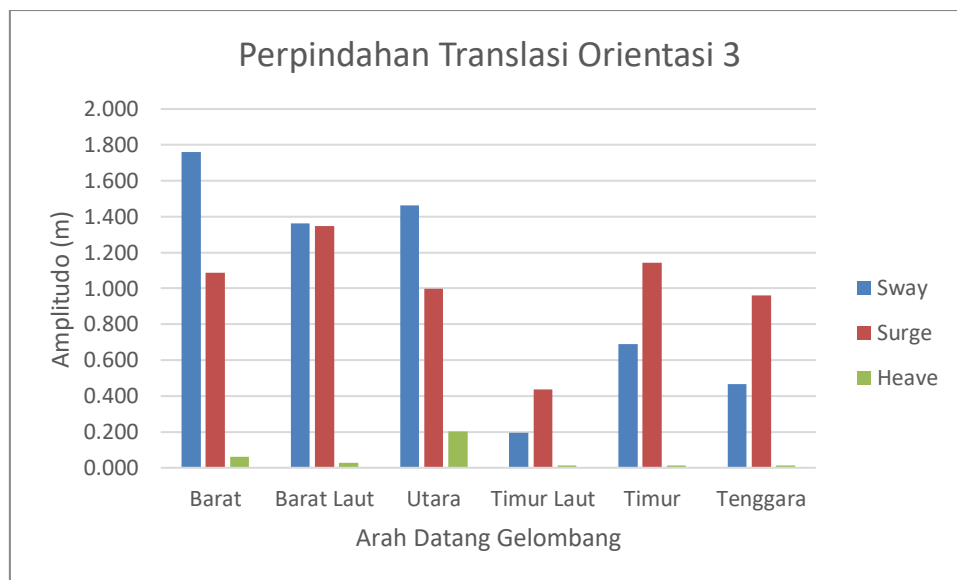
Pengecekan Orientasi yang dipilih

Setelah ditentukan bahwa Orientasi 3 merupakan orientasi yang paling optimum, kondisi tersebut akan diuji dengan gelombang g acak periode ulang 50 tahun dari arah barat laut, utara, timur laut untuk memastikan Orientasi 3 akan aman di setiap kondisi gelombang. Rangkuman hasil permodelan akibat seluruh gelombang pada Orientasi 3 dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12

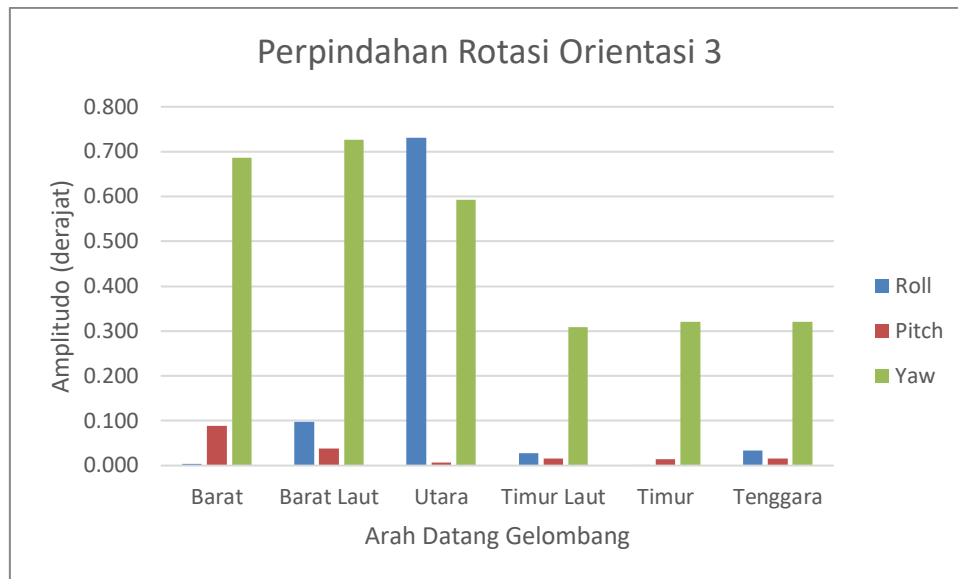
Tabel 11. Perpindahan struktur maksimum kapal dengan Orientasi 3 akibat seluruh gelombang dengan periode ulang 50 tahun

Orientasi Kapal	Arah Datang Gelombang	Pergerakan Kapal					
		<i>Sway</i> (m)	<i>Surge</i> (m)	<i>Heave</i> (m)	<i>Roll</i> (°)	<i>Pitch</i> (°)	<i>Yaw</i> (°)
3	Barat	1.761	1.089	0.061	0.004	0.089	0.687
	Barat Laut	1.363	1.346	0.028	0.097	0.037	0.726
	Utara	1.464	0.998	0.203	0.731	0.007	0.592
	Timur Laut	0.195	0.436	0.012	0.028	0.016	0.309
	Timur	0.689	1.142	0.015	0.000	0.015	0.321
	Tenggara	0.467	0.962	0.013	0.034	0.016	0.321

Tabel 11 menunjukkan bahwa nilai perpindahan struktur maksimum yang dialami kapal dengan Orientasi 3 adalah gerakan *sway* sebesar 1,761 m sedangkan perpindahan struktur rotasi maksimum adalah gerakan *roll* sebesar 0,731°. Namun, hasil tersebut masih memenuhi kriteria desain baik dari segi perpindahan maksimum kapal tanker gas yang memiliki batas amplitudo pergerakan translasi sebesar 2 m dan batas pergerakan rotasi sebesar 2°.



Gambar 8. Grafik perpindahan translasi kapal FSRU dengan Orientasi 3 akibat seluruh arah gelombang acak periode ulang 50 tahun

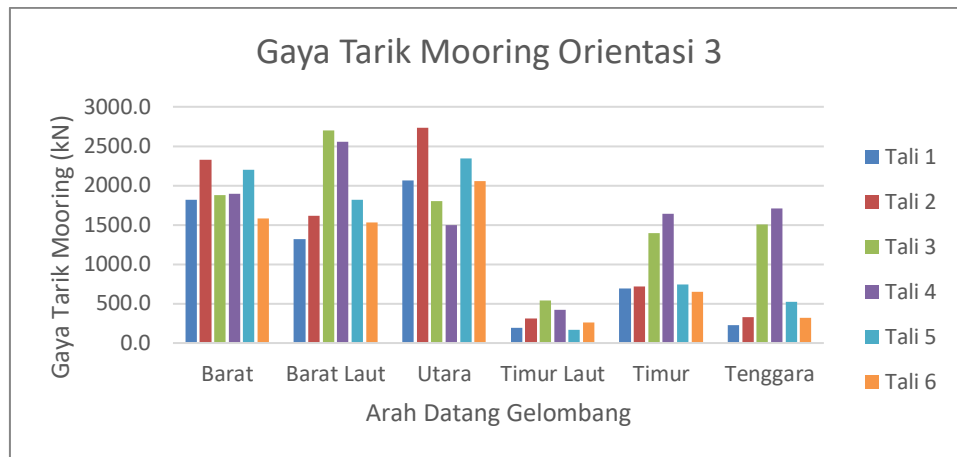


Gambar 9. Grafik perpindahan rotasi kapal FSRU dengan Orientasi 3 akibat seluruh arah gelombang acak periode ulang 50 tahun

Tabel 12. Gaya tarik efektif maksimum kapal dengan Orientasi 3 akibat seluruh gelombang acak dengan periode ulang 50 tahun

Orientasi Kapal	Arah Datang Gelombang	Gaya Tarik <i>Mooring</i> Efektif					
		Tali 1 (kN)	Tali 2 (kN)	Tali 3 (kN)	Tali 4 (kN)	Tali 5 (kN)	Tali 6 (kN)
3	Barat	1814.9	2325.4	1879.3	1897.0	2196.8	1584.0
	Barat Laut	1322.1	1619.8	2703.8	2553.5	1820.5	1529.2
	Utara	2061.9	2737.4	1799.2	1497.2	2342.4	2057.2
	Timur Laut	196.6	315.6	541.0	424.4	168.1	263.0
	Timur	695.2	714.9	1399.0	1641.0	747.1	653.0
	Tenggara	227.1	331.4	1507.1	1707.5	521.6	319.7

Tabel 12 menunjukkan bahwa nilai gaya tarik efektif maksimum yang dialami kapal dengan Orientasi 3 adalah sebesar 2342,4 kN yang dialami oleh Tali 5 yang terjadi saat kapal menerima gelombang dari arah utara. Namun, hasil tersebut masih memenuhi kriteria desain dengan batas gaya tarik sebesar 60% MBL tali *mooring* yang digunakan, yakni sebesar 4.267 kN.



Gambar 10. Gaya tarik efektif maksimum kapal FSRU dengan Orientasi 3 akibat seluruh gelombang acak dengan periode ulang 50 tahun

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil analisis permodelan dinamik gelombang reguler menunjukkan bahwa orientasi yang paling optimum adalah Orientasi 2, namun berdasarkan permodelan dinamik gelombang acak, orientasi yang paling optimum adalah Orientasi 3. Mengingat bahwa gelombang acak merupakan gelombang yang lebih dapat merepresentasikan kondisi nyata di laut, maka Orientasi 3 dianggap lebih baik dibandingkan dengan Orientasi 2. Orientasi 3 memenuhi Rekomendasi PIANC dan kriteria desain dari API RP 2SK. Orientasi 3 menghasilkan amplitudo gerakan translasi yang kurang dari 2 m dan amplitudo gerakan rotasi yang kurang dari 2° serta gaya tarik efektif maksimum yang kurang dari 4.267 kN untuk semua arah gelombang di Teluk Jakarta.

Saran

Berikut ini merupakan saran yang dapat dilakukan untuk penelitian serupa yang selanjutnya:

1. Melakukan analisis dengan menggunakan beban lingkungan tambahan berupa angin dan arus mengingat angin dan arus merupakan beban lingkungan yang dapat mempengaruhi orientasi penambatan kapal pada dermaga dolphin.
2. Melakukan analisis respon dinamik dan sistem *mooring* untuk kapal LNG *Carrier* yang direncanakan untuk menambat di samping kapal FSRU dengan sistem *side to side*.

3. Melakukan analisis dengan memperhitungkan kedalaman perairan saat kondisi pasang dan surut.
4. Melakukan analisis untuk kondisi sistem *mooring damage* atau terdapat salah satu tali *mooring* yang terputus.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 2005. API RP 2SK: *Design and Analysis of Station keeping Systems for Floating Structures*. Washington D.C.: American Petroleum Insitute.
- OCIMF *Mooring* Equipment Guidelines (Second Edition – 1997). London: WITHERBY & CO. LTD.
- PIANC Working Group 24. Chapter 246: *Movements of Moored Ships in Harbours*. 1995.