

Perancangan Sistem *Mooring* pada *Coupled Multiple Floating Structures*

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

Oleh

Devara Bagas Hanandityo

NIM 15514029



Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

2018

PERANCANGAN SISTEM *MOORING* PADA *COUPLED MULTIPLE FLOATING STRUCTURES*

DESIGN OF MOORING SYSTEM ON COUPLED MULTIPLE FLOATING STRUCTURES

Devara Bagas Hanandityo¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹devara.bagas@students.itb.ac.id dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Peningkatan efisiensi produksi minyak di Indonesia dilakukan salah satunya dengan intervensi sumur pada Tension Leg Platform (TLP) di Selat Makassar melalui penambahan Accommodation Work Barge (AWB). Penambahan struktur baru pada sebuah sistem *mooring* mengharuskan dilakukannya analisis ulang terhadap parameter kelayakan sistem tersebut secara keseluruhan agar tidak terjadi kecelakaan. Dalam tugas akhir ini, dilakukan desain dan analisis parameter integritas sistem *mooring* pada AWB dan TLP yang meliputi gaya tarik pada masing masing tali, *offset* pada TLP, dan *clearance* antar *vessel* sesuai kriteria dari API RP2SK dan DNV-OS-E301 dengan analisis pada gelombang reguler, gelombang acak kondisi *intact*, dan gelombang acak kondisi *damaged* menggunakan perangkat lunak *Orcaflex* dan *MOSES* sehingga didapatkan desain yang memenuhi.

Kata Kunci: TLP, AWB, analisis *mooring*, *offset*, *line tension*, *vessel clearance*, *intact*, *damaged*.

Abstract: Improvement on oil and gas production efficiency is implemented by well intervention on Tension Leg Platform at Makassar Strait using moored Accommodation Work Barge (AWB). Re-analysis of integrity parameters must be performed with new additions on existing mooring system to prevent accidents. In this study, design and analysis of mooring system on TLP at Makassar Strait is performed which includes line tension, TLP offset, and vessel clearance on regular wave load, random wave load in intact condition, and random wave load in damaged condition according to criterion from API RP2SK and DNV-OS-E301 using Orcaflex and MOSES so that a design that satisfies those conditions is obtained.

Keywords: TLP, AWB, mooring analysis, offset, line tension, vessel clearance, intact, damaged.

PENDAHULUAN

Sumber daya minyak dan gas bumi merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Ketimpangan antara produksi dan konsumsi migas di Indonesia menyebabkan jumlah impor Indonesia yang semakin tinggi, yaitu sebesar 500.000 barrel per hari. Untuk mengatasi ini, diperlukan eksplorasi dan eksploitasi sumur-sumur baru di lepas pantai laut dalam yang sebelumnya tidak dapat dilakukan karena keterbatasan teknologi.

Salah satu usaha pertama pemanfaatan cadangan minyak dan gas bumi di lepas pantai laut dalam berada pada perairan Selat Makassar. Berproduksi sejak tahun 2003, lapangan ini terletak pada kedalaman 2.400 - 3.400 feet dibawah permukaan laut menggunakan dua buah *Mini Tension Leg Platform* (TLP) dan didukung oleh sebuah *Floating Production Unit* (FPU). Untuk menjaga produksi migas, dilakukan intervensi sumur pada salah satu TLP menggunakan *Accommodation Work Barge* (AWB) yang ditambatkan pada struktur utama menggunakan *hawser lines* dan menjadi sebuah kesatuan sistem *mooring*. Karena penambahan ini, gaya lingkungan yang terjadi akan sangat berbeda dari TLP yang berdiri sendiri sehingga diperlukan desain ulang untuk memastikan semua parameter operasional TLP memenuhi standar yang berlaku yaitu API RP2SK dan DNV-OS-E301.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan desain terhadap sistem *mooring* sehingga dapat menahan TLP dan AWB dalam satu kesatuan sistem. Desain akan dicek pada parameter-parameter yang meliputi pergerakan kedua unit beserta *mooring lines*-nya akibat gaya-gaya

alam, yang kemudian dapat diketahui *offset*, tegangan tali *mooring*, dan jarak antar kedua unit menurut standar yang telah ditetapkan. Dengan dilakukannya tugas akhir ini diharapkan dapat diketahui desain yang optimal pada sistem *mooring* TLP dan AWB berdasarkan permodelan menggunakan *software* Orcaflex dan Moses sehingga kecelakaan akibat kegagalan *mooring lines* dapat dihindari.

Tujuan dari tugas akhir ini adalah desain sistem *mooring* pada struktur AWB/TLP di Selat Makassar yang meliputi lokasi *anchor*, panjang *mooring lines*, dan konfigurasi bagian bagian dari *mooring lines* agar mencapai kriteria *offset* pada TLP, gaya tarik maksimal pada tali, dan jarak antar *vessel* sebagaimana terdapat pada standar API RP2SK dan DNV-OS-E301.

TEORI DAN METODOLOGI

Gelombang adalah salah satu gaya yang paling mempengaruhi respon benda terapung di laut lepas. Respon ini dianalisis menggunakan pendekatan hidrodinamika yang meliputi gaya apung, gaya eksitasi gelombang, dan gaya radiasi. Berdasarkan Faltinsen (1990), persamaan gerak struktur terapung oleh gaya gelombang regular pada masing masing mode gerakan dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$F_j = m_{kj} \ddot{z}_j \quad (1)$$

$$F_{wj} = (m_{kj} + M_{kj}) \ddot{z}_j + C_{kj} \dot{z}_j + K_{kj} z_j$$

Pada analisis tali *mooring*, gaya vertikal dan panjang tali tergantung dapat diketahui dari gaya tarik horizontal pada *fairlead* dan berat tali per satuan panjang, mengasumsikan berat tali

homogen. Panjang tali tergantung pada sebuah gaya horizontal adalah:

$$s = \frac{T_H}{w} \sinh\left(\frac{w}{T_H} x\right) \quad (2)$$

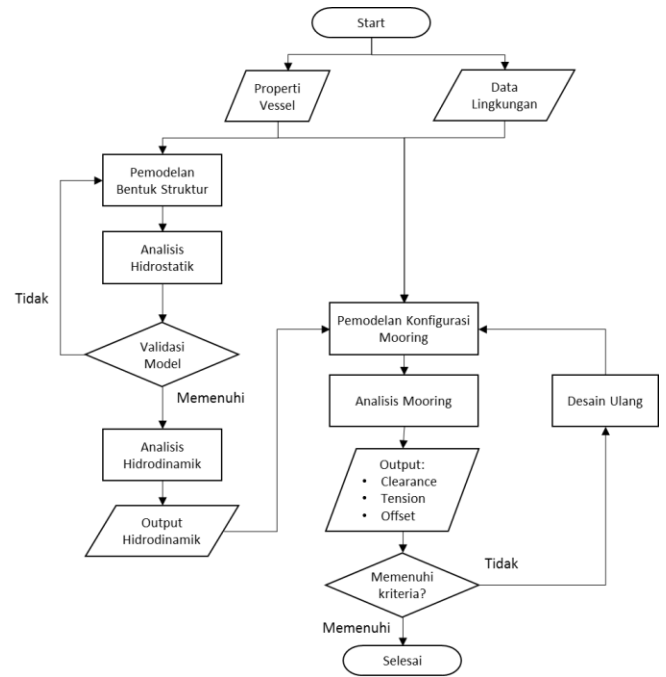
Sehingga gaya tarik vertikal dan gaya total pada sebuah segmen tali dihitung sebagaimana:

$$T_z = ws \quad (3)$$

$$T = T_H + T_z + (w + \rho g A)z$$

Sistem mooring ini akan diuji menggunakan gaya lingkungan meliputi gelombang, angin, dan arus sesuai kondisi di lapangan dari 8 arah mata angin pada kondisi ekstrim dengan periode ulang 100 tahunan. Pengujian performa sistem *mooring* dilakukan melalui permodelan pada perangkat lunak Orcaflex 10, dengan diagram alir pengerjaan sebagaimana **Gambar 1**.

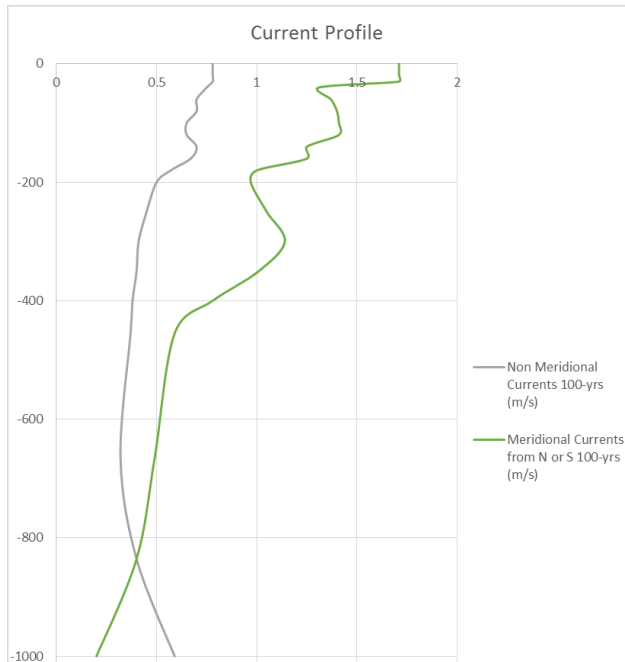
Karakteristik gaya lingkungan yang digunakan dalam permodelan tugas akhir ini dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Gambar 2**, sementara spesifikasi dari TLP dan AWB ditunjukkan pada **Tabel 2** berikut:



Gambar 1 Flowchart metodologi pengerjaan Tugas Akhir

Tabel 1 Data kecepatan angin dan karakteristik gelombang pada periode ulang 100 tahun

Dir	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	OMNI
100-years Return Period Storm, Waves									
H _s (m)	3.0	2.5	2.4	1.2	1.9	1.4	1.9	1.9	3.0
T _{peak} (s)	8.3	7.6	7.4	5.3	6.5	5.6	6.7	6.6	8.3
H _{max} (m)	5.5	4.6	4.4	2.2	3.4	2.5	3.6	3.5	5.5
T _{hmax} (s)	7.9	7.2	7.0	5.0	6.2	5.3	6.3	6.3	7.8
100-years Return Period Storm, Wind									
v (m/s)	21.2	18.7	18.0	11.7	15.5	12.7	15.9	15.7	21.2



Gambar 2 Profil arus pada lokasi TLP dan AWB

Tabel 2 Spesifikasi Accommodation Work Barge

Properties	Nilai	Unit
Length between perpendiculars	90	m
Breadth	24	m
Depth	6.2	m
Operating draught	3.73	m
Operating displacement	7584	ton
LCG from frame 0	43.08	m
TCG from center	0.0	m
VCG from baseline	5.37	m
Radius of gyration x	9.6	m
Radius of gyration y	26.2	m
Radius of gyration z	26.9	m

Tabel 3 Spesifikasi Tension Leg Platform

Properties	Nilai	Unit
Length overall	51.3	m

Properties	Nilai	Unit
Breadth	51.3	m
Height from base to top of column	36.6	m
Depth of pontoon	9.6	m
Breadth of pontoon	9.6	m
Depth of column	9.6	m
Breadth of column	9.6	m
Operating draught	28.95	m
Platform mass	10659	ton
Total displacement	23059	ton
LCG from center	0	m
TCG from center	0	m
VCG from baseline	21.73	m
Radius of gyration x	25.42	m
Radius of gyration y	25.98	m
Radius of gyration z	22.75	m

AWB dan TLP diletakkan dengan *clearance* sebesar 18 m. Konfigurasi sistem *mooring* di lapangan yang akan diuji untuk menentukan kelayakannya diperlihatkan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5** berikut:

Tabel 4 Posisi *anchor* pada tali *catenary*

Name	Anchor Radius (m)	Azimuth from Barge Bow (deg)
D1	1931	-60
D2	1931	-50
D3	1927	35
D4	1927	45

Tabel 5 Spesifikasi tali yang digunakan untuk masing masing segmen

Name	Type	Line Diameter (mm)	Minimum Breaking Load (kN)	Mass (ton/m)
Ground Chain	Studless	64	2982.24	0.082
Upper Chain	Studlink	70	3924	0.107
Top Chain	Studless	64	2982.24	0.082
Insert Wire	6x19 Wire with Wire Core	54	2678.13	0.016
Barge Wire	6x19 Wire with Wire Core	38	882.9	0.006
Hawser Line	8-strand Nylon	80	1049	0.0041
Pennant Wire	6x19 Wire with Wire Core	71	3192.76	0.021

Segmen-segmen ini disusun sepanjang *mooring lines* pada tipe *catenary lines* D1, D2, D3, D4 yang menghubungkan AWB dengan dasar laut serta *hawser lines* H1, H2, H3, H4 yang menghubungkan AWB dengan TLP menggunakan konfigurasi sebagaimana **Tabel 6** dan **Tabel 7**, kemudian digambarkan pada **Gambar 3** berikut:

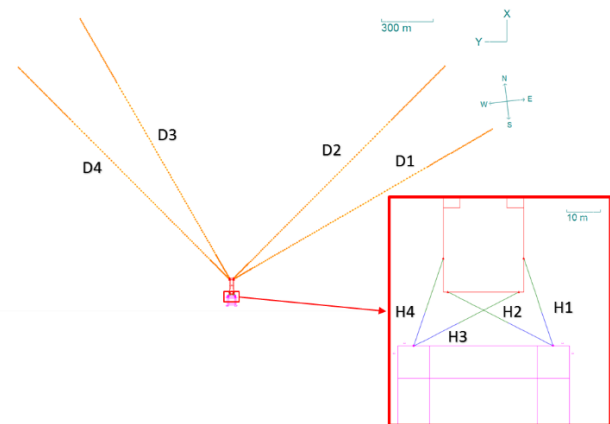
Tabel 6 Konfigurasi segmen *catenary lines*

Line	Section	Panjang (m)	Catatan
D1	Barge Wire	192	Fairlead
	Upper Chain	13.75	
	Buoy	50 (pennant wire)	
	Top Chain	25	
	Insert Wire	1470	
	Ground Chain	550	Anchored
D2	Barge Wire	185	Fairlead
	Upper Chain	13.75	

Line	Section	Panjang (m)	Catatan
	Buoy	50 (pennant wire)	
	Top Chain	25	
	Insert Wire	1470	
	Ground Chain	550	Anchored
D3	Barge Wire	237	Fairlead
	Buoy	90 (pennant wire)	
	Top Chain	15	
	Insert Wire	1405	
D4	Barge Wire	237	Fairlead
	Buoy	90 (pennant wire)	
	Top Chain	15	
	Insert Wire	1405	
	Ground Chain	550	Anchored

Tabel 7 Konfigurasi segmen *hawser lines*

Line	Section	Panjang (m)
H1	Barge Wire	18
	Hawser Line	10
H2	Barge Wire	16
	Hawser Line	15
H3	Barge Wire	16
	Hawser Line	15
H4	Barge Wire	18
	Hawser Line	10



Gambar 3 Peletakan tali pada sistem *mooring*

Kriteria desain yang harus dipenuhi untuk desain sistem *mooring* pada tugas akhir ini dapat dilihat pada **Tabel 8** berikut:

Tabel 8 Kriteria desain yang digunakan

Parameter	Kriteria Desain	Sumber
<i>Intact line tension limit</i>	60% MBL, sesuai spesifikasi <i>manufacturer</i>	API RP2SK
<i>Damaged tension limit</i>	80% MBL, sesuai spesifikasi <i>manufacturer</i>	API RP2SK
<i>Operational maximum TLP offset</i>	3% <i>water depth</i> , 30 m	<i>Operational Standard TLP</i>
<i>Damaged maximum TLP offset</i>	5% <i>water depth</i> , 50 m	<i>Operational Standard TLP</i>
Jarak minimal antar struktur	10 m	DNVGL-OS-E301

Dengan selisih kurang dari 5% maka model *mesh* valid. Dari hasil *model mesh* ini didapatkan RAO dari TLP dan *barge* yang meliputi respon gerak translasi *surge*, *sway*, dan *heave* serta respon gerak rotasi *roll*, *pitch*, dan *yaw*. RAO pada *barge* dan TLP ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

RAO menggambarkan pergerakan *vessel* saat dikenai gelombang dengan frekuensi tertentu. Untuk gelombang frekuensi rendah, *vessel* akan bergerak seiring dengan tinggi gelombang karena gelombang panjang. Untuk gelombang dengan frekuensi tinggi, gelombang tidak memiliki energi yang cukup untuk menggerakkan kapal secara signifikan sehingga RAO bernilai 0. Untuk benda yang simetris di bidang *waterplane* seperti TLP, RAO *yaw* bernilai 0 karena gaya dari arah manapun tidak menimbulkan momen putar *yaw* kepada struktur. Puncak-puncak pada grafik RAO menunjukkan frekuensi gelombang yang menimbulkan respon terbesar pada *vessel* untuk mode gerakan tertentu.

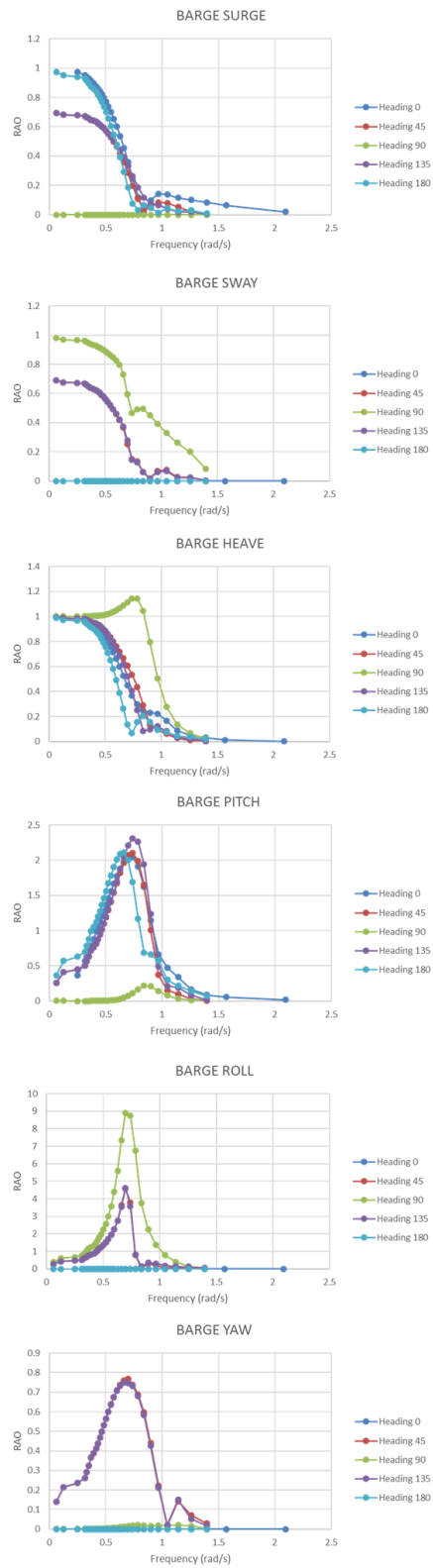
HASIL DAN ANALISIS

1. Validasi Model *Mesh* TLP dan *Barge*

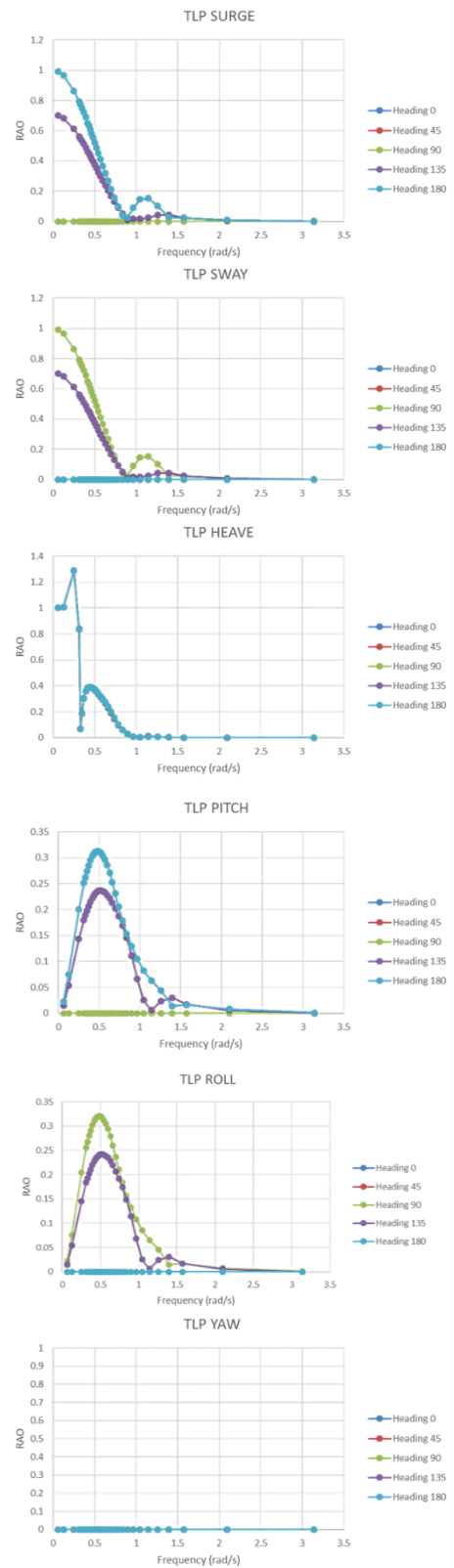
Perbandingan dilakukan dengan menghitung *displacement* model *mesh* dan dibandingkan dengan *displacement* pada data struktur, sebagaimana berikut:

Tabel 9 Perbandingan *displacement* pada pemodelan dan data struktur

Vessel	Displacement pemodelan (ton)	Displacement data struktur (ton)	Selisih
<i>Barge</i>	7511.4	7584	1%
TLP	23072	23059	0.1%



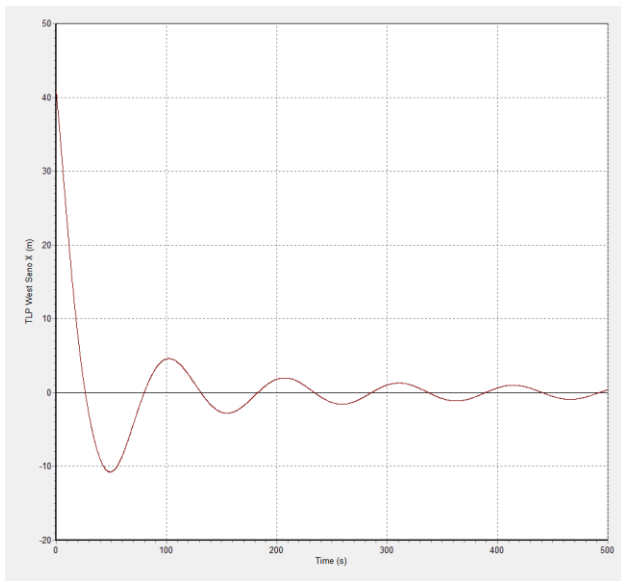
Gambar 4 RAO gerakan translasi dan rotasi barge



Gambar 5 RAO gerakan translasi dan rotasi TLP

2. Penentuan Frekuensi Alamiah TLP

Frekuensi alamiah pada TLP diperiksa pada mode *surge*, dilakukan dengan melihat respon gerak bebas TLP ketika diberi simpangan. Timeseries dari gerakan tersebut ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Timeseries gerakan bebas TLP pada mode *surge*

Dari gambar tersebut dapat ditentukan periode teredam gerakan surge tersebut sebesar 101.9 detik, dengan puncak pertama sebesar 40.86 m dan puncak kedua sebesar 7.13 m. Sehingga dapat dihitung frekuensi alamiah TLP dalam mode surge sebesar:

$$\Delta = \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)$$

$$\Delta = \ln\left(\frac{40.86}{7.13}\right) = 1.74$$

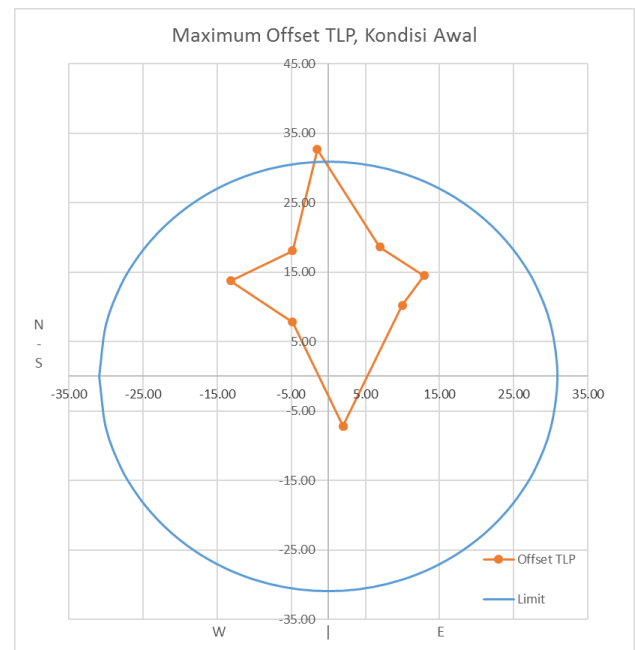
$$\omega_n = \sqrt{1 + \left(\frac{\Delta}{2\pi}\right)^2} \omega_d$$

$$\omega_n = 0.06 \text{ rad/s}$$

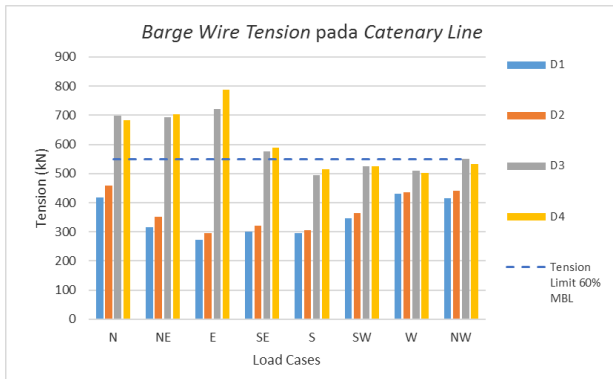
$$f_n = 0.01 \text{ Hz}$$

3. Pengujian Sistem *Mooring* Awal

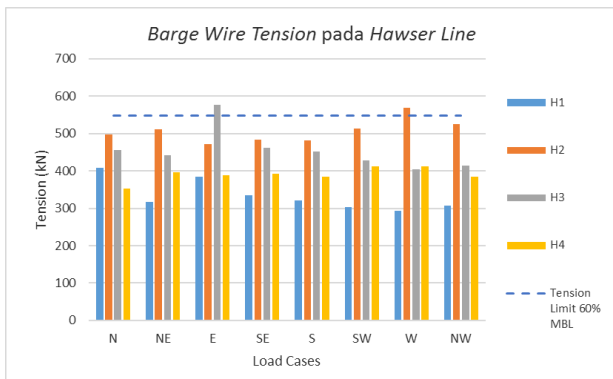
Analisis *mooring* pada kondisi awal menghasilkan performa sistem mooring berdasarkan kriteria *offset* TLP dan *tension* pada tali. Untuk *tension* diambil pada posisi *fairlead* untuk *catenary lines* dan *hawser lines* sebagai tali dengan gaya tarik izin terendah dan ditunjukkan pada **Gambar 7**, **Gambar 8**, dan **Gambar 9** sebagaimana berikut:



Gambar 7 *Offset* TLP pada kondisi awal



Gambar 8 Tension maksimal di segmen *barge wire* pada *catenary lines*



Gambar 9 Tension maksimal di segmen *barge wire* pada *catenary lines*

Pada kesimpulannya, kondisi awal ini tidak memenuhi syarat akibat *offset* yang melebihi 30 m pada loadcase *South*, serta tension pada *catenary lines* dan *hawser lines* melebihi 60% dari gaya tarik *barge wire* yang diizinkan.

4. Analisis dengan Gelombang Acak Kondisi Intact

Sebagai langkah awal mengurangi *tension* pada *hawser lines*, jarak *clearance* antara TLP dan AWB dikurangi hingga 16 m. Selanjutnya, desain yang diajukan untuk mengatasi masalah *offset* dan *tension* yang melebihi batas ditunjukkan pada Tabel 10 dan Tabel 11, kemudian digambarkan pada Gambar 10.

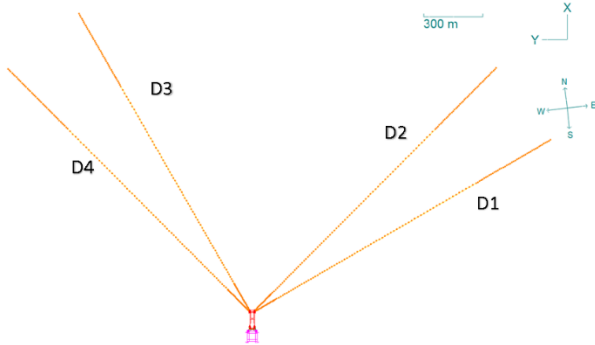
Tabel 10 Perubahan pada lokasi *anchor* untuk desain

Nama Tali	Kondisi Awal		Desain	
	Anchor Radius (m)	Azimuth from Bow (deg)	Anchor Radius (m)	Azimuth from Bow (deg)
D1	1931	-60	1750	-60
D2	1931	-50	1750	-45
D3	1927	35	1750	30
D4	1927	45	1750	45

Tabel 11 Konfigurasi *catenary lines* pada desain yang diajukan

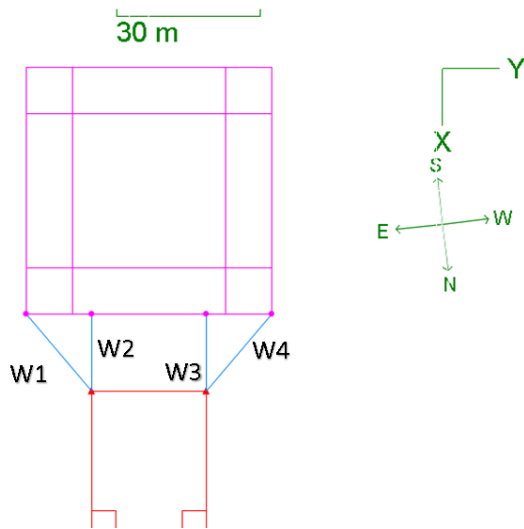
Line	Section	Panjang (m)	Catatan
D1	Barge Wire	192	Fairlead
	Upper Chain	13.75	
	Buoy	50 (pennant wire)	
	Top Chain	25	
	Insert Wire	1470	
	Ground Chain	440	Anchored
D2	Barge Wire	185	Fairlead
	Upper Chain	13.75	
	Buoy	50 (pennant wire)	
	Top Chain	25	
	Insert Wire	1470	
	Ground Chain	440	Anchored
D3	Barge Wire	237	Fairlead
	Buoy	90 (pennant wire)	
	Top Chain	15	
	Insert Wire	1405	
	Ground Chain	440	Anchored
D4	Barge Wire	237	Fairlead
	Buoy	90 (pennant wire)	
	Top Chain	15	
	Insert Wire	1405	

Line	Section	Panjang (m)	Catatan
	Ground Chain	440	Anchored



Gambar 10 Posisi *catenary lines* pada desain yang diajukan

Karena jarak antar *vessel* dikurangi, maka perlu dilakukan pengecekan tambahan yaitu *clearance* menggunakan *winch* tidak bermassa dan tidak memiliki gaya tarik awal sebagai penghitung jarak. Peletakan *winch* pada sistem TLP-AWB ditunjukkan pada Gambar 11.

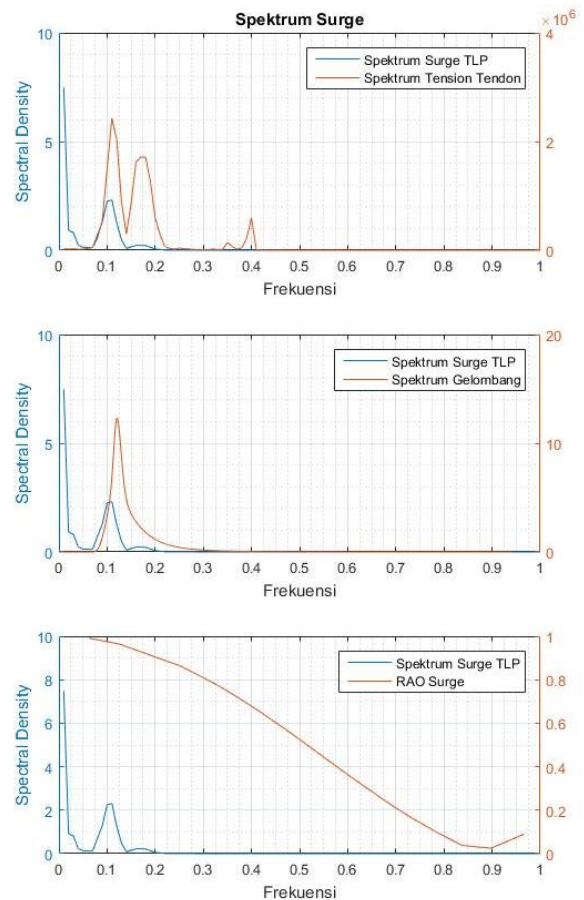


Gambar 11 Peletakan *winch* di antara AWB dan TLP

Untuk mengurangi beban komputasi, analisis dengan gelombang acak dilakukan dengan waktu pemodelan 1000 detik, berbeda dengan ketentuan pada API RP2SK yaitu 10800 detik.

Beban ekstrim akibat gelombang acak tetap dimodelkan dengan menentukan waktu mulai terhadap gelombang.

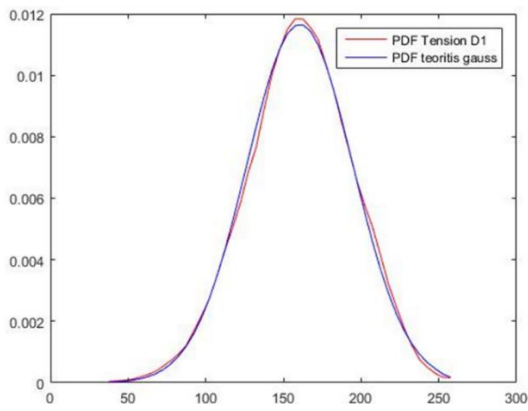
Kemudian, respon TLP akibat gelombang acak dianalisis untuk mengetahui efek apa yang berpengaruh terhadap respon tersebut, dan didapatkan bahwa frekuensi natural TLP pada 0.01 Hz yang berhimpit dengan puncak tertinggi spektrum *surge* adalah efek yang paling menentukan respon surge disamping gaya tarik pada *tendon*, sebagaimana Gambar 12.



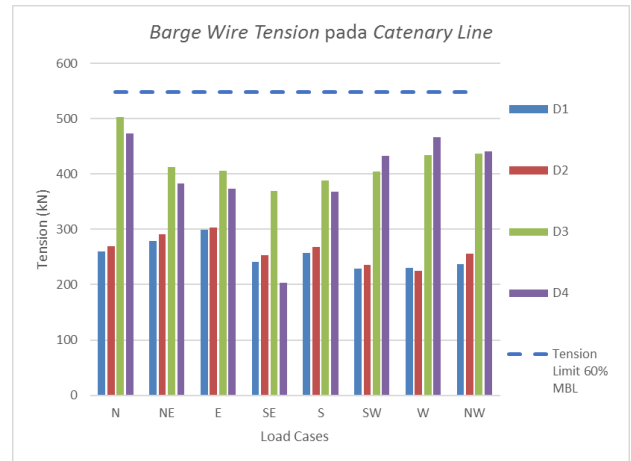
Gambar 12 Perbandingan spektrum respon TLP pada mode *surge*

Analisis sebaran pada seluruh kriteria kelayakan menunjukkan bahwa kriteria tersebut mengikuti sebaran Gauss sehingga nilai ekstrim dapat diperoleh dari 3x standar deviasi dari statistik, sebagai contoh fungsi kerapatan tension D1 pada *loadcase* N ditampilkan pada **Gambar 13**.

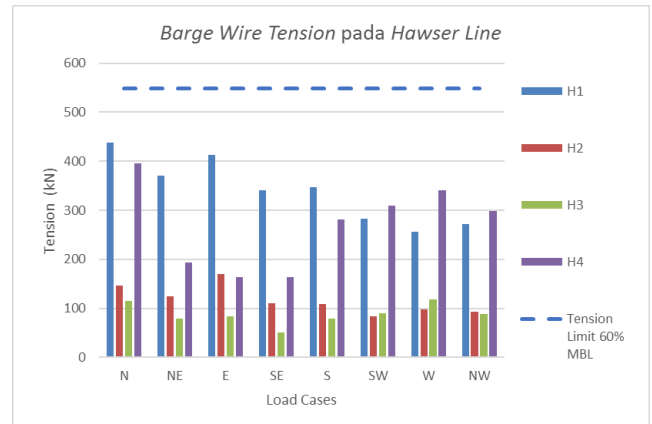
Kemudian performa sistem mooring pada gelombang acak dalam segi *offset* maksimal TLP, *tension* maksimal, dan panjang *winch* minimal ditunjukkan pada **Gambar 14** hingga **Gambar 17**.



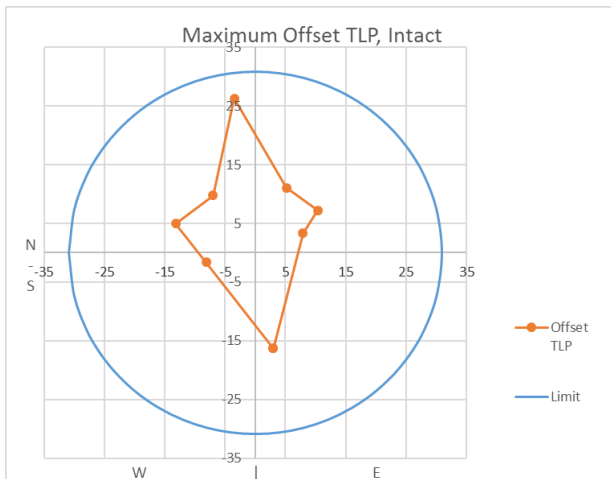
Gambar 13 Perbandingan PDF tension D1 dengan PDF Gauss



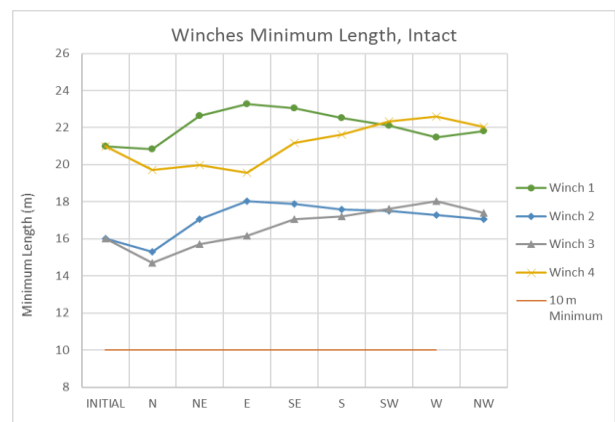
Gambar 15 Tension maksimal di segmen *barge wire* pada *catenary lines*



Gambar 16 Tension maksimal di segmen *barge wire* pada *hawser lines*



Gambar 14 *Offset* TLP pada gelombang acak, kondisi *intact*



Gambar 17 Nilai panjang *winch* minimal pada gelombang acak, kondisi *intact*

Kesimpulannya, dengan beban gelombang acak kondisi intact desain ini memenuhi kriteria yang ditentukan pada API RP2SK dan DNV-OS-E301.

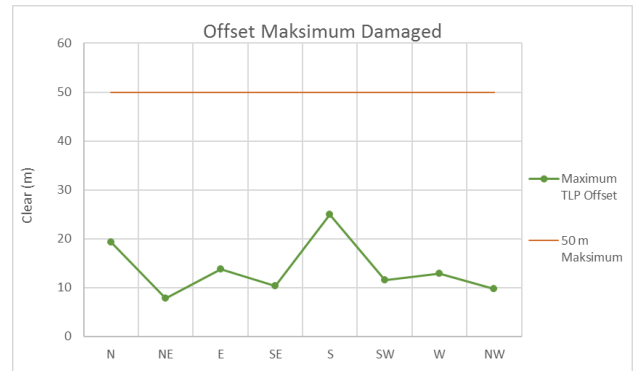
5. Analisis dengan Gelombang Acak Kondisi Damaged

Penentuan skenario kerusakan untuk setiap *loadcases* dilakukan dengan memutuskan tali dengan %MBL terbesar untuk *loadcase* tersebut, merepresentasikan tali dengan kemungkinan putus paling besar. Skenario tersebut dijabarkan pada **Tabel 12** berikut:

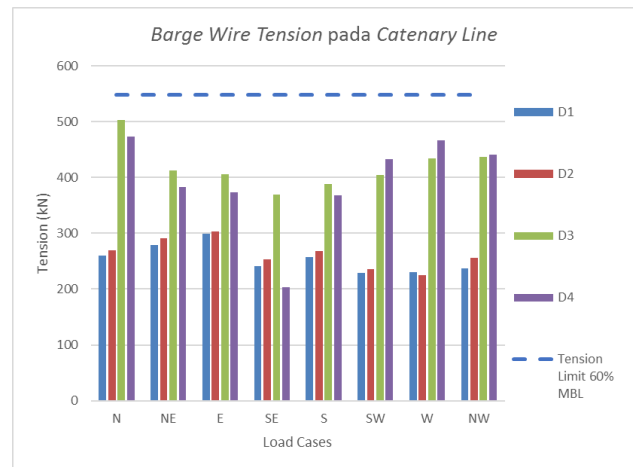
Tabel 12 Penentuan skenario kerusakan pada setiap *loadcases*

Load Case	Failed Line	%MBL	Max. Tension (kN)
N	D3	53%	483.1
NE	D3	45%	412.9
E	H1	45%	413.2
SE	D3	40%	369.9
S	D3	42%	388.5
SW	D4	47%	432.6
W	D4	51%	466
NW	D4	48%	441.5

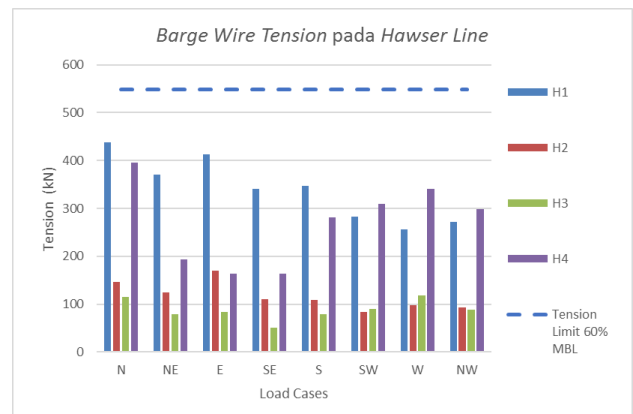
Setelah tali yang bersangkutan diputus, analisis *mooring* menunjukkan performa sistem dalam kondisi *damaged* yang dirangkum pada **Gambar 18** hingga **Gambar 21**.



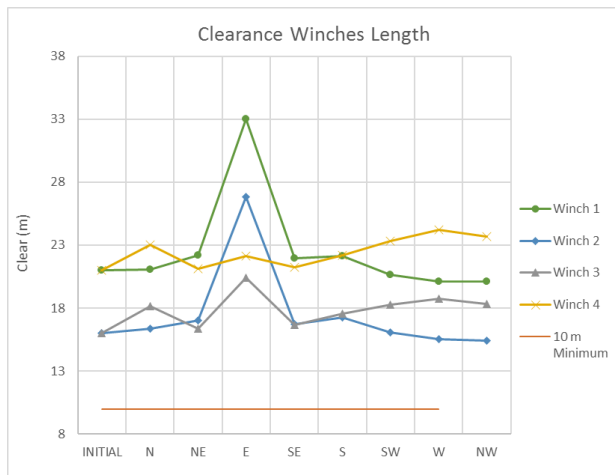
Gambar 18 Offset TLP pada gelombang acak, kondisi *damaged*



Gambar 19 Tension maksimal di segmen *barge wire* pada *catenary line*, kondisi *damaged*



Gambar 20 Tension maksimal di segmen *barge wire* pada *hawser line*, kondisi *damaged*



Gambar 21 Panjang winch pada kondisi *damaged*

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pada kondisi gelombang reguler, gelombang acak kondisi *intact*, dan gelombang acak kondisi *damaged*, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan awal sistem *mooring* AWB/TLP di Selat Makassar tidak layak sesuai standar API RP2SK dan DNV-OS-E301 pada kriteria *offset* dan gaya tarik maksimal tali.
2. Perbaikan desain diajukan dengan memindah posisi anchor, mengurangi jarak antara AWB dan TLP, dan mengurangi panjang segmen *ground chain* pada *catenary lines*.
3. Respon *vessel* pada gelombang acak lebih besar dibandingkan gelombang reguler.
4. Pada gelombang acak kondisi *intact*, seluruh kriteria pada desain memenuhi standar API RP2SK dan DNV-OS-E301 dengan kriteria *offset* TLP maksimum sebesar 27.87 m dari syarat maksimal 30 m, %MBL maksimal sebesar 53% dari syarat maksimal 60%,

serta *clearance* minimal sebesar 14.71 m dari syarat minimum 10 m.

5. Pada gelombang acak kondisi *damaged*, seluruh kriteria pada desain memenuhi standar API RP2SK dan DNV-OS-E301 dengan kriteria *offset* TLP maksimum sebesar 25.01 m dari syarat maksimal 50 m, %MBL maksimal sebesar 62% dari syarat maksimal 80%, serta *clearance* minimal sebesar 14.80 m dari syarat minimum 10 m.

Adapun saran agar tugas akhir ini mendapatkan hasil yang lebih komprehensif adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis dengan memperhitungkan kontur dasar perairan yang tidak rata.
2. Melakukan analisis kondisi *damaged* sesuai standar DNV-OS-E301 dengan metode *worst case* yaitu memeriksa tali yang putus dengan efek terbesar pada integritas sistem *mooring*.
3. Melakukan analisis kondisi *damaged* yang memperhitungkan kemungkinan hilangnya *bouyancy element* pada *catenary lines*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 2005. *API RP2SK: Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. Washington D.C: American Petroleum Institute.
- Bentley Systems. 2017. *MOSES Technical Manual*.
- Chakrabarti, Subrata. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Southampton: Computational Mechanics Publicaion.
- Dean, Robert, and Robert A. Dalrymple. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Singapore: World Scientific.
- Det Norske Veritas. 2015. *DNV-GL-E301: Position Mooring*. Horvik: Det Norske Veritas.
- . 2010. *DNV-RP-C205: Environmental Conditions and Environmental Loads*. Horvik: Det Norske Veritas.
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Orcina. 2017. *Orcaflex User Manual*.